

**Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта**

**Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования**

"ПРИВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ"

МОЛОДЕЖНЫЙ ФОРУМ

ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ

**Сборник 53-й научной конференции
обучающихся ПривГУПС**

Выпуск 27

Том 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

САМАРА

2026

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПРИВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

ДНИ СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУКИ

Сборник материалов 53-й научной конференции

обучающихся ПривГУПС

Выпуск 27

Т. 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Самара
2026

- С 23 **Дни студенческой науки** [Текст]: сб. материалов 53-й научной конференции обучающихся ПривГУПС в двух томах / Приволжский гос. ун-т путей сообщ. Выпуск 27. Т. 1. Технические науки. Самара : ПривГУПС, 2026. 296 с.

Тематика сборника отражает все виды деятельности железнодорожной отрасли, включая вопросы организации и управления процессами перевозок, совершенствования подвижного состава железных дорог и муниципального пассажирского транспорта, железнодорожного пути, строительства и транспортной техники, автоматизации, информатизации, телекоммуникации и энергосбережения, экологии и охраны труда, экономики, логистики и финансов, а также проблемы гуманитарных и естественных наук.

Члены редакционной коллегии, жюри секций 53-й научной конференции обучающихся ПривГУПС:

д. т. н., профессор Е. М. Тарасов
д. т. н., доцент О. В. Москвичев
к. т. н., доцент Н. Н. Мазько
к. т. н., доцент А. В. Варламов
к. т. н., доцент С. В. Коркина
к. т. н., доцент А. В. Муратов
к. т. н., доцент А. С. Баранов
к. т. н., доцент Е. В. Добрынин
к. т. н., доцент Т. В. Харитонова
к. э. н., доцент Т. Б. Ефимова
к. с. х. н., доцент Ю. А. Холопов

СЕКЦИЯ 1

Организация и управление процессами перевозок и грузовой работой. Проблемы безопасности на железнодорожном транспорте

РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОЙ СЕТКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОСКОЛКАМИ БПЛА

А. А. Грузд¹, А. Н. Бабичева², В. Г. Мисюрин³

Введение. Железнодорожный транспорт является объектом критической инфраструктуры, от бесперебойной работы которого напрямую зависит экономическая стабильность государства. Повреждение ключевых элементов – станций, мостов, тоннелей, систем энергоснабжения, связи и сигнализации – неизбежно приводит к сбоям в графике движения грузовых и пассажирских поездов, срыву сроков доставки и, как следствие, значительным экономическим потерям ОАО «РЖД» [1].

Особую угрозу сегодня представляют вторичные поражающие факторы, а именно осколки, образующиеся при подрыве беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Даже при отсутствии прямого попадания разлетающиеся осколки способны повредить контактную сеть, вывести из строя устройства автоматики, а в наиболее тяжелых случаях – стать причиной схода подвижного состава или гибели людей.

Существующие системы активной защиты и физической охраны не исключают осколочного воздействия, а пассивные инженерные средства, способные локализовать последствия, практически отсутствуют. Обычные ограждения не рассчитаны на высокоскоростное воздействие лёгких осколков. В связи с этим возникает необходимость в создании специализированной пассивной защиты – конструктивного решения, снижающего вероятность пробития критических элементов.

На основе анализа инцидентов [1, 2], сформулированы ключевые требования к защитной сетке. К ним относятся высокая механическая прочность на удар и срез, негорючесть или минимальная способность к горению, стойкость к атмосферным воздействиям (перепады температур, осадки, ультрафиолет), технологичность монтажа и обслуживания, а также приемлемая стоимость.

Для сравнительного анализа были выбраны три типа сетчатых материалов, отвечающих требованию негорючести. Это тефлоновая сетка (политетрафторэтилен на стекловолоконной основе), огнестойкая полимерная сетка (полиамид с антипиренами) и базальтовая сетка (переплетённые нити базальтового волокна с полимерной пропиткой) [3-6].

Оценка проводилась по пятибалльной шкале по четырём критериям: прочность, масса, цена, монтаж. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Оценка выбранных материалов

Тип	Прочность	Масса	Цена	Монтаж	Итог
Тефлоновые сети	4	4	3	4	15
Огнестойкие полимерные сети на основе полиамида с антипиренами	3	4	3	4	14
Базальтовые сети	5	5	4	5	24

¹ Грузд Анжелика Андреевна – преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой»

² Бабичева Арина Николаевна – студент группы ЭЖД-31, Институт управления и экономики

³ Мисюрин Вадим Германович – студент группы ЭЖД-31, Институт управления и экономики

Таким образом, на основе сравнительной оценки выбрана базальтовая сеть, обеспечивающая оптимальное сочетание прочности, устойчивости к внешней среде и ремонтпригодности при приемлемой стоимости.

Для оценки поведения выбранной сетки под ударным воздействием выполнен расчёт параметров взаимодействия осколка с сеткой. В качестве расчётного сценария принят осколок массой 50 кг, длиной 4 м, движущийся со скоростью 28 м/с. Такие значения соответствуют характерным параметрам поражающих элементов, образующихся при подрыве боевых частей БПЛА.

Кинетическая энергия осколка определяется по формуле [7]:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

где m – масса осколка, v – скорость осколка.

Модуль импульса – по формуле

$$p = m \cdot v \quad (2)$$

Для оценки влияния угла падения θ рассмотрены пять характерных точек (углы 10° , 45° , 70°).

Схематическое изображение углов падения осколка на защитную сетку представлено на рисунке 1.

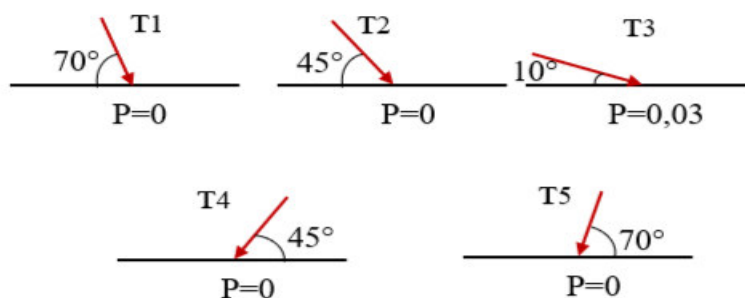


Рис. 1. Углы падения осколка на защитную сетку

Нормальная и касательная составляющие импульса и скорости [7]:

$$p_n = m \cdot v \cdot \cos \theta = p \cdot \cos \theta \quad (3)$$

$$p_t = m \cdot v \cdot \sin \theta = p \cdot \sin \theta \quad (4)$$

$$v_n = v \cdot \cos \theta \quad (5)$$

$$v_t = v \cdot \sin \theta \quad (6)$$

Результаты расчётов для трёх различных углов (10° , 45° , 70°), представлены в таблице 2.

Таблица 2

Составляющие импульса и скорости для характерных углов

Угол θ	$\cos \theta$	$\sin \theta$	p_n , кН·с	p_t , кН·с	v_n , м/с	v_t , м/с
10°	0,985	0,174	1,379	0,243	27,58	4,87
45°	0,707	0,707	0,990	0,990	19,80	19,80
70°	0,342	0,940	0,479	1,316	9,58	26,32

На основе полученных составляющих была выполнена вероятностная оценка пробития с использованием логистической модели, где критическим параметром выступает эффективная нормальная энергия, зависящая от массы осколка и нормальной составляющей скорости. По данным стендовых испытаний образцов, для базальтовой сетки экспериментально

установлена критическая нормальная скорость пробития около 250 м/с. Поскольку расчётные значения v_n во всех рассмотренных точках не превышают 27,6 м/с, прямое пробитие маловероятно. Тем не менее для угла 10° вероятность пробития составляет около 3 %, а для угла 70° – 0 %. Основной риск при таких нагрузках связан с перерезанием нитей касательной составляющей при $v_t > 20$ м/с (что наблюдается для углов 45° и 70°), а также с разрушением креплений из-за высоких касательных импульсов.

На основе анализа углов падения были предложены следующие конструктивные решения. Предложено усилить крепления по краям сетки в зонах с углами 70° для снижения риска среза и рычаговой нагрузки. Также рекомендуется применять многослойную структуру из двух-трёх слоёв базальтовой сетки для повышения баллистической стойкости и устанавливать демпфирующие элементы по периметру для гашения касательных импульсов. В центральной зоне с углами 10° – 20° целесообразно комбинировать базальтовое полотно с керамическими или металлическими вставками. На рисунке 2 представлена схема размещения сетки относительно железнодорожного пути. Конструкция располагается на высоте не менее 5 м от уровня головки рельса, не нарушая габаритов подвижного состава, и крепится к существующим опорам контактной сети [8–9].

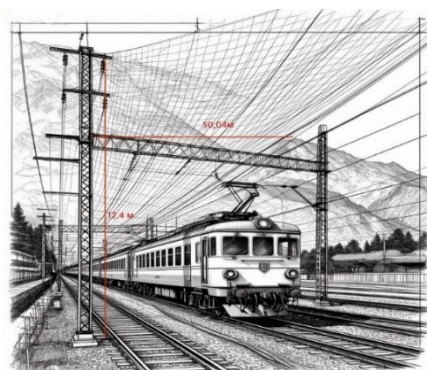


Рис. 2. Общий вид на чертеже

Установка сетки на всём протяжении железных дорог экономически нецелесообразна, поэтому была разработана методика многокритериальной оценки приоритетности участков. Критерии с весовыми коэффициентами приведены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели для определения приоритетности зон установки защитной сетки		
Показатель	Единица измерения	Способ оценки / шкала
Расстояние до потенциально опасного объекта (завод, объект ТЭК, склад ГСМ)	км	Чем меньше расстояние, тем выше приоритет. Рекомендуемый порог 5–10 км.
Принадлежность участка к стратегическому направлению	бинарный (0/1)	1 – участок входит в перечень стратегических магистралей (по классификации ОАО «РЖД»), 0 – не входит.
Интенсивность движения поездов	пар поездов/сутки	Прямая пропорция: чем выше интенсивность, тем выше приоритет.
Наличие критических элементов инфраструктуры	количество на 1 км пути	Учитываются мосты, тоннели, развязки, участки контактной сети, устройства СЦБ.
Возможность монтажа (наличие опор, ширина полосы отвода)	балльная шкала (0–3)	3 – имеются готовые опоры и достаточная ширина, 2 – требуется незначительная подготовка, 1 – сложные условия, 0 – монтаж невозможен.
Количество зафиксированных атак БПЛА за последние 12 месяцев	количество инцидентов	Прямая зависимость: чем больше инцидентов, тем выше приоритет.
Коэффициент рельефа и застройки	безразмерный (0–1)	Рассчитывается как доля участка, находящегося в низине или зоне плотной застройки, где риск накопления осколков повышен.

С целью апробации предложенной методики выполнен расчёт для условного железнодорожного участка протяжённостью 30 км, который разбит на 15 расчётных отрезков

по 2 км каждый. На рисунке 3 представлена схема данного участка с указанием границ отрезков и расположением ключевых объектов инфраструктуры (завод, мост, пост электрической централизации, путепровод).

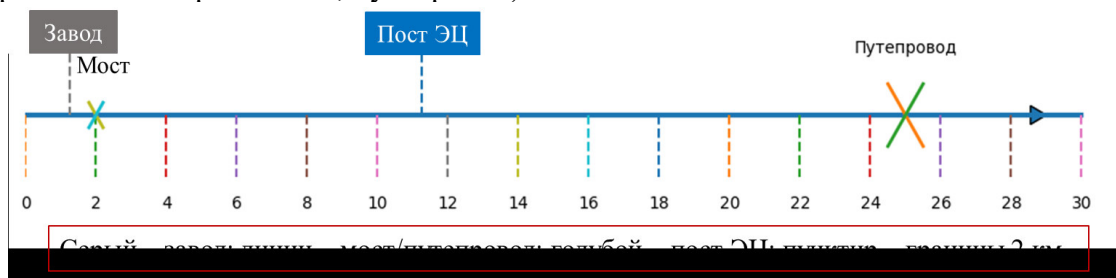


Рис. 3. Схема участка

Оценка каждого отрезка производится по семи показателям с весовыми коэффициентами, приведёнными в таблице 3. Балльные оценки присвоены на основе типовых характеристик инфраструктуры: высокая степень опасности принята для начальных отрезков (0–6 км) ввиду близости промышленного объекта, наличия моста и зафиксированного инцидента; средняя – для отрезков в районе станции (10–12 км); низкая – для остальных перегонов. Приведённые значения носят демонстрационный характер и могут быть заменены реальными данными при практическом применении.

Разбиение участка на расчётные отрезки осуществляется с шагом 2 км. Интегральный показатель приоритетности Q для каждого отрезка вычисляется по формуле взвешенной суммы:

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i \cdot S_i, \quad (7)$$

где w_i – вес i -го показателя, S_i – балльная оценка (1–5) для данного отрезка.

Рассмотрим в качестве примера первый двухкилометровый отрезок (0–2 км). Для него баллы и веса составляют: расстояние до опасного объекта – 5 (вес 0,20), стратегическое направление – 5 (0,15), интенсивность движения – 5 (0,15), критические элементы – 5 (0,20), возможность монтажа – 5 (0,10), количество атак – 4 (0,10), рельеф и застройка – 4 (0,10). Подставляя в формулу, получаем:

$$\begin{aligned} Q_{0-2} &= 0,20 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,10 \cdot 5 + 0,10 \cdot 4 + 0,10 \cdot 4 \\ &= 1,00 + 0,75 + 0,75 + 1,00 + 0,50 + 0,40 + 0,40 = 4,80. \end{aligned}$$

Аналогично вычислены значения для всех 15 отрезков. Результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Оценка приоритетности установки сетки на отрезках участка А-Б

№ отрезка (км)	Расст. до опасного объекта (0,20)	Стратег. направление (0,15)	Интенсивность движения (0,15)	Критические элементы (0,20)	Возможность монтажа (0,10)	Кол-во атак (0,10)	Рельеф/застройка (0,10)	Q
0–2	5 (2 км)	5	5 (120 пар)	5 (мост, конт. сеть, СЦБ)	5 (опоры есть)	4 (1 атака)	4 (застройка 0,8)	4,80
2–4	5 (4 км)	5	5	4 (конт. сеть, СЦБ)	5	4	3 (0,6)	4,55
4–6	4 (6 км)	5	4 (100 пар)	4	5	3 (0 атак)	3	4,10
6–8	3 (8 км)	5	4	3 (конт. сеть)	4	2	2 (0,4)	3,60
8–10	3	5	4	3	4	2	2	3,60

10–12	3	5	4	4 (станция, СЦБ)	5	2	3	3,95
12–14	3	5	3 (80 пар)	3	5	2	2	3,35
14–16	2 (10 км)	5	3	2 (нет особых элементов)	4	1	1 (0,2)	2,70
16–18	2	5	3	2	4	1	1	2,70
18–20	2	5	2 (60 пар)	2	4	1	1	2,45
20–22	2	5	2	2	4	1	1	2,45
22–24	1 (15 км)	5	2	2	3	1	1	2,15
24–26	1	5	2	3 (путепровод)	4	1	1	2,45
26–28	1	5	2	2	4	1	1	2,25
28–30	1	5	2	2	3	1	1	2,05

После расчёта интегральных показателей Q для всех 15 отрезков (таблица 4) возникает необходимость выбора порогового значения, выше которого установка сетки считается целесообразной. Максимально возможное значение Q при всех оценках «5» составляет 5,0, минимальное – 1,0. Порог 3,5 соответствует 70 % от максимума, что в экспертной практике часто принимается как высокий уровень приоритетности. Анализ распределения полученных значений показывает, что $Q \geq 3,5$ имеют шесть отрезков (0–2, 2–4, 4–6, 6–8, 8–10, 10–12 км), причём следующий отрезок (12–14 км) имеет $Q=3,35$, что ниже порога. Таким образом, принятое значение 3,5 является естественной границей, отделяющей высокоприоритетные зоны от остальных.

Если принять порог $Q \geq 3,5$, то сетка устанавливается на шести отрезках общей протяжённостью 12 км. При необходимости соседние отрезки могут быть объединены в непрерывные зоны: зона 1 – 0–6 км (3 отрезка), зона 2 – 6–10 км (2 отрезка), зона 3 – 10–12 км (1 отрезок). Общая протяжённость защищаемых участков составит 12 км из 30.

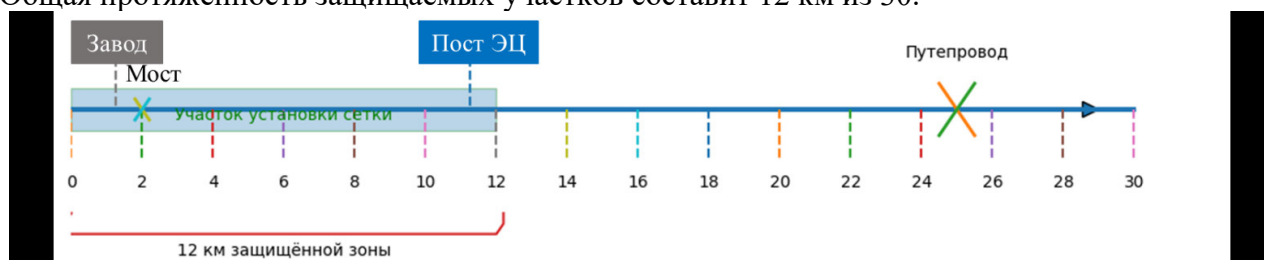


Рис. 4. Зона установки защитной сетки

В результате работы в качестве оптимального материала для пассивной защиты железнодорожной инфраструктуры от осколков БПЛА была выбрана базальтовая сетка, ввиду высокой прочности, негорючести и стойкости к внешним воздействиям. Расчёты показали, что наибольший риск пробития (до 3 %) возникает в центральной зоне при углах падения 10–20°, тогда как при касательных ударах (70°) критическим становится разрушение креплений. Предложена многокритериальная методика позволяющая выделить приоритетные зоны установки (на примере 30-км участка – 12 км).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Новиков С.И. Применение полимерных материалов в защитных конструкциях // Строительная механика и расчет сооружений. – 2025. – №3. – С. 45-52.
- Михайлов А.П. Анализ эффективности защитных экранов от поражающих элементов // Защита объектов инфраструктуры. – 2024. – №2. – С. 34-41.
- Петров А.В., Сидоров Н.М. Баллистическая защита объектов инфраструктуры. – СПб.: Политехника, 2024. – 189 с.
- Исследование механических свойств базальтовых композитов / Под ред. В.А. Смирнова. – М.: Наука, 2025. – 167 с.
- Базальтовые материалы в современном строительстве [Электронный ресурс] // Официальный сайт производителя. – Режим доступа: www.basalt-materials.ru (дата обращения: 27.03.2026).
- Технические характеристики тефлоновых покрытий [Электронный ресурс] // Промышленная энциклопедия. – Режим доступа: www.industrial-enc.ru (дата обращения: 26.03.2026).
- Соколов М.М. Сопротивление материалов. – М.: Академия, 2025. – 345 с.
- Иванов П.С. Современные композитные материалы в строительстве. – М.: Стройиздат, 2025. – 245 с.
- СТО РЖД 01.01-2024 Требования к защитным конструкциям объектов железнодорожной инфраструктуры.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ УЧАСТКОВОЙ СКОРОСТИ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Д. В. Клабуков¹, О. А. Бондаренко²

Введение. Участковая скорость является одним из важнейших показателей эксплуатационной работы железных дорог. В отличие от технической скорости, она учитывает не только время хода поездов по перегону, но и время разгона, замедления, а также стоянки на промежуточных станциях. Именно этот показатель наиболее точно отражает организацию движения поездов на участке. От него зависят сроки доставки грузов, оборот вагона, производительность локомотива и в целом эффективность перевозочного процесса.

В современных условиях значение этого показателя возрастает еще больше. Железные дороги работают при высокой нагрузке на инфраструктуру, особенно на грузовых направлениях. Снижение участковой скорости приводит к увеличению сроков доставки, ухудшению оборота вагона, снижению производительности локомотивов и росту эксплуатационных затрат [5].

Основная часть. Участковая скорость зависит от совокупности факторов. К числу основных относятся состояние инфраструктуры, наличие предупреждений и ограничений скорости, время стоянок на промежуточных станциях, загруженность сети, качество диспетчерского регулирования и устойчивость графика движения. Именно поэтому ее повышение требует системного подхода, а не изолированного улучшения одного элемента перевозочного процесса [1; 6].

В 2024-2025 годах задача повышения участковой скорости приобрела особую практическую значимость. Это связано с высокой загрузкой сети и необходимостью искать решения, которые дают результат не только за счет капиталоемкого развития инфраструктуры, но и за счет совершенствования организации перевозочного процесса. По итогам 2025 года на инфраструктуре ОАО РЖД участковая скорость увеличилась на 8,4 %, а оборот вагона сократился до 13,58 суток, что на 0,72 суток лучше уровня предыдущего года [5].

Фактические результаты 2025 года показывают, что участковая скорость определяется не только конструкционной возможностью локомотива или состоянием отдельного перегона. При профиците вагонного парка и перегрузке инфраструктуры поезд неизбежно теряет время на подходах к станциям, в ожидании отправления и при перераспределении вагонопотоков. Следовательно, повышение участковой скорости требует одновременной работы с инфраструктурой, графиком движения, управлением вагонным парком и цифровыми инструментами контроля перевозочного процесса.

Сокращение лишних стоянок поездов является одним из резервов повышения участковой скорости. На практике значительная часть потерь времени возникает не на перегоне, а при ожидании на станции. Поезд может простаивать из-за необходимости пропустить более приоритетный состав, занятости приемоотправочных путей, задержки технического осмотра или неравномерного подхода поездов к станции. В таких случаях большое значение имеет согласованность работы станции, диспетчера, работников ПТО и локомотивных бригад. Чем быстрее выполняются необходимые операции после прибытия поезда и чем меньше возникает необоснованных ожиданий перед отправлением, тем устойчивее становится пропуск поездов по участку и тем выше оказывается участковая скорость [1].

Отдельного внимания требует график движения поездов. Его роль не ограничивается формальным распределением поездов по времени. Именно график задает порядок пропуска поездов, интервалы между ними, возможность выполнения станционных операций и степень использования пропускной способности участка. Если график составлен с учетом фактической загрузки линии, состояния инфраструктуры и возможностей станций, снижается вероятность задержек, поэтому работа над графиком движения является не только плановой, но и практической мерой повышения участковой скорости.

¹ Клабуков Д. В. – студент гр. ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

² Бондаренко Оксана Александровна – к.т.н., доцент кафедры «УЭР»

Одним из перспективных направлений является технология виртуальной сцепки поездов. Ее значение особенно велико для грузонапряженных направлений, где возможности строительства новых путей ограничены сроками и стоимостью. По данным отчета ОАО РЖД об устойчивом развитии за 2024 год, на Восточном полигоне в течение года было сформировано и отправлено 17,1 тыс. виртуально сцепленных составов. Это позволило повысить эффективность использования инфраструктуры без масштабного увеличения физической сети и стало одним из практических инструментов более плотного и устойчивого продвижения поездопотока [4].

Существенным резервом остается снижение количества инфраструктурных ограничений скорости. Даже локальные барьерные места, если они повторяются на протяжении участка, приводят к дополнительным потерям времени и ухудшают устойчивость графика. В публикациях транспортных журналов подчеркивается, что кривые малого радиуса как элемент путевой инфраструктуры отрицательно влияют на эксплуатационные показатели работы железнодорожного участка и требуют организационно-технических либо реконструктивных мер [2]. Цифровая трансформация также рассматривается как один из основных инструментов повышения участковой скорости. В отчете ОАО РЖД за 2024 год отмечено, что с применением предиктивной аналитики было просканировано 36,3 млн вагонов, а цифровыми средствами оценки состояния инфраструктуры осмотрено 12 501 км земляного полотна и водоотводных сооружений. Такие решения позволяют раньше выявить риски, снижать вероятность внеплановых задержек и поддержать более устойчивое движение поездов на участке [3].

Повышение участковой скорости достигается не локальной мерой, а внедрением взаимосвязанных решений, на рисунке наблюдается динамика роста участковой скорости за период 2024-2025 года, что подтверждает действенность комплексного подхода, а наибольший эффект дают мероприятия, направленные одновременно на сокращение инфраструктурных ограничений, повышение устойчивости графика и цифровизацию управления перевозочным процессом. Именно комплексность решений объясняет, почему улучшение участковой скорости сопровождается одновременным ускорением оборота вагона и ростом доли отправок, доставленных в установленный срок [3; 5].

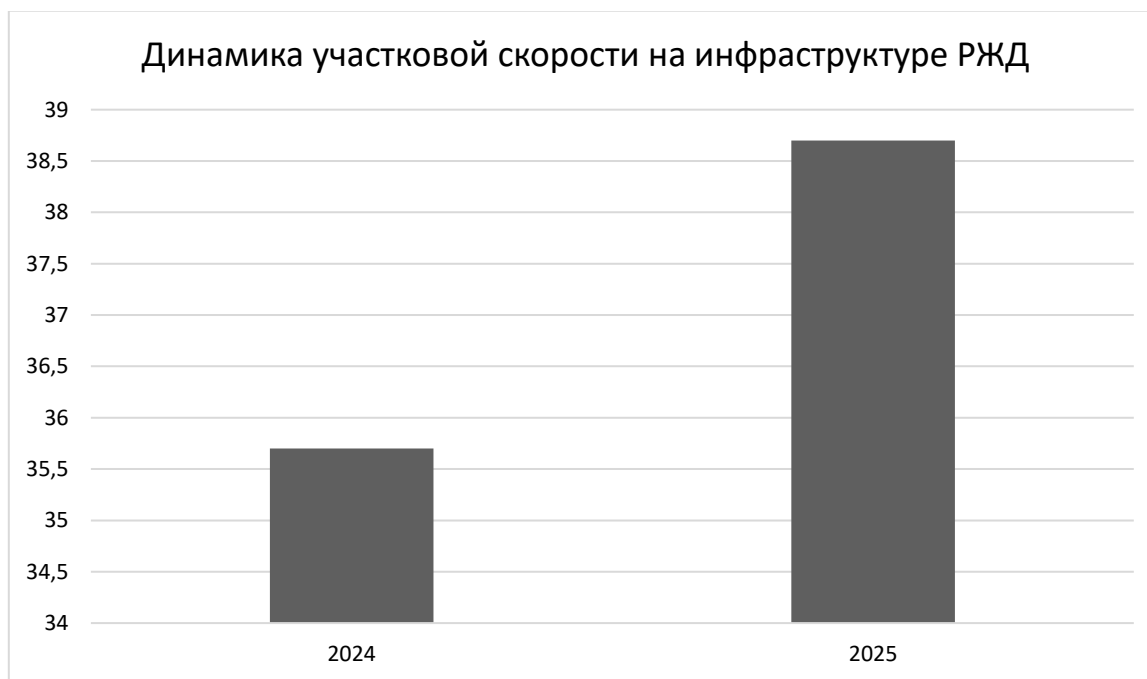


Рис. Динамика участковой скорости на инфраструктуре ОАО РЖД

Вывод. Повышение участковой скорости поездов является важным условием роста эффективности работы железнодорожного транспорта, так как напрямую влияет на сроки доставки грузов, оборот вагона и использование локомотивного парка. Проведенный анализ показывает, что наибольший результат достигается не за счет одной меры, а при комплексном сочетании совершенствования графика движения, сокращения непроизводительных стоянок,

устранения инфраструктурных ограничений и внедрения цифровых технологий. Таким образом, дальнейшее развитие этих направлений остается необходимым условием повышения качества и надежности железнодорожных перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Маринин С.А. Совершенствование методики определения потерь участковой скорости движения грузовых поездов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 1 (73). С. 5–11.
- 2 Холодняк П.С. Влияние кривых малого радиуса на эксплуатационные показатели работы железнодорожного участка / Холодняк П.С., Пчелинцева Е.В. // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 3 (75). С. 23–31.
- 3 Отчет ОАО «РЖД» об устойчивом развитии за 2024 год. Раздел «Инновационное развитие и цифровая трансформация». [Электронный ресурс]: <https://sr2024.rzd.ru/ru/managerial-aspect/efficiency-improvement> (дата обращения 29.04.2026)
- 4 Отчет ОАО «РЖД» об устойчивом развитии за 2024 год. Раздел о внедрении технологии виртуальной сцепки на Восточном полигоне. [Электронный ресурс]. <https://sr2024.rzd.ru/ru/social-aspect/communities-charity/contribution-local-communities> (дата обращения 29.04.2026)
- 5 ОАО «РЖД». Материалы о результатах эксплуатационной работы по итогам 2025 года и задачах на 2026 год. 29 января 2026 года. [[Электронный ресурс]: https://cargo.rzd.ru/ru/9433/page/2452802?id=321272&utm_source (дата обращения 29.04.2026)
- 6 Доценко, Ю. В. График движения поездов в логистике грузовых перевозок / Ю. В. Доценко, Л. И. Виховская // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2025. – № 3(78). – С. 6–22.

РАЗРАБОТКА МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТУРА ПО ПОВОЛЖЬЮ КАК НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТУРИСТСКИХ ПРОДУКТОВ ОАО «РЖД»

В. С. Круглов¹, В. В. Егорова², О. А. Бондаренко³

Введение. Железнодорожный туризм в России постепенно развивается с очень стремительной скоростью. Для многих пассажиров поездка на туристском поезде – это полноценное путешествие с продуманным маршрутом, экскурсиями и особой атмосферой в пути. Именно поэтому в 2025 году тема железнодорожного туризма заняла более заметное место в развитии пассажирских сервисов ОАО «РЖД». Если в 2024 году в туристской линейке компании насчитывался 91 маршрут, то в 2025 году сеть была расширена до 100 направлений, охватив 48 субъектов Российской Федерации и более 70 городов (рис. 1) [1; 2].

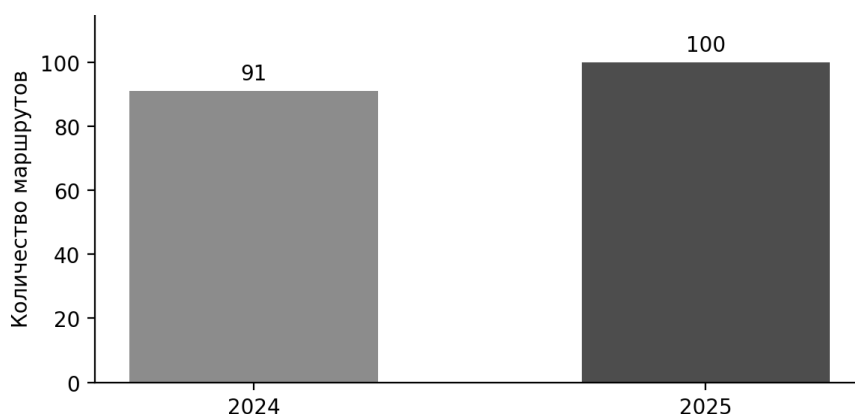


Рис. 1. Динамика количества туристических маршрутов РЖД в 2024–2025 гг.

Холдинг ОАО «РЖД» сформировал 112 туристских поездов, открыл 19 новых маршрутов и перевез около 1,4 млн туристов, что на 25 % выше уровня предыдущего года [5]. Это

¹ Круглов Виталий Сергеевич – студент группы ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

² Егорова Виктория Владимировна – студентка группы ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

³ Бондаренко Оксана Александровна – к.т.н. доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»

говорит о том, что железнодорожный туризм сегодня является приоритетным направлением. Анализ официальных данных за 2025 год показывает, что ОАО «РЖД» продолжает развивать туристское направление прежде всего вокруг узнаваемых направлений. В Поволжье самым востребованным стал поезд «Волжский вояж», который ориентирован на Чебоксары, Йошкар-Олу и Нижний Новгород [4].

Поволжье представляет собой одно из более интересных направлений для формирования новых туристских маршрутов. Оно богато городами с великой историей, выраженной региональной спецификой и значительным культурным потенциалом. Вместе с тем часть действующих туров уже закрепились на рынке, поэтому особый интерес представляет создание нового межрегионального маршрута, который будет отличаться от действующей линейки представленных туров.

Целью исследования является разработка и разбор перспектив маршрута «Волжская палитра»: Москва-Киров-Йошкар-Ола-Чебоксары-Саратов-Москва. Для достижения этой цели в работе рассматриваются актуальные данные компании за 2025 год, анализируются уже представленные поволжские туры и обосновывается идея межрегионального маршрута, который может расширить действующую туристскую линейку.

Основная часть. Маршрут «Волжская палитра» рассматривается как тур культурно-познавательного формата. Тур будет выстроен таким образом, чтобы поездка воспринималась как последовательное и цельное путешествие. Логика его построения основана на постепенном развитии впечатлений от спокойного к более насыщенной культурно-образовательной программе. Включенные в маршрут города отличаются по культурной, региональной, и исторической атмосфере. Такой подход хорошо сочетается с логикой туристских поездов ОАО «РЖД», которые продолжают развиваться по модели «отеля на колесах»: днем пассажиры знакомятся с городами и экскурсионными объектами, а ночью находятся в пути [2].

Путешествовать между городами тура нашим пассажирам предлагается в поезде, состоящем из 8 купейных вагонов, рассчитанных на 36 мест в каждом купе. Такой вариант лучше всего подходит для многодневного путешествия, так как обеспечивает более комфортные поездки и условия размещения. Для данного маршрута целесообразно также предусмотреть один рейс в месяц, что составляет 12 рейсов в год. Это позволит проверить интерес к туру и обеспечить удобную организацию поездок. В дальнейшем, если спрос будет хорошим, частоту рейсов можно увеличить.

Продолжительность тура составляет 6 дней. За это время туристы успевают посетить все города нашего маршрута без спешки. Дневное время отводится на экскурсии и знакомство с городами, а переезды проходят только ночью.

С учётом выбранной логики маршрута была разработана экскурсионная программа железнодорожного тура «Волжская палитра», представленная в таблице.

Экскурсионная программа железнодорожного тура «Волжская палитра»

День тура	Город/этап маршрута	Формат программы	Содержание экскурсионной программы	Что получает турист
1 день	Москва, отправление	Организационно-подготовительный этап	Посадка туристов в поезд, размещение по вагонам, знакомство с программой путешествия. В пути проводится краткое информационное сопровождение: туристам выдается программа маршрута, сведения о городах посещения, времени прибытия и продолжительности стоянок.	Формируется общее понимание маршрута и создается ощущение цельного путешествия.
2 день	Киров	Обзорная автобусно-пешеходная экскурсия	По прибытии в Киров организуется встреча группы и трансфер к началу экскурсионной программы. В программу входит обзор исторической части города, центральных улиц и общественных пространств, рассказ об истории развития Кирова. Включено посещение одного из музейных или культурно-выставочных объектов. После основной экскурсии свободное время для прогулки, покупки сувениров и самостоятельного знакомства с городом.	Первое целостное впечатление от маршрута, знакомится с историко-культурной атмосферой города и постепенно включается в ритм путешествия.
3 день	Йошкар-Ола	Обзорная экскурсия с этнокультурным акцентом	Программа включает обзор центральной части города, знакомство с архитектурным обликом, современными общественными пространствами и объектами. Особое место занимает рассказ о культуре, традициях и исторических особенностях марийского народа. Посещение культурного, этнографического или музейного объекта, связанного с историей региона. После основной части экскурсии свободное время в центре города.	Турист не просто осматривает город, а знакомится с этнокультурным своеобразием региона. За счет этого маршрут становится более содержательным.
4 день	Чебоксары	Культурно-познавательная экскурсия по волжскому городу	Сначала проводится автобусно-пешеходная экскурсия по центральной части города с рассказом об истории его развития, его положении на Волге и роли в культурной жизни региона. Организовано посещение одного из музеев, выставочных пространств или иных объектов, которые позволяют раскрыть национально-региональную специфику города. В программу также целесообразно включить прогулочный элемент и свободное время, чтобы туристы могли не только прослушать экскурсию, но и почувствовать городскую среду.	Турист получает представление о Чебоксарах как о крупном волжском городе с выраженной региональной идентичностью.
5 день	Саратов	Итоговая расширенная экскурсионная программа	Включает обзорную экскурсию по городу, знакомство с историческим центром, культурными и общественными пространствами, рассказ о месте Саратова в экономическом и культурном развитии Поволжья. Посещение одного из значимых музейных, мемориальных или выставочных объектов, чтобы завершить тур содержательно и логично.	Турист получает завершенное впечатление от всего маршрута.
6 день	Москва, прибытие	Завершение тура	Прибытие в Москву, окончание программы, высадка пассажиров. При необходимости на этом этапе может быть предусмотрено краткое анкетирование туристов, сбор отзывов о маршруте, качестве сервиса и экскурсионной программе.	Завершается полный цикл путешествия. Для организатора и перевозчика это также этап получения обратной связи, которая может использоваться для дальнейшего совершенствования тура.

Программа тура выстроена так, что сначала турист знакомится с более спокойным городом, затем программа становится более разнообразной за счет этнокультурной и региональной тематики, а завершается маршрут в крупном волжском центре с более насыщенной итоговой экскурсией. Такой подход позволяет сделать поездку логичной и цельной. Кроме того, сочетание автобусно-пешеходных экскурсий, музейных объектов и свободного времени делает тур удобным для разных категорий пассажиров и повышает его привлекательность как комплексного туристского продукта.

Преимуществом для ОАО «РЖД» является то, что ценность поездки формируется не только за счет маршрута, но и за счет сервиса в пути, экскурсионной части, питания и общей организации путешествия. Кроме того, маршрут выгоден ОАО «РЖД» с точки зрения расширения количества экскурсионных туров. Сейчас у компании уже есть узнаваемые туры по отдельным поволжским и смежным направлениям, в том числе «Сказы Поволжья» и «Жигулёвские выходные». Однако именно поэтому появляется потребность в новых комбинациях городов, которые не будут выглядеть как повторение уже действующих решений. Предлагаемый маршрут решает эту задачу: он сохраняет поволжскую и межрегиональную тематику, но выстраивает ее по-другому. Для компании это означает возможность обновить туристское предложение и сделать линейку маршрутов более разнообразной.

В рамках выполненного исследования проведен опрос в Яндекс Формах среди студентов Приволжского государственного университета путей сообщения, с целью определения потенциального интереса к железнодорожному туру. Результаты опроса показали, что 90 % респондентов считают тур «Волжская палитра» интересным маршрутом путешествия.

Заключение. В результате проведенной работы был разработан проект межрегионального железнодорожного тура «Волжская палитра». Он ориентирован на культурно-образовательную и насыщенную программу, которая формируется за счёт интересного набора городов.

Разработанная схема может быть перспективной именно потому, что она не копирует официальные поволжские туры компании, а предлагает иную логику движения и иной набор опорных точек. Её сильной стороной является сочетание культурного разнообразия, межрегионального охвата и удобной для железнодорожного путешествия схемы.

Такой проект может быть полезен ОАО «РЖД» и с имиджевой стороны. На основе официальных данных за 2025 год установлено, что железнодорожный туризм перестал быть нишевой услугой и стал заметной частью пассажирского комплекса компании. Поэтому включение нового межрегионального маршрута по городам Поволжья и соседних территорий можно рассматривать как шаг к дальнейшему укреплению позиций ОАО «РЖД» на рынке внутреннего туризма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Число пассажиров туристических поездов РЖД выросло на 17 % в 2024 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=221410> (дата обращения: 23.03.2026).
- 2 В РЖД рассказали о новых туристических маршрутах в 2025 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=221988> (дата обращения: 23.03.2026).
- 3 Отель на колесах [Электронный ресурс]. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=221491> (дата обращения: 23.03.2026).
- 4 По России на поезде. Появились новые железнодорожные маршруты [Электронный ресурс]. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=222256> (дата обращения: 23.03.2026).
- 5 РЖД увеличили число туристских поездов до 112 [Электронный ресурс]. – URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=225941> (дата обращения: 23.03.2026).

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ВОКЗАЛЕ

К. В. Кулаков¹, С. А. Леонова²

Введение. Повышение качества сервиса на вокзалах и вокзальных комплексах - важнейший мировой тренд, затрагивающий все аспекты функционирования транспортного предприятия. Существует множество решений для привлечения пассажиров и посетителей вокзалов - внедрение новых цифровых технологий, разработка системы лояльности, повышение эффективности и уровня обслуживания на вокзальном комплексе [1].

Железнодорожный вокзал в современном мире является не только местом ожидания, но и многофункциональным местом оказания услуг для граждан страны. Торговые помещения, справочные бюро, зоны отдыха – все это должно обеспечивать достаточный уровень безопасности и комфорта пассажиров. Быстрое обслуживание, интуитивно понятная навигация, удобная инфраструктура и достаточный уровень цифровизации вокзала - важнейшие условия для обеспечения эффективной работы железнодорожных вокзалов.

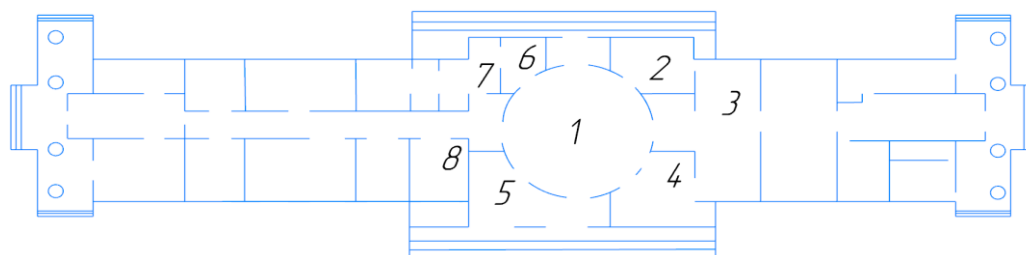
Создание удобной среды на сегодняшнем этапе развития компании ОАО «РЖД» является актуальной задачей и отмечено как приоритетное направление в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года [2].

Целью работы является повышение эффективности обслуживания пассажиров на железнодорожном вокзале посредством анализа пассажиропотока с разработкой имитационной модели работы вокзала.

Во время исследования использовался статистический анализ обработки данных и системный подход. Мероприятия по повышению качества обслуживания оценивались на основе данных пассажиропотока и определения «барьерных» мест при построении имитационной модели вокзала с использованием программы AnyLogic.

Основная часть. Для построения модели был выбран вокзальный комплекс 3 класса «Н», который включает в себя двухэтажное пассажирское здание [3, 4]. Из зала ожидания для пассажиров дальнего следования имеются выходы на привокзальную площадь и асфальтированную площадку с проходом на островные пассажирские платформы №1 и №2.

План пассажирского здания с обозначением его отдельных элементов представлен на рисунке 1 [4].



Условные обозначения: 1-зал ожидания, 2-начальник вокзала, 3-камеры хранения, 4-дежурный помощник начальника вокзала, 5-касса дальнего следования, 6-малый зал, 7- туалет, 8-туалет для маломобильных пассажиров

Рис. 1. План вокзального комплекса «Н»

Ежегодный пассажиропоток составляет 90 тыс. человек. Данные о суточном пассажиропотоке на железнодорожном вокзале «Н» за 2025 год представлены в таблице.

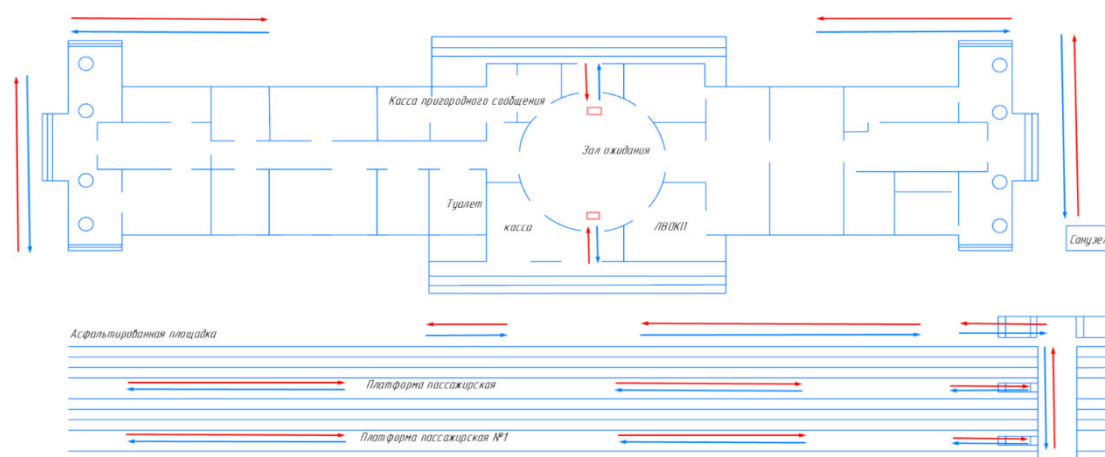
¹ Кулаков Кирилл Васильевич – студент группы ЭЖД-11, Институт управления и экономики

² Леонова Светлана Александровна – к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»

Суточный пассажиропоток на железнодорожном вокзале «Н» за 2025 год

Категория клиента		Категория пассажирского поезда	Количество человек в сутки
Посетитель		-	20
Пассажир	Прибытия	Дальнего следования	75
		Пригородного следования	227
	Отправления	Дальнего следования	80
		Пригородного следования	227

На рисунке 2 показано направление движения пассажиропотоков.



Условные обозначения:

- - Движение отправляющихся пассажиропотоков
- - Движение прибывающих пассажиропотоков

Рис. 2. Схема движения пассажиропотоков

При построении имитационной модели учитывались траектория движения и величина пассажиропотока. Производился натурный анализ повышенного скопления пассажиров и мест их нахождения после прибытия на вокзальный комплекс. На основе этих данных была сделана логическая структура имитационной модели и построена тепловая карта, визуализирующая «барьерные» места работы железнодорожного вокзала (рисунок 3) [5].

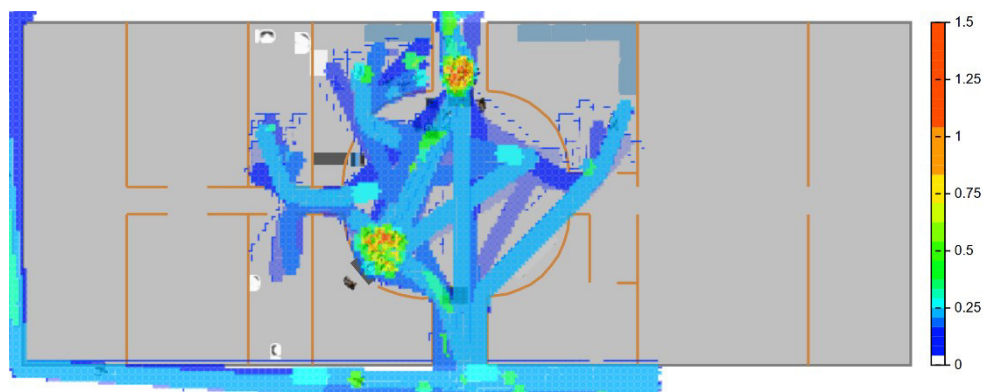


Рис. 3. Тепловая карта плотности пассажиропотоков вокзального комплекса

На основании построенной модели можно сделать вывод, что при текущем пассажиропотоке и имеющейся инфраструктуре наибольшая плотность пассажиров отмечается в зоне

досмотрового контроля и билетных касс. Это напрямую влияет на удовлетворенность обслуживания и качество работы вокзального комплекса в целом, в том числе и на степень обеспечения безопасности. С целью совершенствования работы вокзала и повышения качества обслуживания пассажиров были предложены решения для ликвидации «барьерных» мест - внедрение классического ТТС (транзакционного терминала самообслуживания) и дополнительной рамки металлодетектора.

На рисунке 4 показана тепловая карта плотности пассажиропотока вокзального комплекса «Н» после внедрения ТТС и дополнительной рамки металлодетектора, которая показывает более эффективную работу вокзала и отсутствие «барьерных» мест для продвижения пассажиропотока.

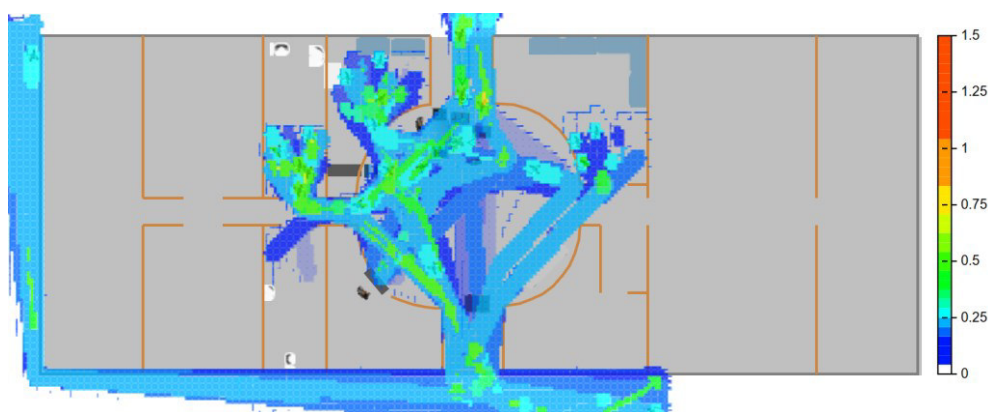


Рис. 4. Тепловая карта плотности пассажиропотока вокзального комплекса после внедрения ТТС и дополнительной рамки металлодетектора

Заключение

Таким образом, оценка и ликвидация «барьерных» мест путем имитационного моделирования предлагается для всех проектов цифровизации и модернизации вокзальных комплексов перед их внедрением как метод оценки рисков. Данный метод на высоком уровне абстракции позволяет увидеть реальную работу вокзального комплекса, что позволяет дать практические рекомендации для повышения эффективности и безопасности его работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Никонова Я.И., Проскурякова Е.А. Цифровизация железнодорожных вокзальных комплексов // Инновационные транспортные системы и технологии. - 2022. - Т. 8. - №3. - С.31-44.
- 2 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г., №3363-р.
- 3 Распоряжение ОАО «РЖД» от 23.09.2020 №2072/р (с изм. от 10.10.2022) «Об утверждении Типового технологического процесса работы железнодорожного вокзального комплекса». 2020. – 192 с.
- 4 Технологический процесс работы вокзала «Н» - Филиал дирекции железнодорожных вокзалов - структурное подразделение Куйбышевской региональной дирекции железнодорожных вокзалов, утв. Начальником Куйбышевской региональной дирекции железнодорожных вокзалов В.Ф. Овсепяном, 2025. – 112 с.
- 5 Материалы официального сайта Anylogic [Электронный ресурс], - Режим доступа <https://www.anylogic.ru/>

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ПАССАЖИРОВ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ

Е. А. Лаврова¹, С. А. Леонова²

Введение. В современных городах транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) выступают ключевыми элементами городской мобильности. Однако для значительной части населения – маломобильных групп (МГН), включающих людей с инвалидностью, пожилых граждан, родителей с детьми и временно нетрудоспособных лиц – использование ТПУ сопряжено с серьезными трудностями. В настоящее время проблема доступности заключается в несоответствии существующей инфраструктуры и сервиса потребностям МГН, что приводит к их социальной изоляции и ограничивает свободу передвижения [1, 2].

Актуальность исследования обусловлена демографическими тенденциями – значительной долей МГН в структуре населения России. В условиях развития агломераций и реализации национальных проектов по модернизации транспорта игнорирование потребностей этой категории граждан не допустимо. В Самаре ведется активное строительство новых транспортно-пересадочных узлов («Пятилетка», «Ягодная», у стадиона «Солидарность Самара Арена»), что создает уникальный прецедент для внедрения стандартов универсального дизайна на этапе проектирования. Решение данной проблемы имеет не только социальное, но и экономическое значение, способствуя росту пассажиропотока и снижению социальной напряженности.

Целью работы является анализ доступности для маломобильных групп населения транспортно-пересадочных узлов Самары и разработка практических рекомендаций по повышению качества их обслуживания.

В ходе исследования был проведен анализ нормативно-правовой базы Российской Федерации [3–5] и выполнено натурное обследование действующих и строящихся пересадочных узлов городского округа Самара.

Основная часть.

Проведенный анализ позволил выявить ряд барьеров, которые препятствуют комфортному использованию маломобильными пассажирами и посетителями транспортно-пересадочных узлов:

- к физическим барьерам можно отнести недостаточную ширину проходов (менее 1,5 м), отсутствие пандусов, лифтов, эскалаторов, а также высокие перепады высот на территории транспортного объекта;
- к информационным барьерам следует отнести сложность в использовании и недостаточное оснащение средствами навигации для маломобильных пассажиров, отсутствие дублирования визуальной информации аудиооповещением;
- к организационным барьерам можно отнести отсутствие специально обученного персонала по взаимодействию с МГН на территории ТПУ;
- к технологическим барьерам относится изношенное и устаревшее оборудование средств навигации и оповещения, недостаточное развитие мобильных цифровых сервисов.

Эти факторы приводят к увеличению времени пересадки в 2–3 раза, вызывают психологический стресс и часто становятся причиной отказа от поездки.

В качестве объекта исследования рассмотрены проекты развития транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара [6, 7].

ТПУ «Пятилетка» реализуется с 2024 года. Первый этап заключался в освобождении территории под строительство инфраструктуры. Второй этап предполагает объединение различных видов транспорта с обеспечением единой технологии обслуживания и создание безбарьерного пространства.

¹ Лаврова Елена Андреевна – студент группы ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

² Леонова Светлана Александровна – к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»

Реализация проекта ТПУ «А» предполагает создание ряда объектов для обеспечения удобства и качества обслуживания не только маломобильных пассажиров, но и всех пассажиров и посетителей пересадочного узла. Рассмотрено 4 возможных варианта развития ТПУ:

1. Строительство эстакады над автомобильной дорогой со стороны второго терминала с учетом минимального пешеходного подхода.
2. Расположение железнодорожных путей, проходящих за кладбищем в лесном массиве, и обеспечение пешеходного доступа к зданию аэропорта через надземный переход, оборудованный траволатором, либо сбоку от аэропорта с надземным переходом в здание аэропорта.
3. Расположение железнодорожных путей, проходящих перед кладбищем, и обеспечение пешеходного доступа к зданию аэропорта через надземный переход, оборудованный траволатором, либо сбоку от аэропорта с надземным переходом в здание аэропорта.
4. Расположение железнодорожных путей, соединенных с существующими, вблизи автозаправочной станции и авиаотеля. Далее проложение пути предусматривается как во 2-м и 3-м варианте и обеспечение пешеходного доступа к зданию аэропорта через надземный переход, оборудованный траволатором, либо сбоку от аэропорта с надземным переходом в здание аэропорта.

Оценка вариантов развития ТПУ «А» и стоимость их реализации представлены в таблице.

Таблица

Оценка вариантов развития ТПУ «А» и стоимость их реализации

Определение	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Основные параметры:				
Протяженность строительства железнодорожных путей, км	2	4/4,6	4/4,6	2,5/2,8
Длина эстакады, км	1,8	0,4	0,4	0,43
Длина платформ, м	150	150	150	150
Стоимость реализации, млн. руб.	6090,46	2867,63/ 2437,75	2867,63/ 2437,75	2705,36/ 2230,84

Анализ показал необходимость минимизации протяженности пешеходных маршрутов для МГН, что является приоритетным критерием при выборе финального варианта.

На основе проведенного анализа доступности транспортно-пересадочных узлов разработана система мер по четырем направлениям:

1. Инфраструктура. Обустройство непрерывных безбарьерных маршрутов с использованием пандусов, подъемников и лифтов; расширение проходов; применение тактильной плитки; выделение специальных парковочных мест.
2. Технологии. Внедрение мобильных приложений с навигацией для МГН; системы SMS-оповещения о задержках; установка кнопок экстренного вызова помощи.
3. Организация. Введение обязательного обучения персонала; создание службы сопровождения пассажиров; формирование единой диспетчерской службы для координации помощи при пересадках.
4. Информация. Размещение понятных схем с указанием безбарьерных маршрутов; обеспечение аудиообъявлений; создание видеонструкций о доступных услугах.

Заключение. Таким образом, в ходе проведенного исследования было выявлено, что повышение доступности транспортно-пересадочных узлов для маломобильных пассажиров требует комплексного подхода, включающего развитие инфраструктуры, совершенствование организационных процессов и внедрение мобильных цифровых сервисов. При этом предусмотреть доступность для МГН следует еще на этапе строительства транспортных объектов.

Предлагаемые практические рекомендации для повышения качества обслуживания маломобильных пассажиров в пересадочных узлах следует реализовать на основе имеющегося

отечественного и зарубежного опыта, при этом особое внимание следует уделить разработке отечественных программных продуктов для удобной навигации и ориентации на территории транспортно-пересадочных узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Иванов А.В., Петров С.Н. Проблемы формирования безбарьерной среды в крупных транспортных узлах // Транспорт Российской Федерации. – 2023. – № 4 (99). – С. 45–49.
- 2 Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г., №3363-р.
- 3 СПСП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения». Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001. – М.: Минстрой России, 2020.
- 4 Федеральный закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» (с изм. и доп.).
- 5 ГОСТ Р 52131-2003. Средства отображения информации знаковые для инвалидов. Классификация, основные параметры и размеры.
- 6 Смирнова Е.Г., Кузнецов М.А. Цифровизация сервисов для маломобильных пассажиров: российский опыт // Информационные технологии на транспорте. – 2024. – № 2. – С. 112–118.
- 7 Отчёт о научно-исследовательской работе «Анализ доступности объектов транспортной инфраструктуры г.о. Самара для МГН». – Самара: Самарский государственный технический университет, 2024.

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

С. В. Мансурова¹, О. В. Москвичев²

Введение

Одним из приоритетных проектов федерального уровня является развитие Международного транспортного коридора «Север–Юг», ориентированного на формирование устойчивого маршрута перевозки грузов в направлении стран Каспийского региона, Ирана, Индии и государств Южной Азии. Формирование федерального портово-логистического хаба «Самарский» обеспечит интеграцию региона в систему международных транспортных коридоров и будет способствовать росту экспортного потенциала [1].

Основная часть

В условиях развития промышленности, сельского хозяйства и внешнеэкономических связей особую роль играет прогнозирование грузопотоков. В рамках данной работы были разработаны два прогноза до 2030 года на основе построенного транспортно-экономического баланса [2, 3, 4]. Выбор номенклатуры грузов осуществлялся с учетом их большей и средней степени перевозок железнодорожным транспортом. Первый прогноз основан на экстраполяции временных рядов, второй – на базовом сценарии развития, представленном в Стратегии социально-экономического развития Самарской области [5]. Однако, поскольку первый метод может отражать краткосрочные колебания экономики, а Стратегия была составлена до существующих изменений в мировой экономике, было принято решение использовать среднее значение двух полученных прогнозов.

Таблица 1

Итоговой прогноз транспортно-экономического баланса на 2030 г.

Наименование грузов	Объемы, тыс. тонн в год			
	2030 г.			
	Производство	Импорт	Потребление	Экспорт
Черные металлы и лом черных металлов	451,01	165,76	229,78	386,99
Машины, станки, двигатели, метизы	405,71	119,38	230,31	294,78

¹ Мансурова Светлана Владимировна – студент группы ЭЖД-11, Институт управления и экономики

² Москвичев Олег Валерьевич – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой»

Автомобили	717,54	76,79	451,34	342,99
Цветные металлы, лом цв. металлов	230,17	47,99	261,07	17,09
Химические и минеральные удобрения	7877,65	92,48	3744,85	4225,29
Химикаты и сода	3552,17	90,03	1341,02	2301,18
Строительные грузы	925,77	328,75	786,71	467,81
Пром. сырье	2253,84	95,28	1153,03	1196,10
Лесные грузы	65,81	10,67	53,31	23,17
Сахар	258,32	31,74	181,91	108,14
Зерно, продукты перемола	3793,36	364,38	3648,21	509,53
Комбикорма	42,26	23,55	51,62	14,19
Жмыхи	1321,28	202,59	875,36	648,50
Бумага	21,75	42,07	59,59	4,22

Для анализа перевозочного процесса грузы были сгруппированы в укрупнённые категории: контейнеры, тарно-штучные, инертные и тяжеловесные. Контейнеры выделены отдельно на основе уровня контейнеризации, закреплённого в Транспортной стратегии РФ [6].

Прогноз распределения грузопотоков на 2030 год строится на увеличении объемов перевозок железнодорожным транспортом на 1 % (по сравнению с 2025 г.) и роста уровня контейнеризации, исходя из Транспортной стратегии. Можно сделать вывод, что по всем направлениям увеличатся объемы грузопотоков контейнеров и инертных грузов, и лишь в некоторых случаях рост произойдет по тяжеловесным грузам. По ТШГ в свою очередь почти везде произойдет уменьшение объемов грузопотоков по всем направлениям.

Проведённый анализ показал, что значительная часть экспортируемых грузов ориентирована на направление Южного федерального округа, через который осуществляется дальнейший выход к морским портам и международным рынкам. Это свидетельствует о включённости региона в формирующуюся систему южных транспортных коридоров.

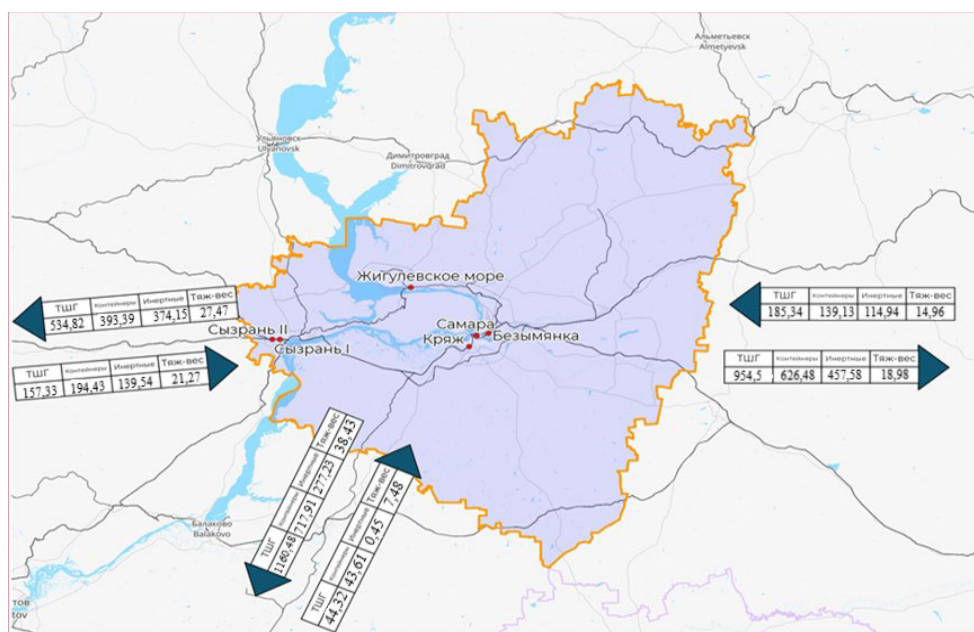


Рис. 1. Схема грузопотоков Самарской области на 2030 г., тыс. тонн в год

В связи с развитием международного транспортного коридора «Север–Юг» и созданием портово-логистического хаба «Самарский» важно учитывать инфраструктуру речных портов Самарской области – Самары, Тольятти и Сызрани, а также прилегающих железнодорожных станций. На основе анализа технико-эксплуатационной характеристики объектов терминально-логистической инфраструктуры Самарского региона, были выделены следующие проблемы:

1. Дисбаланс перерабатывающих способностей между портовой и железнодорожной инфраструктурой, что может стать сдерживающим фактором при увеличении грузопотока с переключением железнодорожного транспорта на речной.

2. Преобладание открытых складов при недостаточном развитии крытых и специализированных контейнерных комплексов.

Распределение грузопотоков на 2030 год по станциям выполнено комбинированным методом, учитывающим направления движения грузов из рисунка 1, их номенклатуру и специализацию станций. Для каждого вида груза приняты индивидуальные коэффициенты распределения, отражающие технологические возможности станций. Дополнительно учтено влияние направлений движения грузов на долевое участие станций в переработке.

В целях повышения реалистичности модели распределения грузопотоков учтена доля прочих станций Самарской области, не вошедших в детализированное рассмотрение. Исходя из коэффициентов формируется таблица 2, где представлены данные распределения по отправлению и прибытию в тоннах.

Таблица 2

Распределение грузопотоков по станциям и направлениям на 2030 г., включая отправление и прибытие

Направление	Объем грузопотока, тонн в год					
	«С»		«Ж»		«С2»	
	Приб.-е	Отпр.-е	Приб.-е	Отпр.-е	Приб.-е	Отпр.-е
Контейнеры						
Восток	-	-	4870	219269	20870	93972
Запад	-	-	64161	129818	33052	122045
Юг	-	-	17445	250593	4361	62648
Итого	-	-	86475	599681	58283	278666
ТШГ						
Восток	55602	286349	-	-	27801	143175
Запад	31466	106964	-	-	39332	133705
Юг	13296	348143	-	-	6648	174071
Итого	100364	741456	-	-	73781	450951
Инертные грузы						
Восток	11494	47558	-	-	57470	237789
Запад	13954	37415	-	-	69769	187075
Юг	89	55446	-	-	179	110893
Итого	25537	140419	-	-	127418	535757
Тяжеловесные грузы						
Восток	4489	5695	2993	3796	2245	2847
Запад	5319	6867	3191	4120	5319	6867
Юг	1122	5764	2619	13450	1122	5764
Итого	10930	18326	8803	21367	8685	15479

На рисунке 2 приведены результаты расчетов, отражающие прогнозируемые суточные объемы грузопотоков на 2030 год. Данные представлены в сопоставлении с текущими суточными наличными перерабатывающими способностями объектов ТЛИ Самарской области.

Результаты расчётов показывают, что к 2030 году ожидается значительное превышение перерабатывающих способностей инфраструктуры, в частности по переработке таких грузов как: ТШГ и контейнеры. Это свидетельствует о высокой вероятности перегрузки инфраструктуры при сохранении текущих мощностей.

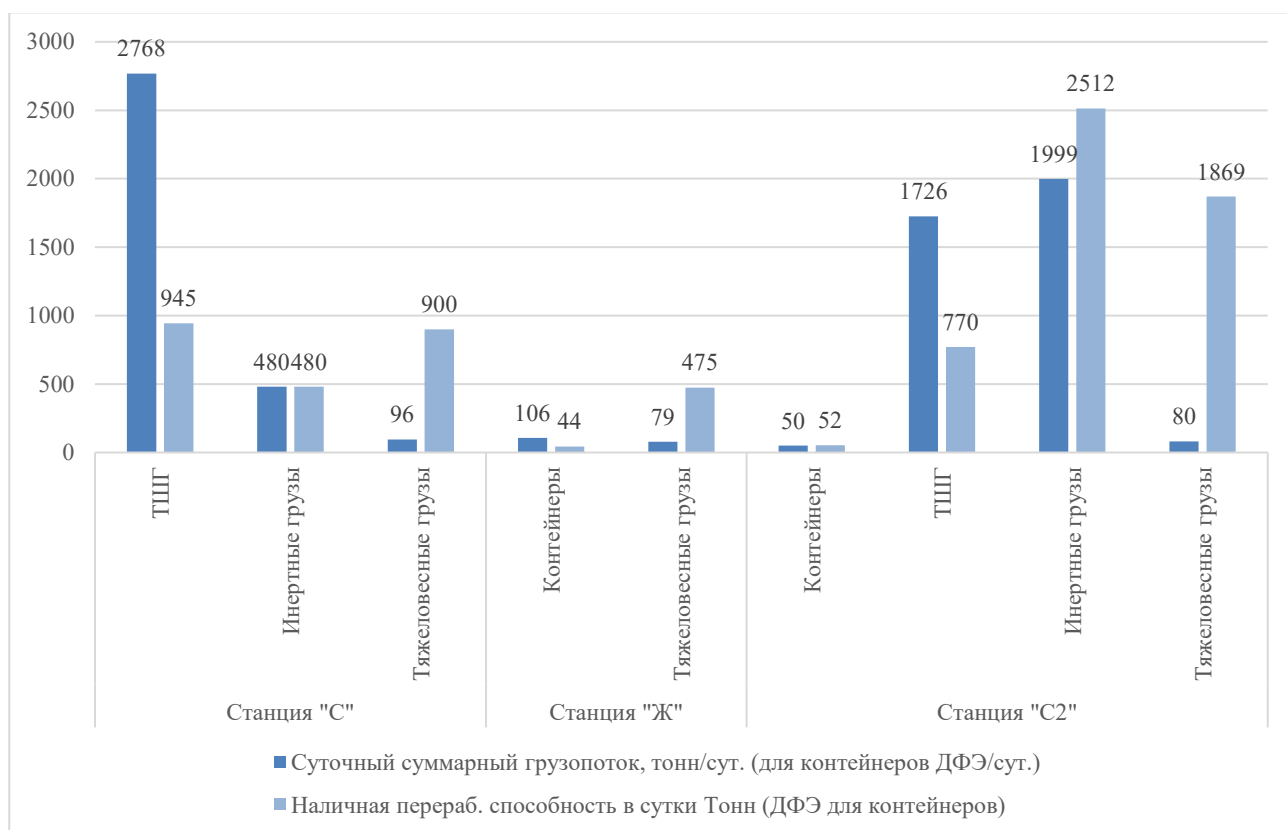


Рис. 2. Прогнозные суточные объемы грузопотоков в сравнении с перерабатывающими способностями объектов ТЛИ

Заключение

Таким образом, для эффективной интеграции Самарской области в международный транспортный коридор «Север–Юг» необходимо проведение комплексной модернизации транспортно-логистической инфраструктуры. Ключевыми направлениями должны стать: увеличение перерабатывающих способностей железнодорожных станций; развитие контейнерных терминалов; создание современных складских комплексов; обеспечение сбалансированного развития мультимодальных узлов.

Реализация данных мероприятий позволит региону эффективно справляться с ростом грузопотоков и усилить свою роль в системе международных транспортных связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 МТК «Север-Юг» [Электронный ресурс] // Правительство Самарской области : [сайт]. – URL: <https://investinsamara.ru/about/MTK%20«СЕВЕР-ЮГ».pdf> (дата обращения: 20.02.2026).
- 2 Самарская область в цифрах // Официальный сайт Самарстата URL: https://economy.samregion.ru/activity/ekonomika/values_so/ (дата обращения: 20.02.2026).
- 3 Самарский статистический ежегодник // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Самарской области – Официальные публикации Самарстата URL: <https://63.rosstat.gov.ru/folder/34255#> (дата обращения: 20.02.2026).
- 4 Москвичев, О. В. Оценка объемов грузопотоков с использованием транспортного-экономического баланса для стратегического планирования развития тли / О. В. Москвичев, С. В. Мансурова // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 137-140. – EDN EKVWYW.
- 5 Стратегия социально-экономического развития Самарской области на период до 2030 года / [Электронный ресурс] // Правительство Самарской области : [сайт]. – URL: <https://www.samregion.ru/wp-content/uploads/2025/03/6.-strategiya-razvitiya-441.pdf> (дата обращения: 15.03.2026).
- 6 О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года от 27 ноября 2021 - docs.cntd.ru // Консорциум кодекс URL: <https://docs.cntd.ru/document/727294161> (дата обращения: 15.03.2026).

ДОСТУПНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРАЖДАН

Ю. М. Навалова¹, О. А. Бондаренко²

В России социальная политика ставит в приоритет доступность объектов железнодорожной инфраструктуры для маломобильных групп населения. В современном обществе, где каждый человек имеет право на свободное перемещение и участие в общественной жизни, доступ к транспорту играет первостепенное значение. Люди с ограниченными возможностями, включая инвалидов и пожилых граждан, сталкиваются с множеством препятствий, которые в результате ограничивают их мобильность и возможности, что в итоге негативно сказывается при интеграции их в общественной среде.

Россия активно занимается вопросом устранения барьеров и предоставления равной среды в плане транспортной доступности для жизнедеятельности данной категории населения. основополагающим документом, регламентирующим эту сферу, является Федеральный закон №181-ФЗ «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» от 24 ноября 1995 года. Данный законодательный акт, гарантирует инвалидам право на доступ к различным услугам, в том числе транспортные и ставит обязательное условие выполнения перед государственными структурами и предприятиями, в обеспечении доступности объектов транспортной инфраструктуры для людей с ограниченными возможностями [1; 5].

Строительные нормы и нормы СНИП также играют существенную роль в обеспечении доступности. СНИП 35-01-2001 регулирует проектирование зданий и сооружений с учетом потребностей маломобильных групп населения, включая установку пандусов, подъемников, тактильной навигации и других элементов инфраструктуры, для обеспечения их комфортного передвижения [2].

Большую роль в том, что пространство было удобным для всех, выполняет программа государственной поддержки, такая как «Доступная среда» [4]. Эта программа направлена на модернизацию инфраструктуры и создание безбарьерной среды для людей с ограниченными возможностями. Она включает в себя финансирование проектов, направленных на адаптацию транспортной инфраструктуры, а также на развитие социальных служб, помогающим маломобильным гражданам [4; 5].

На железнодорожных вокзалах лифты и подъемные платформы являются важными элементами, позволяющими маломобильным гражданам свободно передвигаться между уровнями. Такое оборудование должно отвечать строгим требованиям безопасности и при этом удобным в использовании. Например, минимальные размеры кабины лифта должны обеспечивать комфортное размещение инвалидной коляски и сопровождающего. Важно уделять внимание не только техническим характеристикам, но и тому, насколько легко управлять устройством, чтобы пользоваться им было легко и без лишних сложностей [2; 6].

Для обеспечения удобства передвижения маломобильных граждан, на вокзальных комплексах крайне необходимо применение современных навигационных решений. К ним можно отнести применение тактильных покрытий и четкие визуальные указатели, значительно облегчающие ориентацию в пространстве, и позволяющие почувствовать возможность получения самостоятельности в процессе передвижения. Системы звукового оповещения и громкоговорящей связи, транслирующие актуальную информацию о времени отправления поезда и его прибытии на станцию, а также временного периода стоянки поезда на станции, что в дальнейшем мы можем видеть в повышении уровня безопасности для пассажиров с ограниченными возможностями.

Не менее важная часть доступности вокзала - билетные кассы. Необходимо организовать удобное обслуживание для маломобильных пассажиров: сделать низкие окна, чтобы билеты

¹ Навалова Ю. М. – студент гр. ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

² Бондаренко Оксана Александровна – к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»

можно было покупать и стоя, и сидя. Хорошим решением станут отдельные специализированные терминалы для оформления проездных документов. Актуальной также является возможность использования мобильных приложений для приобретения билетов, что значительно упрощает процесс для пользователей с ограниченными возможностями.

Санитарные комнаты на вокзалах должны быть полностью адаптированы к нуждам маломобильных граждан, включая наличие специализированного оборудования, такого как поручни, ширина дверных проемов и другие меры, которые сделают помещение безопасным и удобным. Зоны ожидания тоже следует продумывать с учетом таких пассажиров, предоставляя комфортные места с возможностью доступа к необходимой информации.

Помочь маломобильным гражданам свободнее передвигаться можно с помощью служб сопровождения. Такие службы помогают пользователям с ограниченными возможностями в процессе посадки и высадки из поездов, что крайне важно, особенно в час пик, когда вокзал загружен [5].

Цифровые технологии становятся актуальными и способны упростить доступ к услугам на вокзальных комплексах. В мобильных приложениях можно быстро посмотреть расписание, узнать о задержках, проверить, как идут маршруты, и найти сведения о сервисах на вокзалах. Если в систему вокзала подключены умные помощники, они могут подсказать маломобильным пассажирам нужную информацию и сориентировать их на месте [4; 6].

В целом, обеспечение доступности железнодорожной инфраструктуры для маломобильных граждан – задача непростая, и одним решением ее не закрыть, она требует комплексного подхода и совместных усилий как со стороны государства, так и со стороны общества. Разработка и реализация новых законодательных инициатив, модернизация существующей инфраструктуры и использование современных технологий помогут убрать барьеры и создать среду, в которой каждому будет проще свободно передвигаться и полноценно участвовать в жизни общества. При этом важно, чтобы все инициативы сопровождалось мониторингом и оценкой их эффективности, что позволит выявлять проблемы и корректировать подходы в соответствии с актуальными требованиями [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 О социальной защите инвалидов в Российской Федерации: Федеральный закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ (ред. от 28.12.2024) // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_17057/ (дата обращения: 27.04.2026).
- 2 СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения: приняты постановлением Госстроя России от 16.07.2001 № 73 // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008352> (дата обращения: 25.04.2026).
- 3 О внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 26.12.2005 № 263-ФЗ // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_58882/ (дата обращения: 11.05.2026).
- 4 Государственная программа Российской Федерации «Доступная среда»: официальный сайт. – URL: <http://www.dostupnaysreda.ru/> (дата обращения: 27.04.2026).
- 5 О реализации права на доступную среду для инвалидов и других маломобильных групп населения: информационно-методические материалы // Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации. – URL: <https://mintrud.gov.ru/> (дата обращения: 04.05.2026).
- 6 Анисимова, Е. С. Доступность железнодорожного транспорта для маломобильных граждан / Е. С. Анисимова. – DOI 10.24258/sp.soc-polic.2020.12.2.4 // Социальная политика и социология. – 2020. – Т. 12, № 2. – С. 29–38.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. Д. Попсуйко¹, С. Ю. Иванчин²

Введение Сортировочные станции занимают ключевое место в железнодорожной сети, обеспечивая массовую переработку вагонов, расформирование и формирование поездов в соответствии с планом формирования. От их работы напрямую зависят скорость доставки грузов, оборот вагона и себестоимость перевозок. Именно здесь происходит преобразование массовых грузопотоков в организованные поезда, следующие без переработки на дальние расстояния, что способствует ускорению продвижения вагонопотоков и снижению эксплуатационных расходов сети.

По техническому оснащению сортировочные станции делятся на односторонние и двусторонние, с горками большой, средней или малой мощности. Типовая структура включает парки приема (подготовка составов к расформированию), сортировочные парки (накопление вагонов по назначениям) и парки отправления (подготовка сформированных поездов). Центральным элементом является сортировочная горка, позволяющая за счет силы тяжести эффективно распределять вагоны по путям. Производительность горки, определяемая горочным технологическим интервалом и перерабатывающей способностью, задает ритм работы всей станции и прилегающих участков.

В условиях роста грузооборота и ужесточения требований к качеству перевозок перед сортировочными станциями стоят задачи повышения эффективности использования технических средств и сокращения времени нахождения вагонов под накоплением и переработкой. Особенно актуально это для двусторонних станций, где требуется согласованная работа двух сортировочных систем, а также для станций с механизированными горками, имеющими ограниченные возможности по сравнению с автоматизированными комплексами.

Одним из факторов, ограничивающих перерабатывающую способность горок, являются технологические «окна» - разрывы между отцепами на путях сортировочного парка, возникающие из-за различий в ходовых характеристиках вагонов и точности работы замедлителей. Для их ликвидации традиционно выполняются операции осаживания или подтягивания вагонов с использованием горочных или маневровых локомотивов, что отвлекает локомотивы от основной работы, увеличивает длительность горочного цикла и снижает перерабатывающую способность горки.

Целью работы – разработка и обоснование технического решения для ликвидации окон между отцепами в сортировочном парке с помощью подкатных тележек, позволяющего сократить горочный интервал и высвободить маневровый локомотив на примере сортировочной станции К.

Основная часть. Исследование выполнено на базе внеклассной двусторонней сортировочной станции К. Станция имеет две сортировочные системы: нечетную (автоматизированная горка большой мощности) и четную (механизированная горка средней мощности). Среднесуточный вагонооборот в 2023 году составил 12 021 вагон, из них в переработку поступает 3 956 вагонов, при этом на четную систему приходится около 1 400 вагонов в сутки. Техническое оснащение четной системы включает сортировочную горку с двумя путями надвига, одним спускным путем и тремя горочными локомотивами (ТЭМ18ДМ, ЧМЭЗ) [1].

Для оценки сбалансированности работы станции выполнен анализ условий взаимодействия основных элементов четной сортировочной системы по методике, изложенной в методических указаниях «Организация работы сортировочной станции». Разработанная на кафедре Управление эксплуатационной работой ПривГУПС [2]. Рассматривались следующие условия:

- темп осмотра составов в парке приема должен превышать темп прибытия поездов;
- темп расформирования составов должен быть не ниже темпа обработки составов;
- темп формирования составов должен быть не ниже темпа накопления;

¹ Попсуйко Даниил Дмитриевич – студент гр. ТТПб-21, Институт управления и экономики

² Иванчин Сергей Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»

- темп обработки составов в парке отправления должен быть выше темпов поступления составов из сортировочного парка и прибытия транзитных поездов.

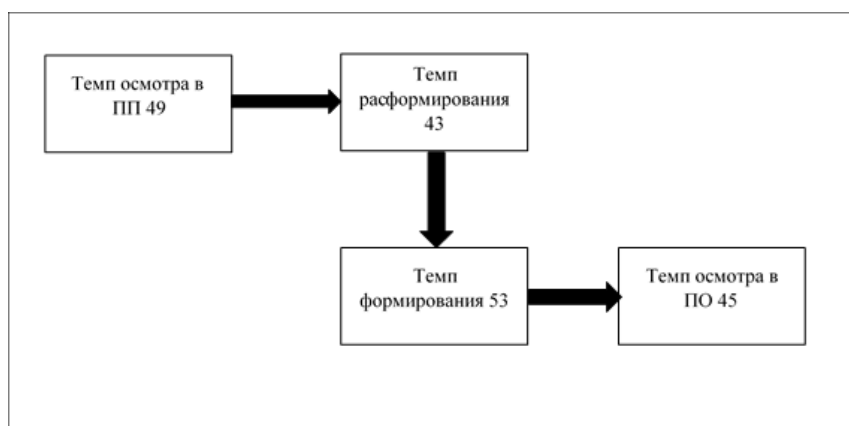


Рис. 1. Сопоставление темпов при переработке вагонопотока

Расчеты показали, что условие по темпу расформирования не выполняется, темп расформирования (43 состава/сут.) ниже темпа осмотра в парке приема (49 составов/сут.). Это указывает на то, что горка является «узким местом» (рис. 1), ограничивающую перерабатывающую способность станции [3].

Для увеличения темпа расформирования предложено снизить горочный интервал за счёт сокращения времени на осаживание вагонов на путях сортировочного парка. Вместо использования маневрового локомотива предлагается применить подкатные тележки (рис. 2), которые представляют собой автоматизированные устройства, перемещающиеся вдоль путей и подталкивающие вагоны для ликвидации разрывов. Управление тележками осуществляется дежурным по горке с автоматизированного рабочего места; скорость подталкивания не превышает 5 км/ч, что соответствует требованиям безопасности [4].

Внедрение подкатных тележек позволяет:

- исключить занятие горочного локомотива операциями осаживания;
- сократить продолжительность горочного цикла;
- высвободить один маневровый локомотив из четной системы, который может быть использован на других участках.

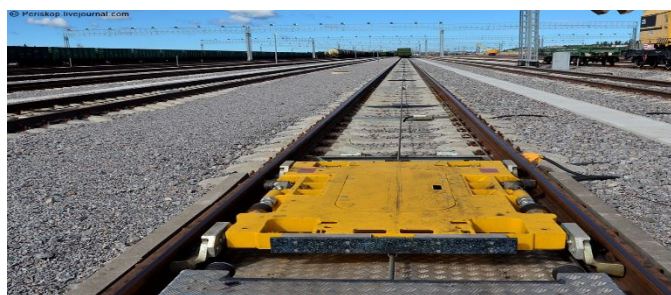


Рис. 2. Подкатная тележка

Для размещения требуется оснащение путей сортировочного парка датчиками контроля заполнения (КЗП) и установка 13 комплектов тележек с приводами. Капитальные затраты на реализацию проекта приведены в таблице.

Капитальные затраты на реализацию проекта

Наименование работы	Измеритель	Стоимость единицы, тыс. руб.	Объем работ	Капитальные затраты, тыс. руб.
Установка датчиков КЗП	шт.	105	416	43 680
Подкатные тележки с приводами	шт.	455	13	5 915
Итого				49 595

Экономический эффект от высвобождения одного маневрового локомотива. Годовая экономия составляет 7 183 200 руб.

Экономический эффект от сокращения гоночного технологического интервала. Годовая экономия составляет 3 900 025 руб.

Общая экономия затрат составляет 11 083 225 руб.

Эксплуатационные затраты на обслуживание 13 комплектов тележек составят 1 млн рублей в год.

Срок окупаемости определен по следующей формуле:

$$T = \frac{З}{П - Зэ},$$

где З – капитальные затраты на реализацию проекта, руб.

П – экономия эксплуатационных затрат, руб./год.

Зэ – затраты на обслуживание, руб./год.

Срок окупаемости проекта составил 4 года 11 месяцев. Полученное значение соответствует критериям инвестиционных проектов ОАО «РЖД» первой категории, что подтверждает коммерческую привлекательность предложенного решения.

Дополнительно в работе рассмотрены вопросы безопасности при эксплуатации подкатных тележек. Устройства должны быть оснащены системами автоматического контроля скорости и препятствий, а персонал – пройти специальное обучение. Мероприятия согласуются с требованиями системы КСОТ-П и стратегии гарантированной безопасности перевозок [5].

Выводы. Проведённое исследование показало, что применение подкатных тележек для ликвидации окон между отцепами на сортировочной станции К позволяет сократить горочный интервал и повысить перерабатывающую способность горки. Срок окупаемости проекта не превышает 5 лет. Предложенное техническое решение может быть рекомендовано к внедрению на станциях с аналогичными условиями работы, особенно на двухсторонних сортировочных системах с механизированными горками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Техническо-распорядительный акт железнодорожной станции К Куйбышевской железной дороги – филиала ОАО «РЖД».
- 2 Организация работы сортировочной станции: методические указания к курсовому проекту / сост. В. И. Александров, П. Б. Романова, О. А. Бондаренко, Н. А. Муковнина. – Самара: СамГУПС, 2015. – 48 с.
- 3 Технологический процесс работы грузовой станции К Куйбышевской железной дороги – филиала ОАО «РЖД».
- 4 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250.
- 5 Пособие по обеспечению безопасности движения и охране труда ОАО «Российские железные дороги». – М.: Техинформ, 2011. – 248 с.

СНИЖЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОСТОЯ ПРИ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЯХ НА СТАНЦИЯХ: ПРИЧИНЫ ЗАДЕРЖЕК И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ

Д. В. Клабуков¹, Н. В. Эрлих²

Введение. Простой вагонов под грузовыми операциями относится к числу наиболее значимых потерь во всей системе грузовой работы. Для узловой станции эта проблема особенно заметна, поскольку здесь одновременно пересекаются операции по приему и отправлению поездов, местная работа, подача на пути необщего пользования и уборка готовых вагонов. Если вагон задерживается на одном из этапов, снижается оборот подвижного состава, расчет занятости путей и ухудшается ритм обслуживания клиентов [2]. Актуальность темы подтверждается масштабом грузовой работы сети: по данным ОАО РЖД, в 2024 году погрузка составила 1 млрд 181,4 млн т [1]. Следовательно, даже сравнительно небольшое увеличение простоя в узлах приводит к заметным потерям. Цель статьи – выявить основные причины задержек вагонов под грузовыми операциями и показать, какие организационные меры позволяют сократить непроизводительное время на станции.

Для практического анализа общее время нахождения вагона под грузовыми операциями можно представить как сумму пяти элементов: ожидание подачи к фронту, ожидания начала операции, самой погрузки или выгрузки, ожидания уборки и информационно-документальных задержек [4]. На станциях чаще всего задержки возникают не по одной причине, а из-за совокупности факторов [2; 4]. Первый фактор – неравномерный подвод вагонов, когда объемы подачи в отдельные часы превышает реальные возможности фронта. Второй – ограниченность маневровых ресурсов, особенно в периоды, когда местная работа совпадает по времени с другими станционными операциями. Третий фактор связан с грузовым фронтом и путями необщего пользования: фронт может быть занят, складская площадка не готова, не хватает техники или персонала. Четвертый фактор – несогласованность действий станций и клиента после завершения операций. Если уведомление о готовности к уборке не было передано, вагон продолжает простаивать уже после фактического окончания выгрузки или погрузки [3]. Именно поэтому на современных станциях простой необходимо рассматривать как результат технологический, так и организационный.

Наиболее результативный путь сокращения простоя связан с переходом от реагирования на очередь управления потоком вагонов. Для этого целесообразно использовать слотирование подачи и уборки, когда для основных клиентов и грузовых фронтов заранее определяются временные окна по сменам [4]. Подача вагонов должна выполняться при подтвержденной готовности фронта, а уборка готовых вагонов должна иметь приоритет, если возникает накопление у места работы. Второй мерой является введение часового плана местной работы. Это поможет диспетчерам увязывать в график подачи и уборки вагонов, маневровые передвижения по станции, избежать враждебных маршрутов. Третьей мерой мы принимаем нормирование времени по факту простоя, это позволяет определить, где теряется больше всего времени, от суда можно сделать вывод, как оптимизировать процесс. Значимую роль занимает цифровая фиксация событий, с помощью отчета мы можем наблюдать время уведомления о готовности вагонов к уборке, подачу локомотива для уборки и время на подготовку вагонов к уборке с путей необщего пользования. Это позволяет сделать работу станции наглядной и удобной для анализа.

Основная часть

Управление простоем целесообразно разложить на элементы, где для каждого элемента можно назначить ответственных и инструменты воздействия. Для узловой станции предлагается следующая базовая модель времени нахождения вагона под грузовыми операциями по формуле 1:

$$T_{\text{гр}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (1)$$

где t_1 – ожидание подачи к грузовому фронту;

¹ Клабуков Д.В. – студент гр. ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

² Эрлих Наталья Валентиновна – к.т.н., доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

- t_2 – ожидание начала операций у фронта;
 t_3 – выполнение грузовой операции;
 t_4 – ожидание уборки после готовности;
 t_5 – документальные и информационные задержки.

Преимущество модели в том, что она позволяет выявить задержку на определенном этапе: например, если растет t_4 , то проблема не в погрузчике, а в управлении уборкой и маневровым планом. Анализ причин удобно проводить по группам: поток, ресурсы, фронт, документы и информация. Для станций типовая картина складывается из следующих факторов, представленных в таблице.

Таблица

Типовые причины роста простоя вагонов под грузовыми операциями

Группа причин	Конкретное проявление	На какой элемент влияет
Поток прибытия и подачи	Сгущенное прибытие порожних вагонов, превышающее суточный фронт; ожидание накопления груза	t_1, t_2
Маневровые ресурсы	Дефицит маневровых локомотивов и бригад в пиковые часы; конкуренция за горловины	t_1, t_4
Грузовой фронт	Фронт занят; неготовность площадки; ограничения склада или техники	t_2, t_3
Пути необщего пользования	Несогласованность подачи и уборки; ограничение по длине и вместимости	t_1, t_4
Документы и информация	Статус «готов» не подтвержден; задержка уведомления; разрыв между фактом операции и фиксацией	t_5

Предположим, что по местной работе узловая станция обслуживает 240 вагонов в сутки, а среднее время нахождения одного вагона под грузовыми операциями составляет 22 часа. После внедрения слотирования, часового плана местной работы и надежной фиксации статусов этот показатель может быть снижен до 18 часов. Тогда эффект в высвобождении рабочего парка определяется по формуле 2:

$$\Delta P = N \times \frac{(T_0 - T_1)}{24} \quad (2)$$

$$\Delta P = 240 \times \frac{4}{24} = 40 \text{ вагонов}$$

Полученный результат показывает, что сокращение простоя даже на 4 часа дает эффект, сопоставимый с высвобождением 40 вагонов рабочего парка. Следовательно, повышение эффективности связано с устранением организационных потерь времени, а не только с интенсификацией самой грузовой операции.

Вывод

Проведенный анализ показывает, что простой вагонов под грузовыми операциями формируется на нескольких этапах: при ожидании подачи, начале работы, выполнении грузовой операции, ожидании уборки и при документальном оформлении. Основными причинами увеличения простоя на станциях являются неравномерный подход вагонов, недостаток маневровых ресурсов, ограничения грузовых фронтов и путей необщего пользования, а также несвоевременная подача информации о готовности вагонов к уборке. Наиболее эффективными мерами сокращения простоя являются слотирование подачи и уборки, часовой план местной работы, нормирование времени по элементам технологического процесса и цифровая фиксация статусов. Реализация этих мер позволяет уменьшить занятость путей, улучшить оборот вагонов и повысить устойчивость работы узловой станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Погрузка сети ОАО РЖД в 2024 г. [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=310553&ysclid=mml3kv3nns847538030> (Дата обращения 28.04.2026)
- 2 Отчет об устойчивом развитии ОАО РЖД за 2024 г. [Электронный ресурс]: <https://sr2024.rzd.ru/ru/about-report?ysclid=mml3qvfiv391277464> (Дата обращения 28.04.2026)

- 3 Федеральный закон от 10.01.2003 №18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/?ysclid=mml488y894556012560 (Дата обращения 28.04.2026)
- 4 Разработка мероприятий по сокращению времени простоя местного вагона на железнодорожной станции. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-meropriyatiy-po-sokrascheniyu-vremeni-prostoya-mestnogo-vagona-na-zheleznodorozhnoy-stantsii/viewer> (Дата обращения 28.04.2026)

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СКЛАДСКИХ РАБОТ С СЫПУЧИМИ ГРУЗАМИ

О. Д. Киреева¹, Н. Н. Мазько²

Введение. Железнодорожный транспорт, оставаясь одним из основных средств перевозки массовых грузов, развивается в условиях общей тенденции снижения суммарных объёмов перевозок. При этом сыпучие грузы сохраняют значительную долю в перевозочном процессе и приобретают всё более выраженную экспортную направленность, что сопровождается переориентацией грузопотоков преимущественно на восточные направления. Современные транспортно-логистические комплексы и зерновые терминалы отвечают этим вызовам за счёт дополнительного оснащения специализированными погрузочно-разгрузочными устройствами и внедрения интегрированных АСУ ТП, обеспечивающих автоматизацию и цифровизацию технологических процессов и способствующих повышению конкурентоспособности железнодорожных перевозок. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка и применение комплексных методов сокращения простоя вагонов, основанных на повышении эффективности операций с подвижным составом и оптимизации взаимодействия всех участников перевозочного процесса на станции [1].

Основная часть. Для наглядности структуры перевозок рассмотрим диаграмму объёма погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте за 2025 год. Погрузка распределена неравномерно: выделяется один ярко выраженный лидер, а также несколько крупных групп, формирующих основной грузопоток (рисунок).

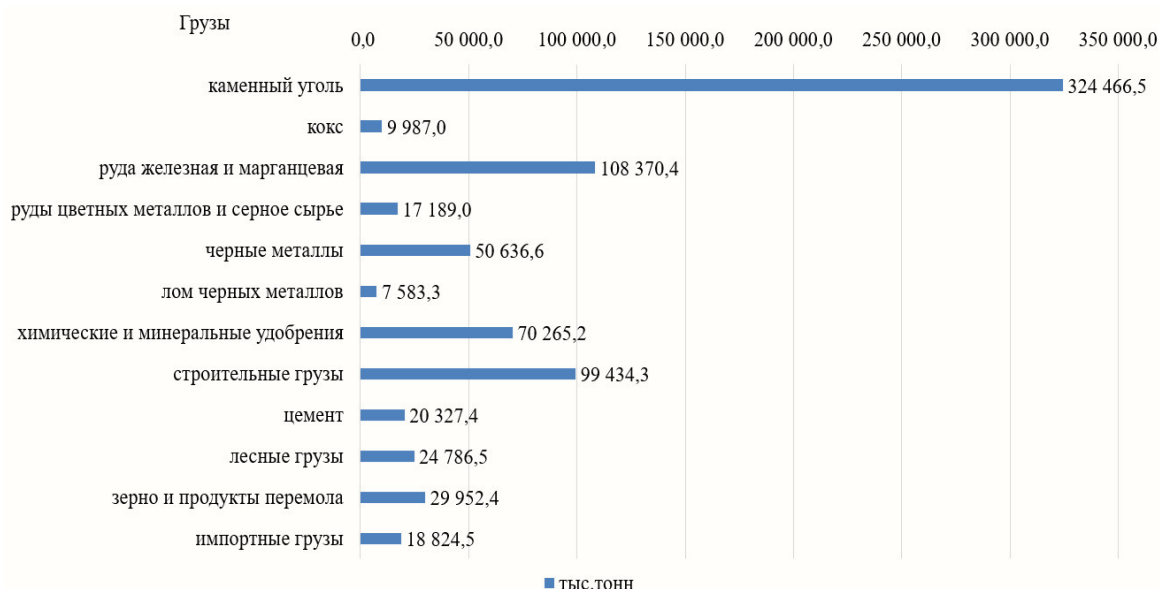


Рис. Объём погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте в 2025 году

¹ Киреева Ольга Дмитриевна – студент группы ЭЖД-22, Институт управления и экономики

² Наталья Николаевна Мазько – заведующий кафедрой «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

На диаграмме отчётливо выделяются сыпучие грузы, обработка которых может быть обеспечена рассмотренными в статье средствами механизации: каменный уголь, химические и минеральные удобрения, строительные грузы, цемент, зерно и продукты перемола. Совокупно эти позиции дают 544 445,8 тыс. т из 781 823,1 тыс. т общего объёма, то есть 69,6 %. Такая доля показывает, что конкурентоспособность железнодорожной логистики во многом определяется эффективностью операций погрузки, выгрузки, перегрузки и складирования именно сыпучих масс, где решающую роль играют средства механизации и автоматизации.

Рассмотрение средств механизации и автоматизации целесообразно вести в логике единой технологической цепи «склад - подвижной состав - склад». На практике эта цепочка предполагает, что на складе необходимо аккуратно и без потерь загрузить продукт в вагон или автомобиль, на участке выгрузки - оперативно разгрузить подвижной состав, а затем распределить поток по силосам и обеспечить стабильное хранение. Если хотя бы одно звено работает медленнее остальных или сопровождается пылением и частичной потерей груза, терминал теряет время оборота подвижного состава и снижает свою конкурентоспособность.

Для погрузки зерна и других сыпучих материалов целесообразно использовать закрытые конвейерные трассы, поскольку они обеспечивают требуемую производительность и одновременно снижают пыление. К таким решениям относятся трубчатые ленточные транспортёры, в которых груз перемещается внутри «трубы».

В качестве конкретного примера рассмотрим зернопогрузчик – транспортёр ленточный трубчатый с электроприводом ТЛТ-3514-Э (ООО ТПК «Татполимер»). На странице производителя указано, что оборудование предназначено для «погрузки зерна со склада в зерновоз, перемещения зерна по складу и подачи зерна и других сыпучих грузов в технологической цепи предприятия» [2]. На практике это позволяет организовать маршрут «склад - приёмник транспортёра - разгрузочная головка – вагон или автомобиль» и заранее согласовать скорость подачи с равномерной погрузкой.

Там, где требуется мобильность, например при работе в низком складе, отборе зерна из насыпи или эксплуатации временных складов, рационально дополнять конвейерный контур пневматическим звеном. Пневмопогрузчик S2000 TR (компания «АГРИМО») по данным официальной страницы, рассчитан на погрузку в вагон и автомобиль, а также на загрузку в силосы. Кроме того, производитель указывает, что оборудование обеспечивает бережную транспортировку зерна. Такое решение удобно, когда необходимо оперативно переместить продукт из одной точки склада в другую без перестройки стационарных трасс.

Выгрузка сыпучих грузов из вагонов-хопперов и полувагонов в теории опирается на самотёк, однако на практике именно на этом этапе часто возникают простои: груз слёживается, в зимний период может примерзнуть, а при пылении возрастают потери и требования к герметизации.

Для ускорения разгрузки слёживающихся материалов применяют вагонные виброразгрузжатели VN-500 и VN-200, воздействующие на зону люков и стенки кузова. На странице оборудования приведён перечень грузов: «апатитовый концентрат, минеральные удобрения, цемент, кокс, лигнит, глинозём, мел, известь, щебень, уголь, песок» [3]. На практике использование виброразгрузжателей позволяет уменьшить объём ручной зачистки вагона и снизить риск задержек выгрузки при обработке сложных партий груза - слежавшихся, влажных, смерзшихся.

При отсутствии на площадке стационарных приямков, а также при необходимости быстро развернуть разгрузку без капитальных работ, применяют передвижные подвагонные установки. Одним из таких решений является мобильный шнековый разгрузчик вагонов-хопперов на колёсном ходу. В таком разгрузчике материал собирается в лотке и шнеками подаётся на дальнейшую перегрузку. Оборудование может использоваться для работы с зерном, комбикормом, мукой, бобовыми культурами, песком, цементом, щебнем [4].

Если разгрузка сыпучих грузов выполняется регулярно и требуется согласованная работа с высокой пропускной способностью, применяют стационарные комплексы. Для вагонов-хопперов таким решением является комплекс разгрузки «Хоппер» (ООО

«Армавирский Элеватормельмаш»). По данным производителя комплекс предназначен для разгрузки сыпучих грузов из вагонов-хопперов и зерновозов с последующей транспортировкой в места хранения; в описании приведены примеры сыпучей продукции, перевозимой в хопперах: зерно, соль, торф, гранулированный пластик [5]. Конвейерная схема комплекса позволяет сразу передавать поток на складские места хранения или в автомобильный транспорт без привлечения лишней техники и ручных операций.

Для пылящих и порошкообразных грузов ключевое значение приобретает герметичный контур, поскольку пыль является не только санитарно-производственным фактором, но и источником потерь продукта. Пневмовакуумные разгрузчики TURBOTEK (ООО НПК «МЕТАЛТЕК») предназначены для разгрузки и пневмоперекачки порошковых материалов, в числе которых цемент, известь, гипс, мел, магнезит, сульфат, глинозём и другие материалы [6]. Такая схема позволяет совмещать приём и транспортирование в закрытой трассе и обеспечивать более чистую выгрузку по сравнению с открытыми пересыпями.

После выгрузки задача смещается с оперативного приема вагона на стабильное хранение и последующую отгрузку. Здесь важны не только транспортеры и пневмотрассы, но и постоянный контроль заполнения емкостей и состояния продукта.

Механизация и автоматизация силосного комплекса в практическом исполнении строятся на согласования маршрутов движения материала, контроле параметров и работе исполнительных механизмов:

- транспортирование и распределение: конвейеры и/или пневмотранспортные установки подают материал в силосы и забирают его на отгрузку;
- контроль заполнения: датчики уровня в силосах и промежуточных ёмкостях задают ограничения по маршрутам и предотвращают переполнение;
- стабильная отгрузка: управляемые задвижки, клапаны и регулируемые приводы позволяют дозировать поток и поддерживать ритм отгрузки;
- мониторинг хранения: датчики температуры, влажности и давления позволяют контролировать состояние хранящейся массы и своевременно реагировать на риски слеживания и ухудшения качества.

Ключевым элементом такой системы является АСУ ТП, необходимая для обеспечения слаженной работы исполнительных механизмов - клапанов, насосов, приводов, постоянного контроля количества материала в силосах и ёмкостях, а также визуализации технологического процесса на операторских панелях и компьютерах (например, на базе программно-технического комплекса «REGION-prom»). По сути, АСУ ТП объединяет отдельные машины и линии в единый технологический комплекс: оператор задаёт маршруты, а система контролирует блокировки, уровни, разрешения на включение и последовательность операций. Практически это реализуется через диспетчеризацию и мониторинг ключевых параметров склада: уровня продукта в силосах, положения переключателей потоков, состояния загрузочных устройств и насосов [7].

Заключение. Рассмотренные средства механизации и автоматизации позволяют выстроить технологическую цепь «склад – подвижной состав – склад» для разных групп сыпучих грузов. На участке погрузки применимы трубчатые транспортеры и пневмопогрузчики для зерна и других сыпучих материалов; на участке выгрузки - виброразгрузжатели для слеживающихся грузов, мобильные шнековые разгрузчики для объектов, где выгрузка организуется без строительства стационарной разгрузочной инфраструктуры, комплексы «Хоппер» для регулярной разгрузки вагонов-хопперов, а для пылящих грузов - пневмовакуумные разгрузчики. В складских контурах с силосным хранением автоматизация реализуется через диспетчеризацию оборудования, контроль уровня и состояния продукта, а также управление маршрутами транспортирования. Систему завершает АСУ ТП, которая обеспечивает согласованную работу механизмов, непрерывный контроль параметров хранения и управляемые маршруты потока, что способствует сокращению простоев и повышению ритмичности работы терминала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гришкова Д. Ю. Разработка мероприятий по сокращению времени простоя местного вагона на железнодорожной станции // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (68). – С. 5–12. – DOI: 10.52170/1815-9265_2024_68_5.
- 2 Зернопогрузчик - транспортер ленточный трубчатый с электроприводом ТЛТ-3514-Э [Электронный ресурс] / ООО ТПК «Татполимер». - URL: <https://www.tatpolimer.ru/productions/transporter-lentochniy-trubchaty-s-elektroprivodom/3203-2/> (дата обращения: 25.04.2026).
- 3 Вагонный виброразгрузчик VH-500 [Электронный ресурс]. - URL: <http://vh-500.ru/> (дата обращения: 25.04.2026).
- 4 Шнековый разгрузчик вагонов (разгрузчик вагонов хопперов) [Электронный ресурс] / ПК «Системы». - URL: <https://pkssystems.ru/shnekovi-razgruzchik-vagonov/> (дата обращения: 25.04.2026).
- 5 Станция выгрузки железнодорожных вагонов. Устройства разгрузки вагонов «Хоппер» [Электронный ресурс] / ООО «Армавирский Элеватормелешмаш». - URL: <https://www.melmash.ru/catalog/section/2-kompleksy-razgruzki-zhd-vagonov-hopper/> (дата обращения: 25.04.2026).
- 6 Пневмовакuumный разгрузчик TURBOTEK [Электронный ресурс] / ООО НПК «МЕТАЛТЕК». – URL: <https://www.pvt.ru/pnevmo-vakuumny-razgruzchik/> (дата обращения: 25.04.2026).
- 7 Данилова М. А. Комплексная автоматизация цеха отгрузки и упаковки // Информатизация и системы управления в промышленности (ИСУП). – 2009. – № 4 (24).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАНЕВРОВОЙ РАБОТЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ С

В. В. Егорова¹, В. С. Круглов², Н. В. Эрлих³

Введение. Маневровая работа на железнодорожной станции является одним из важнейших процессов организации эксплуатационной работы на всей сети железных дорог России [1]. Поезд может проследовать перегон без отклонений от графика движения, но по прибытию на станцию назначения простоять в ожидании переработки, подачи и уборки вагонов, именно поэтому маневровая работа является ключевой частью всей перевозки.

Главные источники потерь времени на станции связаны с многократными перестановками вагонов, холостыми пробегами маневровых локомотивов и несогласованности действий между работниками станции. Если операции с вагонами по станции не планируются заранее и выполняются по факту прибытия поезда на станцию, то возрастает конфликтность маршрутов, увеличивается время занятия путей и формируется дополнительная нагрузка на горловины станции [3].

Целью данной статьи является разработка организационно-технологических мероприятий по совершенствованию маневровой работы на станции С и расчетная оценка их эффективности.

Основная часть. Станция С – это крупная узловая станция, через которую проходят грузовые и пассажирские поезда, выполняется переработка вагонов, формирование поездов и обслуживание путей необщего пользования предприятий.

Основными техническими элементами станции являются:

- главные пути;
- приемоотправочный парк;
- сортировочный парк;
- грузовой район;
- пути необщего пользования;
- локомотивное хозяйство;
- экипировочные устройства.

¹ Егорова Виктория Владимировна – студент группы ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

² Круглов Виталий Сергеевич – студент группы ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

³ Эрлих Наталья Валентиновна – к.т.н., доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

Приёмоотправочный парк используется для приёма поездов, подготовки составов к дальнейшей обработке и отправлению сформированных поездов. Сортировочный парк предназначен для накопления вагонов по назначениям. Грузовой район используется для подачи и уборки вагонов, связанных с местной и грузовой работой. Подъездные пути предприятий обеспечивают связь станции с промышленными и грузовыми объектами.

Анализируя существующую технологию работы станции С, можно отметить, что одной из основных проблем является повторная перестановка вагонов с одного пути станции на другой. Обычно такая ситуация возникает, когда вагоны после прибытия и расформирования не сразу направляются на пути сортировочного парка, поэтому часть вагонов приходится переставлять повторно, что увеличивает общее время работы маневрового локомотива и дополнительно загружает горловины станции [2].

Также на станции наблюдается значительный холостой пробег маневрового локомотива из-за того, что он не закреплен за маневровыми районами станции. При следовании локомотива из одного района в другой, увеличивается время его работы и расход топлива.

Ещё одной проблемой является занятость путей подвижным составом, которая усиливается при неравномерном поступлении вагонопотока на станции. При интенсивном движении часть путей используется для приёма прибывающих поездов, накопления вагонов, ожидающих расформирования и формирования, а также для размещения вагонов перед подачей под грузовые операции. Это приводит к снижению пропускной и перерабатывающей способности, поэтому маневровому локомотиву приходится выполнять дополнительные передвижения по станции.

Четвертая проблема – недостаточное предварительное планирование взаимодействия между парками и подразделениями станции. Для станции С особенно важно заранее определять порядок работы сортировочного парка, локомотивного хозяйства и грузового района. Отсутствие такого планирования приводит к задержкам при выполнении маневровых операций, увеличению простоя вагонов и снижению эффективности работы станции.

Для повышения эффективности работы станции предлагается внедрить ряд организационно-технологических мероприятий.

Первым мероприятием является организация обслуживания станции по маневровым районам с распределением работы локомотивов в соответствии со сменным планом. Станцию целесообразно разделить на два маневровых района. При наличии двух локомотивов это позволяет разделить зоны обслуживания, а при работе одного локомотива – определять рациональную последовательность выполнения операций.

Район М1 включает приёмоотправочный парк и сортировочный парк. Локомотив, закрепленный за этим районом, выполняет операции по расформированию составов, перестановке вагонов внутри сортировочного парка и подготовке групп вагонов к дальнейшему формированию.

Район М2 включает грузовой район, подъездные пути предприятий, пути отправления, локомотивное хозяйство и экипировочные устройства. Локомотив этого района выполняет подачу и уборку вагонов, работу с подъездными путями и перестановки, связанные с местной грузовой работой.

Вторым важным решением является предварительное планирование маневровой работы на смену. Перед началом работы необходимо определить, какие поезда прибывают в переработку, какие вагоны направляются и накапливаются в сортировочном парке. Это позволит заранее распределить работу между маневровыми локомотивами и уменьшить число конфликтующих маршрутов.

Третьим мероприятием является укрупнение подач вагонов в грузовой район. Если вагоны подавать небольшими группами, маневровый локомотив выполнит больше рейсов. При укрупнении подач уменьшается число маневровых передвижений, сокращается время занятости пути, и повышается производительность локомотива. При этом укрупнение подач должно осуществляться с учётом вместимости и специализации фронтов погрузки и выгрузки, а также возможности одновременной обработки подаваемых вагонов.

Четвертым мероприятием является контроль занятости путей с использованием АСУ СТ. Перед выполнением маневров необходимо учитывать, какие пути свободны, какие заняты составами, а какие будут освобождены. Использование АСУ СТ позволяет оперативно получать информацию о занятости путей и планировать маневровые передвижения с учетом фактической обстановки на станции. Это позволит избежать ситуаций, когда вагоны уже поданы к нужному району погрузки выгрузки, но фронт для их постановки занят.

Для количественной оценки эффективности маневровой работы следует определить продолжительность маневрового рейса [4]:

$$t = \frac{l}{v} + t_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где l – средняя длина маневрового рейса, м;

v – средняя скорость маневрового движения, м/мин;

$t_{\text{доп}}$ – дополнительное время на технологические операции.

В качестве исходных данных для существующей технологии принимаются показатели, представленные в таблице.

Таблица

Исходные данные для расчёта

Показатель	Базовый вариант	Улучшенный вариант
Средняя длина маневрового рейса, м	850	620
Средняя скорость маневров м/мин	200	200
Дополнительное технологическое время, мин.	3	3
Объем маневровой работы приходящийся на один перерабатываемый поезд	16	13
Число перерабатываемых поездов в сутки	20	20

Сначала оценим существующую технологию. Средняя длина маневрового рейса в базовом варианте принята равной 850 м. Это связано с тем, что станция имеет несколько районов работы, а локомотивам приходится выполнять передвижения между приёмootправочным парком, сортировочным парком, грузовым районом и подъездными путями.

Время одного маневрового рейса определяется по формуле, которая приводится в учебнике Кудрявцева В.А. Технология и нормирование маневровой работы [3]:

$$t = \frac{850}{200} + 3 = 7,25 \text{ мин};$$

Время выполнения маневровых операций представлено формулой 2, применяемых при расчетах работы станций [2]:

$$T = u \times t \quad (2)$$

где, u – объем маневровой работы, приходящийся на один перерабатываемый поезд.

$$T = 16 \times 7,25 = 116,0 \text{ мин}$$

Суточная продолжительность маневровой работы рассчитывается по формуле 3, которая используется в расчётах эксплуатационной работы железнодорожных станций [4]:

$$T_{\text{сут}} = T \times Z \quad (3)$$

где, Z – число перерабатываемых поездов в сутки.

$$T_{\text{сут}} = 116 \times 20 = 2320 \text{ мин}$$

Потребность в маневровых локомотивах находится по формуле 4, также применяемой в учебной литературе [3]:

$$N = \frac{T_{\text{сут}}}{1440 - \sum T_{\text{пост}}} \quad (4)$$

где, $\sum T_{\text{пост}}$ – простой маневрового локомотива в связи с его экипировкой, сменой бригад и другими постоянными операциями.

$$N = \frac{2320}{1440 - 90} = 1,721 \text{ локомотива}$$

Таким образом, при существующей технологии расчётная потребность составляет 1,72 локомотива. С учетом округления для обеспечения суточной работы требуется 2 маневровых локомотива.

После внедрения предложенных мероприятий средняя длина маневрового рейса в улучшенном варианте принимается равной до 620 м. Данное значение связано с сокращением повторных перестановок вагонов, из-за того, что мы закрепляем маневровые локомотивы за отдельными манёвровыми районами станции и уменьшаем количества лишних перемещений.

Объем маневровой работы, приходящийся на один перерабатываемый поезд, также уменьшается до 13 маневровых операций. Это объясняется предварительным планированием маневровой работы, более точным распределением вагонов по путям сортировочного парка и сокращением числа повторных перестановок.

Произведем расчёт эффективности работы станции с применением новой технологии, по формуле (1), время одного маневра составляет:

$$t = \frac{620}{200} + 3 = 6,1 \text{ мин}$$

Далее рассчитаем время выполнения маневровых операций:

$$T = 13 \times 6,1 = 79,3 \text{ мин}$$

Суточная продолжительность маневровой работы:

$$T_{\text{сут}} = 79,3 \times 20 = 1586 \text{ мин.}$$

Потребность в маневровых локомотивах составляет:

$$N = \frac{1586}{1440 - 90} = 1,18 \text{ локомотива}$$

Сокращение длины маневрового рейса и увеличение объема маневровой работы приходящийся на один перерабатываемый поезд приводит к снижению общей продолжительности маневровой работы на станции, что способствует ускорению переработки поездов, сокращению простоя вагонов, повышению производительности маневровых локомотивов, и снижению эксплуатационных расходов.

Заключение. В ходе проведенного анализа установлено, что эффективность маневровой работы на станции С зависит не только от наличия путевого развития и количества маневровых локомотивов, но и от правильной организации технологических операций. Основными

причинами вызывающие потерю времени в работе маневровых локомотивов являются, повторные перестановки вагонов, холостые пробеги маневровых локомотивов, занятость путей и недостаточная согласованность работы районов и подразделений станции.

Для повышения эффективности маневровой работы предложено организовать обслуживание станции по двум маневровым районам, распределять работу локомотивов в соответствии со сменным планом, заранее планировать маневровые операции, и укрупнять подачи вагонов в грузовой район с учётом возможностей погрузочно-выгрузочных фронтов.

При заданных исходных данных расчеты показали, что в улучшенном варианте средняя длина маневрового рейса принятая равной 620 м вместо 850 в базовом варианте, удельный объем маневровой работы на один перерабатываемый поезд уменьшается с 16 до 13 операций, а суточная продолжительность работы с 2320 до 1586 минут. Расчетная потребность локомотива уменьшается с 1,72 до 1,18. В практическом выражении это означает, что в базовом варианте требуется 2 локомотива, а в улучшенном достаточно одного локомотива работающего в течении суток и привлечения второго локомотива только в одну смену или в периоды повышенной нагрузки.

Практическое значение предложенных мероприятий заключается в том, что они позволят повысить эффективность работы станции без значительных капитальных вложений. Основной результат достигается за счёт совершенствования организации маневровой работы, более рационального распределение маневровых локомотивов по районам станции

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Российская Федерация. Министерство транспорта. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: приказ Минтранса России от 23.06.2022 № 250: зарегистрирован в Минюсте России 20.07.2022 № 69324 // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_422554/ (дата обращения: 26.04.2026).
- 2 Инструкция по организации движения поездов и маневровой работы на железнодорожном транспорте Российской Федерации: приложение № 2 к Правилам технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденным приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250 // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_422554/ (дата обращения: 26.04.2026).
- 3 Галабурда, В. Г. Эксплуатация железных дорог: учебник / В. Г. Галабурда. – Москва: Транспорт, 1995. – 431 с.
- 4 Кудрявцев, В. А. Технология и нормирование маневровой работы: учебное пособие / В. А. Кудрявцев. – Москва: Маршрут, 2004. – 200 с.
- 5 Железнодорожные станции и узлы: учебник для вузов железнодорожного транспорта / под ред. В. М. Акулиничева, Н. Н. Шабалина. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Транспорт, 1980. – 479 с.

ЦИФРОВАЯ ЛОГИСТИКА: ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Д. Д. Жарикова¹, М. В. Прусов²

Введение. Переход к цифровой экономике вызывает фундаментальные изменения в организации хозяйственных процессов, и логистика как сфера управления потоками ресурсов оказывается в эпицентре этих преобразований. Цифровая трансформация транспорта и логистики рассматривается не как совокупность разрозненных технологических инициатив, а как системная перестройка взаимодействия всех участников рынка в едином информационном пространстве [2]. В условиях растущих требований к экономической эффективности, экологической безопасности и социальной ответственности железнодорожная отрасль России нуждается в инструментах, обеспечивающих сбалансированное развитие всех трёх составляющих ESG-повестки. ОАО «РЖД», являясь одной из крупнейших транспортных компаний мира, формирует стратегические ориентиры в области научно-технологического развития, где цифровизации отводится ключевая роль [4].

Чтобы разобраться в происходящем, мы сосредоточились на том, как именно ОАО «РЖД» меняет свои логистические процессы под влиянием цифровых технологий. Нас интересуют как теоретические основы цифровой логистики, так и конкретные прикладные аспекты работы интеллектуальных транспортно-логистических систем. Главная задача – на примере российских железных дорог увидеть, какие идеи лежат в основе цифровой трансформации, какие практические результаты уже получены, а также какие выгоды и риски с этим связаны.

Основная часть. В современной экономической науке логистика определяется как учение о закономерностях поточной организации хозяйственной деятельности, изучающее процессы движения материальных, финансовых, информационных и сервисных потоков. Развитие цифровых технологий привело к появлению нового вида потоков – цифрового потока, под которым понимаются сквозные коммуникационные технологии, облачные сервисы, цифровые платформы и программные решения, обеспечивающие регуляцию экономических взаимодействий в виртуальной среде [1].

Таким образом, цифровая логистика представляет собой обеспечивающую подсистему, объектом изучения которой являются цифровые потоки, сопутствующие экономическому потоку или замещающие его. В широком смысле – это совокупность общественных отношений, возникающих при использовании электронных технологий, электронной инфраструктуры и сервисов, технологий анализа больших объёмов данных и прогнозирования в целях оптимизации производства, распределения, обмена, потребления и повышения уровня социально-экономического развития [1].

К ключевым компетенциям, востребованным цифровой логистикой, относятся: работа с большими данными и продвинутая аналитика, гибкое проектирование (Agile), создание цифрового клиентского опыта, обеспечение кибербезопасности, разработка мобильных интерфейсов и цифровых платформ [1]. Формирование этих компетенций требует междисциплинарного подхода и пересмотра традиционных моделей подготовки кадров.

Проведённый в научной литературе системный анализ позволяет представить интеллектуальную транспортно-логистическую систему как интеграционную оболочку, объединяющую четыре ключевые подсистемы [2]. Структура ИТЛС представлена в таблице 1.

¹ Жарикова Диана Денисовна – студент группы ЭЖД-46у, Институт управления и экономики

² Прусов Максим Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

Таблица 1

Структура интеллектуальной транспортно-логистической системы

Подсистема	Институционально-инфраструктурная основа	Основные функции
Транспортные коридоры	Магистральные маршруты (автомобильные, железнодорожные, мультимодальные)	Пространственная связность регионов, маршрутизация на основе предиктивной аналитики
Транспортно-логистические узлы	Порты, терминалы, сортировочные станции, ТЛЦ	Агрегация и перераспределение грузопотоков, трансформация видов транспорта
Цифровая инфраструктура	Каналы передачи данных (5G, спутниковая связь), облачные платформы (TMS, WMS, ERP)	Обеспечение связности и скорости передачи данных, поддержка платформенных решений
Нормативно-регуляторная среда	Институциональные нормы, стандарты и процедуры	Юридическое сопровождение цифровых сервисов, обеспечение кибербезопасности

ИТЛС выполняет три основные функции: непрерывный мониторинг состояния инфраструктуры и подвижного состава (с использованием датчиков IoT и спутниковой навигации), прогнозирование рисков (включая природно-климатические и техногенные угрозы), а также оптимизацию маршрутов и эксплуатационных процессов в режиме, приближенном к реальному времени [4]. Переход к таким системам открывает возможности для реализации трёх ключевых принципов цифрового бизнеса:

- «полной согласованности», подразумевающей управление движением на основе текущего состояния инфраструктуры;
- «онлайн-бизнеса», обеспечивающего оперативное принятие решений посредством мониторинговых систем;
- «управления сервисами», когда интеллектуальные системы используют чётко определённые показатели для планирования и контроля работы [4].

Основу архитектуры ИТЛС составляют современные сквозные технологии, где особенно важную роль играют искусственный интеллект, анализ больших данных и промышленный интернет вещей [2]. В ОАО «РЖД» в рамках проекта «Цифровая железная дорога» определены пять классов автоматизированных решений:

- управление услугами и процессами (BPM, IoT);
- малолюдные и безлюдные средства управления (IIoT, Big Data, облачные вычисления);
- цифровые объекты, диагностика и прогнозирование (цифровые двойники, BIM);
- оптимизация использования ресурсов (имитационное моделирование);
- мобильные и социальные коммуникации [4].

Практические результаты внедрения этих решений в 2024 году представлены в таблице 2.

Таблица 2

Ключевые результаты цифровой трансформации ОАО «РЖД» в 2024 году

Направление	Реализованные проекты	Достигнутые показатели
Управление перевозками	Технология «виртуальной сцепки» на Восточном полигоне	Провозная способность БАМа и Транссиба – 180 млн т/год
Предиктивная диагностика	Сканирование вагонов с применением технологий искусственного интеллекта	Просканировано 36,3 млн вагонов
Автоматизация управления	Эксплуатация электропоездов с автоматизированным управлением	Тестирование 5 маневровых локомотивов с 4-м уровнем автоматизации
Энергоэффективность	Мероприятия по энергосбережению и повышению энергоэффективности	Экономия топливно-энергетических ресурсов – 5 462,6 ТДж (более 6,3 млрд руб.)

Экологический мониторинг	Экологический калькулятор для грузоотправителей	Сокращение углеродоемкости на 12% с 2019 года
Кибербезопасность	Нейтрализация компьютерных атак	Зафиксировано и нейтрализовано 3 110 403 атаки

Важно отметить, что цифровизация в ОАО «РЖД» интегрирована с экологической повесткой. Компания реализует первый климатический проект по переводу пяти котельных с мазутного топлива на природный газ, что позволило зарегистрировать снижение выбросов на 17 906 т CO₂. [3]. В личном кабинете клиента доступен экологический калькулятор, позволяющий рассчитать сокращение выбросов парниковых газов при переключении грузопотока с автомобильного на железнодорожный транспорт [3].

Внедрение цифровых технологий в логистические процессы даёт многообразные преимущества. Во-первых, достигается оптимизация процессов: переход от регламентного обслуживания к ремонту по фактическому состоянию (на основе данных телеметрии) позволяет снизить эксплуатационные расходы. Во-вторых, повышается безопасность движения: уровень безопасности движения (отношение числа всех событий к общему поездообороту) к 2025 году планируется снизить до 1,05 ед. на млн поездо-км, что отражает задачу минимизации влияния человеческого фактора. В-третьих, фиксируется экономический эффект: производительность труда на перевозочных видах деятельности выросла с 3808,8 тыс. привед. т·км/чел. в 2011 году до 5078,5 тыс. привед. т·км/чел. в 2016 году [4].

Однако цифровая трансформация сопряжена с существенными рисками, которые можно классифицировать по нескольким категориям. Финансовые риски связаны с высокими капитальными затратами на внедрение: инвестиционная программа ОАО «РЖД» в 2024 году достигла 1,48 трлн рублей. Для их минимизации применяются механизмы проектного финансирования и софинансирования с производителями оборудования. Технологические риски обусловлены сложностью интеграции разнородных систем и сохраняющейся зависимостью от импортной элементной базы. В качестве мер противодействия реализуются программы импортозамещения, развиваются отечественные системы автоматизированного проектирования и формируется банк доверенных аппаратных средств. Инфраструктурные риски вытекают из значительной протяжённости железнодорожной сети и разнообразия условий эксплуатации, что преодолевается за счёт модульного проектирования и поэтапного тиражирования успешных пилотных решений. Наконец, риски в сфере кибербезопасности приобретают особую остроту в условиях роста числа целевых кибератак (свыше 600 тыс. в 2024 году). Для их минимизации внедряются системы централизованного мониторинга и криптозащиты каналов передачи данных [3].

Особую важность приобретает обеспечение кибербезопасности железнодорожного транспорта в отношении недопущения несанкционированного доступа к объектам критической информационной инфраструктуры. Количество целевых и технологически подготовленных атак на внешний периметр информационной инфраструктуры в 2024 году превысило 600 тыс., что на 1,2 % больше, чем в 2023 году [3]. В связи с этим приоритетным направлением является создание киберзащищённых автоматизированных систем управления технологическими процессами перевозок на основе межотраслевой кооперации и применения программного обеспечения с открытым исходным кодом [4].

Заключение. Итак, можно уверенно сказать: цифровая логистика и интеллектуальные транспортные системы стали не просто вспомогательным инструментом, а реальным фундаментом, на котором держится устойчивое развитие железнодорожного транспорта. Когда мы говорим о цифровой логистике как об управлении цифровыми потоками, мы видим, как она постепенно вытесняет старые, привычные подходы и позволяет перейти к управлению на опережение – с опорой на большие данные и искусственный интеллект.

ОАО «РЖД» сегодня по праву можно считать одним из лидеров этих перемен. Компания уже внедрила технологию «виртуальной сцепки», использует предиктивную диагностику подвижного состава, осваивает автоматизированное ведение поездов и, что особенно показательно, органично вписала цифровые инструменты в свою ESG-повестку. И это не просто слова:

экономический эффект от программы энергосбережения только за 2024 год составил более 6,3 млрд рублей – цифра, которая сама говорит об эффективности выбранного курса [3].

Если говорить о том, что ждёт отрасль дальше, можно выделить три главных направления. Во-первых, это развёртывание систем нового поколения интервального регулирования движения поездов на основе цифровых систем технологической радиосвязи стандартов GSM-R и LTE-R с использованием отечественных программных и аппаратных средств [4]. Во-вторых, широкое внедрение цифровых двойников инфраструктуры и подвижного состава для имитационного моделирования, управления жизненным циклом активов и прогнозирования остаточного ресурса [4]. В-третьих, формирование бесшовных мультимодальных пассажирских и грузовых перевозок на основе открытых интеграционных платформ и API-интерфейсов. Стратегической перспективой, согласно программным документам, является достижение углеродной нейтральности к 2050 году, чему будет способствовать дальнейшая цифровизация энергопотребления, развитие возобновляемой энергетики и реализация компенсационных проектов [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Афанасенко И. Д. Цифровая логистика: учебник / И. Д. Афанасенко, В. В. Борисова. - Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2019. - 269 с.
- 2 Гузенко Анна Владимировна, Мамаев Энвер Агапашаевич Интеллектуальные транспортно-логистические системы: классификация субъектов и направления цифровой трансформации // Вестник РГЭУ РИНХ. 2025. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektseciya-Cualnye-transportno-logisticheskie-sistemy-klassifikatsiya-subektov-i-napravleniya-tsifrovoy-transformatsii> (дата обращения: 20.04.2026).
- 3 ОАО «Российские железные дороги». Отчёт об устойчивом развитии ОАО «РЖД» за 2024 год. – Москва, 2025.
- 4 ОАО «Российские железные дороги». Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга): утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 17 апреля 2018 г. № 769/р. – Москва, 2018.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ С ПУТЯМИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Д. А. Балашов¹, А. В. Варламов²

Введение. Сложенность работы железнодорожной транспортно-логистической системы России во многом зависит от качества взаимодействия грузовой станции с путями необщего пользования (ПНП). В условиях изменения объёмов перевозок сырья, готовой продукции, а также при дефиците инфраструктуры и маневровых локомотивов, существующие технологические процессы, как правило, демонстрируют несовершенство технологического процесса при взаимодействии с ПНП.

Данная проблема стоит особенно остро в крупных промышленных центрах, где одна станция обслуживает несколько предприятий с различными режимами работы. Как показывает опыт, перерасход локомотиво-часов маневровой работы может достигать 45 % от общего времени работы маневрового локомотива. Исходя из этого, требуется разработка организационных и технологических решений для оптимизации взаимодействия грузовых станций и ПНП предприятий, направленных на оптимальное использование маневрового локомотива и снижение локомотиво-часов маневровой работы [1].

Содержание статьи

Изменение объёмов грузопотоков и переориентация направлений следования грузов предъявляют повышенные требования к адаптивности технологического процесса грузовой станции при её взаимодействии с ПНП предприятий. Традиционная модель организации

¹ Балашов Дмитрий Александрович – студент группы ЭЖД-34у, Институт управления и экономики

² Варламов Александр Васильевич – кандидат технических наук кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

работы, основанная на жёстком почасовом расписании подач, не учитывает динамику занятости грузовых фронтов и степень готовности партий вагонов к уборке. Результатом указанных недостатков являются дополнительные простои как маневровых локомотивов в ожидании освобождения приёмоотправочных путей, так и вагонов на границе станции и ПНП. Структура затрат времени маневрового локомотива при обслуживании ПНП представлена в таблице 1.

Таблица 1

Структура затрат времени маневрового локомотива при обслуживании ПНП	
Выполняемая операция	Временные затраты маневрового локомотива, %
Работа с вагонами (подача/уборка)	42
Простои в ожидании освобождения грузового фронта	26
Холостой пробег	12
Ожидание коммерческого осмотра	10
Прочие простои	10

На основе исследований работы одной из опорных грузовых станций Куйбышевской железной дороги, обслуживающей несколько путей необщего пользования при среднесуточной выгрузке 187 вагонов, установлено, что доля простоев в ожидании маневровых операций достигает 38 % от общего времени работы локомотива.

В перечне наиболее значимых системных недостатков следует выделить:

- отсутствие оперативного канала передачи информации о степени готовности грузовых фронтов на предприятии;
- завышенные нормативы времени на проведение коммерческого осмотра вагонов на стыке станции и ПНП;
- нерациональную организацию маневровых передвижений, сопровождающуюся холостыми пробегами [2, 3].

Одним из приоритетных направлений адаптации технологического процесса к новым условиям является внедрение цифровых технологий и сервисов. Интеграция современных информационных систем в процесс взаимодействия грузовой станции и ПНП позволяет усовершенствовать существующую технологию и, как следствие, сократить локомотиво-часы маневровой работы.

Наиболее перспективными цифровыми инструментами представляются:

- технология «Цифровой приёмосдатчик», обеспечивающая дистанционное оформление приёма и сдачи вагонов с сокращением временных затрат на документооборот с 25 до 8 минут на одну группу;
- автоматизированная система коммерческого осмотра подвижного состава (АСКО) в трёхмерном формате, позволяющая снизить время осмотра состава с 14 до 3 минут и исключить нахождение осматриваемых вагонов в опасной зоне;
- мобильные рабочие места работников пунктов технического и коммерческого осмотра, обеспечивающие оперативный доступ к базам данных и ускоряющие оформление результатов осмотра [4].

Помимо цифровой трансформации, требуется пересмотр организационных аспектов маневровой работы.

Предлагаются следующие решения:

- динамическое планирование подач с горизонтом 2–4 часа на основе системы «окно заявок». Предприятие подтверждает готовность приёма вагонов либо сообщает о задержке, что исключает подачу на занятый фронт и сокращает простой локомотива в ожидании;
- применение сдвоенных маневровых операций, при которых локомотив одновременно осуществляет подачу группы вагонов под выгрузку и уборку ранее освобождённых вагонов. Для реализации данного метода требуется наличие на

предприятия аккумулирующего пути вместимостью не менее половины длины состава. Ожидаемое повышение коэффициента сдвоенных операций – с 0,4 до 0,75;

- специализация маневровых локомотивов по закреплённым ПНП с целью сокращения холостых пробегов и повышения ритмичности работы;
- оснащение границы станции и ПНП автоматизированными системами весогабаритного контроля, позволяющими сократить время коммерческого приёма-сдачи состава с 12–15 до 3–4 минут [5].

Прогнозируемое снижение локомотиво-часов маневровой работы при внедрении комплекса организационных и цифровых решений представлено в таблице 2.

Таблица 2

Прогнозируемое снижение локомотиво-часов маневровой работы при внедрении комплекса организационных и цифровых решений

Внедряемое решение	Снижение локомотиво-часов, %
После внедрения динамического планирования	-15
Сдвоенные операции	-25
Цифровые решения	-33

Заключение

Проведённый анализ показал, что ключевой проблемой взаимодействия грузовой станции и ПНП является несогласованность графиков подачи вагонов и фактической готовности грузовых фронтов на предприятии. Как следствие, до 40 % времени работы маневрового локомотива приходится на ожидание и холостые пробеги, что ведёт к неоправданным эксплуатационным затратам. Существенного улучшения можно достичь без сложного технического перевооружения – за счёт налаживания оперативного обмена информацией о готовности сторон к выполнению операций. Например, если предприятие будет заблаговременно подтверждать возможность приёма вагонов, а локомотив – совмещать подачу и уборку, время простоев сократится примерно на треть. Таким образом, главный резерв повышения эффективности лежит не столько в новых технологиях, сколько в простоте и прозрачности самого технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тимошин А.А., Сотников Е.А. Технология работы грузовых станций и пути необщего пользования. – М.: УМЦ ЖДТ, 2020. – 128 с.
- 2 Ковалёв В.И., Орлов П.А. Совершенствование взаимодействия железнодорожных станций с подъездными путями промышленных предприятий // Транспорт Урала. – 2022. – № 3 (74). – С. 24–30.
- 3 Смехова Н.Г., Кузьмин А.П. Логистическое управление подачей вагонов на пути необщего пользования // Железнодорожный транспорт. – 2024. – № 1. – С. 36–41.
- 4 Панченко В.Г. Оптимизация маневровой работы при обслуживании нескольких подъездных путей // Известия Транссиба. – 2021. – № 4 (48). – С. 87–95.
- 5 Ефимова А.Ю., Морозов Д.В. Анализ простоев вагонов на границе станции и путей необщего пользования // Современные проблемы транспорта: сборник научных трудов. – Самара: СамГУПС, 2022. – С. 45–50.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ МАНЕВРОВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

К. А. Кулямин¹, А. В. Клюканов²

Введение. В настоящее время на железной дороге эффективно применяют маневровые самоходные устройства, данные технологии называют тяговыми механизмами для обеспечения выполнения работ для перемещения железнодорожных вагонов, а также при выполнении маневровых работ. Самоходные маневровые транспортные средства являются эффективным решением для безопасного и рационального перемещения вагонов.

Маневровые устройства применяют в области складских предприятий с возможностью использования их для перемещения вагонов в зоне погрузочно – разгрузочного фронта на небольших расстояниях. Однако в работе промышленного железнодорожного транспорта, особое место занимают операции, связанные с маневровой работой на погрузочно – разгрузочных пунктах. При эксплуатации грузовых фронтов промышленных узлов распространенной проблемой является непроизводительный простой маневрового локомотива в период погрузочно-разгрузочных работ с вагонами, что влечет за собой снижение эффективности их использования и экономическую нецелесообразность.

Исходя из вышесказанного, вариантом решения проблемы является применение следующих маневровых устройств:

1. Маневровое устройство МУ – 12М2А.
2. Универсальная путевая машина УПМ – 1М.
3. Маневровый тягач аккумуляторный(гибридный) Е – МАХІ.
4. Маневровый вагонный тягач ВРГ.
5. Мотовоз маневровый ММТ – 3 на базе трактора ХТА – 300.

Несомненно, для осуществления процессов работы с грузовыми вагонами необходимо учитывать конструктивные особенности грузовых вагонов, для того чтобы обеспечить безопасность движения и при их перемещении. Перспективным направлением на железнодорожном транспорте является применение маневровых вагонных модулей на базе вилочных погрузчиков для перемещения грузовых вагонов [1].

Основная часть. Согласно документации правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, управление самоходными железнодорожными устройствами для перемещения вагонов осуществляется непосредственно работниками железнодорожного транспорта, которые допускаются к управлению локомотивами, мотор – вагонными подвижными составами, а также для проведения операций по перемещению грузовых вагонов при исполнении служебных обязанностей устанавливаемые работодателем на инфраструктуре железнодорожных путей необщего пользования в соответствии с требованиями и при наличии свидетельства.

Для решения поставленной задачи специалисты Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) спроектировали устройство, предназначенное для перемещения вагонов. Данная разработка относится к категории маневровых средств для подвижного состава. Конструктивно устройство выполнено в концепции тянущей тележки, состоящий из двух консолей, которые соединённых упругим элементом. Каждая консоль оборудована специализированным механизмом выдвижения тяговых роликов. Концепция и структура механизма устройства представлена в виде двухступенчатого шестерёнчатого привода, который совмещается с валом роликов посредством байонетного узла. Кроме того, в созданную инженерами систему входит доводчик, консолидированный между второй ступенью привода и рамой каждой консоли. Его задача – обеспечение контакта в механизме работы тяговых роликов с неподвижными упорами, размещёнными на боковых поверхностях консолей [2].

¹ Кулямин Кирилл Алексеевич – студент группы ЭЖД-31, Институт управления и экономики

² Клюканов Алексей Васильевич – к.т.н., доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

Следует обратить внимание, специализированное устройство эксплуатируется в качестве вспомогательного инструмента для передвижения железнодорожных вагонов на незначительные расстояния – с целью их точного позиционирования, так и в процессе ремонта подвижного состава (рис.).

Передвижение грузовых вагонов реализуется методом толкания с эксплуатацией тяговых тележек или других транспортных средств на рельсовом ходу. Также возможно востребование тянущих тележек, которые движутся по дополнительным путям, проложенным внутри основного рельсового пути [3].



Рис. Маневровое устройство для передвижения грузовых вагонов

При этом данные маневровые устройства служат альтернативой локомотиву: они обеспечивают перемещение вагонов и их последующую установку в процессе погрузочно-разгрузочных операций. Ключевые преимущества такого решения включают: уменьшение затрачиваемых ресурсов на регулярные маневры; в сравнении с маневровыми лебедками – комплексная автоматизация процесса, недоступность в необходимости в привлечении работников без специальной подготовки, высокая точность позиционирования состава, а также равное усилие при обеспечении движения в двух направлениях [4].

Маневровое устройство формируется на основе системы позиционирования вагонов, это предоставляет возможность в автоматизации маневровых работ и уменьшить численность трудовых ресурсов.

Закключение. Таким образом, применение автономных маневровых устройств для передвижения грузовых вагонов является высокоэффективным и технологически обоснованным решением для современного железнодорожного транспорта и промышленных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проспект Маневровые системы | Vollert русский // URL: https://www.vollert.de/fileadmin/Vollert-Dateiliste/Metamenü/3_Mediathek/9_Prospekte_und_eBooks/katalog_5_RG/Rangiersysteme_RU/files/assets/common/downloads/Ausgabe_BR_Betonfertigteile_DEU_web.pdf?uni=babe49fdb33ce989a4a539a80e766d0c
2. Клюканов, А. В. Анализ возможности применения маневрового модуля для производства работ на путях железнодорожных предприятий / А. В. Клюканов // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 4(112). – С. 139-144.
3. Клюканов, А. В. К вопросу модернизации тяговой передачи маневрового устройства для передвижения грузовых вагонов / А. В. Клюканов // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 47-50
4. Завод Перспектива - Маневровые устройства типа УМ оборудование // URL: https://perspektivaomz.ru/manevrovoe-ustrojstvo-serii-um/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=60110200&utm_content=10494407013&utm_term=---autotargeting&etext=&yclid=2321550178178039807

СЕКЦИЯ 2

Подвижной состав железных дорог, муниципальный пассажирский транспорт и транспортная техника

ЗАЩИТА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ОТ ПОМПАЖА

В. Д. Аравин¹, А. А. Свечников²

Введение. На железнодорожном транспорте применяются газотурбинные локомотивы, в которых основной силовой установкой является газотурбинный двигатель. Газотурбинные двигатели (ГТД) из-за особенности конструкции подвержены аварийным режимам работы, таким как срыв потока воздуха на лопатках компрессора или по-другому – помпаж ГТД. В условиях реальной эксплуатации (запыленность воздуха, резкие броски нагрузки, воздействие реагентов) риск возникновения помпажа значительно возрастает. Предотвращение этого явления становится одной из ключевых задач для повышения надёжности и безопасности газотурбовозов. В настоящей статье рассмотрены существующие методы защиты, и перспективные, а также предложим концепцию адаптации систем раннего обнаружения срывного режима работы компрессора.

Основная часть. Помпаж представляет собой аварийный режим работы газотурбинного двигателя (ГТД), при котором происходит срыв потока воздуха в компрессоре. Это явление сопровождается резким падением мощности, сильными вибрациями, хлопками, а иногда – обратным выбросом пламени из воздухозаборника, что может привести к полному выходу двигателя из строя ГТД и даже пожару. Основными причинами помпажа являются: снижение расхода воздуха ниже расчётного значения (из-за загрязнения фильтров или резкого сброса газа), попадание посторонних предметов (пыль, птицы, лёд, дорожные реагенты), резкое изменение режима работы, износ или повреждение лопаток. На газотурбовозах (в частности, на локомотиве ГТ1 с двигателем НК-361) применяются штатные системы защиты от помпажа. К ним относятся клапаны перепуска воздуха, система аварийной срезки топлива и датчики давления. Однако эти средства срабатывают, как правило, постфактум – когда помпаж уже начался. Более современные подходы направлены на раннее обнаружение предпосылок срыва. Среди них выделяют метод контроля скольжения роторов: если роторы высокого и низкого давления начинают вращаться не согласованно, это сигнализирует о приближении к границе помпажа. Другой эффективный метод – анализ скорости изменения параметров (давления, температуры, частоты вращения). Резкие скачки этих величин за минуты до срыва позволяют выявить опасную ситуацию и предотвратить её развитие [1-3].

На рис. представлена схема возникновения помпажа и принцип работы адаптированной антипомпажной системы. В предложенной концепции штатные клапаны перепуска дополняются блоком ранней диагностики, который непрерывно отслеживает скольжение роторов и производные параметров. При обнаружении предвестников помпажа система автоматически приоткрывает перепускные клапаны или даёт команду на плавное снижение нагрузки, не дожидаясь срыва. Такой подход позволяет перейти от реактивной защиты к предиктивной (предсказательной) модели.

Заключение. Применение методов раннего обнаружения помпажа (контроль скольжения роторов и скорости изменения параметров) в сочетании со штатными клапанами перепуска воздуха позволяет получить следующие эффекты:

¹Аравин Виталий Дмитриевич – студент группы ПСЖД-21, ИТСПС

²Свечников Александр Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

- снижение риска аварийного разрушения двигателя на 80–90 %;
- увеличение ресурса лопаток компрессора за счёт исключения работы в срывных режимах;
- повышение безопасности эксплуатации газотурбовозов в тяжёлых условиях (пыль, реагенты, резкие нагрузки);
- сокращение затрат на ремонт и простои локомотивов.

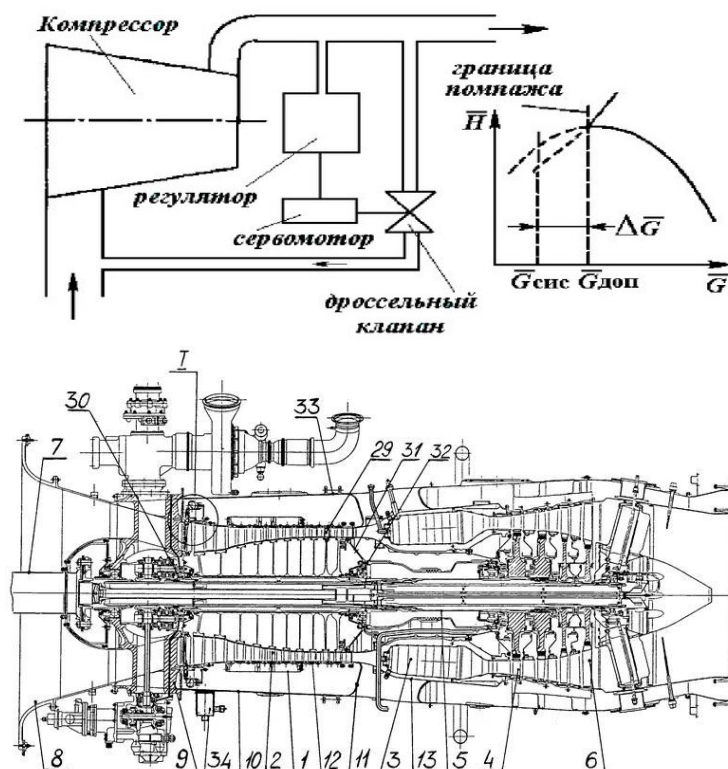


Рис. Схема системы защиты газотурбинного двигателя от помпажа

Таким образом, предложенная концепция адаптации антипомпажной системы является перспективным направлением повышения надёжности газотурбинных локомотивов и может быть реализована на существующем парке (например, ГТ1) с минимальной модернизацией системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шибанов, Г. П. Автоматизация процесса защиты газотурбинных двигателей от помпажа / Г. П. Шибанов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – Т. 17, № 9. – С. 644-647. – DOI 10.17587/mau.17.644-647.
- 2 Алгоритм функционирования системы защиты компрессора динамического действия от помпажа / С. Г. Тихомиров, Д. В. Арапов, В. А. Курицын, С. С. Саввин // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2013. – № 1. – С. 80-82.
- 3 Носырев, Д. Я. Защита турбокомпрессора тепловозного двигателя от помпажа / Д. Я. Носырев, Т. В. Щербицкая, С. Г. Фролов // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 1. – С. 57-59.
- 4 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 5 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 6 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО В ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В. С. Банникова¹, В. В. Ляшенко²

Введение. В статье рассматривается внедрение концепции бережливого производства (Lean production) в эксплуатационную деятельность железнодорожного транспорта. Анализируется специфика адаптации lean-инструментов с учетом отраслевых особенностей: высоких требований к безопасности, непрерывности перевозочного процесса и территориальной распределенности инфраструктуры. Подробно описано применение ключевых инструментов бережливого производства в ОАО «РЖД».

Железнодорожный транспорт остается основой транспортной системы страны, формируя более 40 % грузооборота. В условиях конкуренции с авто- и авиаперевозками и необходимости сдерживания тарифной нагрузки, отрасль нуждается в повышении эффективности ресурсов. Концепция lean, успешно зарекомендовавшая себя в промышленности, активно адаптируется для железной дороги. Однако если опыт внедрения в производстве подвижного состава изучен достаточно, то применение бережливых технологий в эксплуатации остается менее исследованным.

Основная часть. Бережливое производство – это управленческий подход, ориентированный на повышение ценности для клиента путём устранения любых видов потерь, совершенствования процессов и активного участия в этой деятельности каждого сотрудника.

В системе бережливого производства людям отводится ключевая роль, поскольку любые изменения держатся на коллективе, на умении работать сообща, на заинтересованности и квалификации персонала. Для развития этих качеств у работников в ОАО «РЖД» действует центр обучения технологиям трансформации бизнеса при Корпоративном университете. Ежегодно там проходят подготовку по инструментам бережливого производства около тысячи человек, которые затем применяют полученные знания на практике. Концепция прошла длительный путь адаптации для разных отраслей экономики. Применительно к железнодорожной сфере приходится учитывать ряд особенностей: жесткие требования к безопасности движения, непрерывность производственных процессов, рассредоточенность инфраструктурных объектов на больших территориях и высокую фондоемкость основных средств. В отличие от дискретного производства, где при необходимости можно остановить конвейер, чтобы устранить неполадки, в условиях эксплуатации железных дорог требуются особые подходы к выявлению и сокращению потерь – такие, которые не нарушали бы график движения поездов [1].

Особенность внедрения бережливого производства на железнодорожном транспорте – скрытый характер большинства потерь, связанных с простоями, нерациональным использованием инфраструктуры и планированием. Данная задача – выявлять и предотвращать такие потери без остановки перевозочного процесса и с соблюдением требований безопасности. Именно для этого в ОАО «РЖД» адаптируют классические lean-инструменты, каждый из которых получает свою специфику в условиях полигонной работы.

Lean - инструменты в РЖД.

Визуализация. На железнодорожном транспорте не обходятся без визуальной сигнализации на путях: она оповещает работников, указывает на опасные зоны, служит надежным средством предотвращения нештатных ситуаций и помогает сократить сопутствующие убытки.

Канбан. Метод организации производства и снабжения реализует принцип «точно в срок». В автоматизированной системе «График исполненного движения» дежурный по станции формирует макет состава. Эта визуальная модель, отображаясь в системе, становится доступной поезвному диспетчеру и служит сигналом о том, что состав прошел проверку и готов

¹Банникова Виктория Сергеевна – студент группы ЭЖД-43, ИУЭ

²Ляшенко Виктория Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

к отправке. По макету диспетчер может определить назначение состава, его длину, массу и другие параметры.

Выравнивание. В сфере железнодорожных перевозок действует механизм календарного планирования погрузки. На основе утверждённой ОАО «РЖД» месячной заявки клиент составляет детальный график, в котором фиксирует объёмы (количество вагонов) и сроки их загрузки. Далее этот план согласуется с руководством, которое проверяет его на соответствие пропускной и перерабатывающей способности станций и перегонов.

Вытягивание. Подача порожних вагонов под погрузку инициируется только после получения заявки от грузоотправителя и утверждения календарного плана – то есть ровно под точную потребность. Данный принцип «вытягивания» приобретает особую значимость при смешанных перевозках, например, когда грузы следуют в дальневосточные порты для последующей перевалки на суда. Чтобы исключить скопление вагонов на станциях, требуется их ритмичная подача и своевременная обработка. Для этих целей в центральной дирекции внедрена программа АСУ ДИЛС: на основании данных, поступающих от морского терминала и железной дороги, система автоматически рассчитывает график подвода поездов, которым в своей работе пользуется сменный инженер.

Время такта. В ОАО «РЖД» используется показатель «сдача по стыкам дорог». К примеру, дороге А требуется передать дороге Б 80 составов в сутки, а работа ведется круглосуточно, тогда 24 часа умножаем на 60 минут и делим на 80, получаем 18 минут. Исходя из этого показателя и формируется график движения поездов.

Поток единичных изделий. Прибывающие на сортировочную станцию составы, подлежащие расформированию, обрабатываются на сортировочной горке поочередно, в строго установленной последовательности [1].

Наибольший экономический эффект обеспечивают multifunctional проекты по внедрению сквозных технологий, что на порядок превышает результаты функциональных проектов. В 2016 году размер премирования работников достиг 100 млн руб. за счет направления части подтвержденной экономии, из которой 20 % остается в подразделении. Ключевой вклад в эффект обеспечили: полигоны Дальневосточной (105 млн руб.), Октябрьской (76 млн руб.), Куйбышевской (67 млн руб.) и Приволжской (64 млн руб.) железных дорог, а также функциональные филиалы в частности, Дирекция тяги (281 млн руб.) и Центральная дирекция моторвагонного подвижного состава (98 млн руб.). Новый порядок мотивации впервые закрепил вклад бережливого производства в бюджетах филиалов, усилил дисциплину и ответственность руководителей. Апробация подтвердила положительное влияние lean-инструментов на достижение производственно-экономических показателей [2].

Практика внедрения бережливых технологий. Наиболее показательным примером применения lean-технологий является опыт краснодарского предприятия промышленного железнодорожного транспорта «Краснодарпромжелдортранс». В рамках федерального проекта «Производительность труда» провели оптимизацию процесса обслуживания дизель-генераторной установки. Результаты внедрения оказались впечатляющими: время протекания процесса сократилось на 10 %, уровень брака снизился на 12 %, а потенциальный экономический эффект оценивается в 14,4 млн рублей [3].

Основная цель бережливого производства заключается в выявлении и устранении потерь – то есть любых действий, которые расходуют ресурсы, но не создают ценности для конечного потребителя. К примеру, с точки зрения клиента, складское хранение готовой продукции не добавляет продукту ценности, а лишь ведёт к дополнительным затратам. (таб.) [4].

Одним из способов повысить эффективность и снизить потери является внедрение «цифровых двойников» в том числе перевозочного процесса. Подразумевается создание виртуальной модели, позволяющей в реальном времени проводить анализ инфраструктуры, подвижного состава, человеческих ресурсов и т.д. Это, в свою очередь, позволит сгенерировать цифровой след различных потерь для дальнейшей корреляции процесса. Таким образом предлагается усилить эффект от внедрения инструментария бережливого производства.

Таблица

Вид потери	Описание
Время ожидания	Простои, когда оборудование, информация или сотрудники вынуждены дожидаться следующего этапа работы.
Лишняя транспортировка	Любое перемещение материалов, продукции или инструментов, без которого можно обойтись в рамках процесса.
Избыточные запасы	Хранение сырья, материалов или готовой продукции в объемах, превышающих необходимый минимум. Это замораживает оборотные средства и требует дополнительных складских площадей.
Перепроизводство	Выполнение плана производства сверх нормы, что в свою очередь содержит скрытые потери.

Заключение. В заключении можно отметить, что проведенный анализ показал эффективность и дальнейшую перспективность внедрения бережливого производства на железнодорожном транспорте. Однако внедрение современных цифровых технологий позволит перейти от локальных достижений и результатов использования инструментария бережливого производства перейти к сквозным технологическим процессам и выстроить массив прогнозных моделей управления позволяющих выявлять и купировать возникновение потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Muratov, A. V. QMS as Tool for Improving Maintenance and Repair Processes of Traction Rolling Stock / A. V. Muratov, V. V. Lyashenko, S. A. Petukhov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) : Conference proceedings ICIE 2019, Sochi, Russia, 25–29 марта 2019 года / Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University" (national research university), Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)». – Sochi, Russia: Springer International Publishing, Switzerland AG, 2020. – P. 411-418. – DOI 10.1007/978-3-030-22063-1_44.
- 2 Андрончев И.К. Системная среда качества линейного предприятия железной дороги / И.К. Андрончев, А.И. Липатов, Н.Ф. Лукин. - Самара: СамГУПС, 2010. - 142 с.
- 3 Ляшенко, В. В. СМК как инструмент совершенствования технологических процессов сервисного локомотивного депо / В. В. Ляшенко, А. В. Муратов, В. С. Целиковская // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов : Труды третьей международной научно-практической конференции, Москва, 11–12 октября 2018 года. – Москва: ООО "ЛокоТех", 2018. – С. 241-242.
- 4 Система управления техногенными рисками в ОАО «РЖД» / В.А. Гапанович и др. // Железнодорожный транспорт. - 2017. - № 12. - С. 34-40.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Д. А. Бучнев¹, А. Ю. Балакин²

Введение. Внедрение новых технических средств в конструкцию тягового подвижного состава, особенно связанных с обеспечением безопасности, требует всестороннего технико-экономического обоснования. В современной практике управления локомотивным парком ОАО «РЖД» и промышленных предприятий акцент смещается с оценки первоначальной стоимости приобретения на анализ полной стоимости жизненного цикла (Life Cycle Cost, LCC) [1, 2]. Особенно это актуально для маневровых локомотивов, срок службы которых может превышать 30–40 лет, а затраты на техническое обслуживание и ремонт (ТО и ТР) за этот период значительно превосходят начальные инвестиции. [1–7].

¹Бучнев Дмитрий Антонович – студент группы ПСЖД-35у, ИТСПС

²Балакин Андрей Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

Основная часть. Для устройств пассивной безопасности, таких как разработанное авторами энергопоглощающее устройство (ЭПУ) ячеистой структуры для тепловоза ТЭМ18ДМ, классические методы оценки экономического эффекта по разнице приведенных затрат требуют уточнения. Сложность заключается в необходимости учета вероятности редких, но критически затратных событий (аварийных столкновений), а также в корректной оценке косвенных потерь, связанных с непроизводительным простоем локомотива в ремонте. Цель настоящей работы – проанализировать и верифицировать исходные нормативные данные, использованные в расчете экономической эффективности ЭПУ, и предложить обобщенный методический подход к оценке ЛСС для подобного класса устройств.

В соответствии с предоставленным технико-экономическим обоснованием, расчет годового экономического эффекта от внедрения ЭПУ выполнен методом сравнения приведенных затрат базового и проектного вариантов. Базовым вариантом принят восстановительный ремонт рамы и кабины после аварии, проектным – замена сработавшего модуля ЭПУ. Ниже приводится анализ ключевых параметров расчета, требующих методического пояснения.

В классической методике оценки капитальных вложений на железнодорожном транспорте нормативный коэффициент эффективности E_n , обратный нормативному сроку окупаемости ($T_n = 1 / E_n \approx 6,67$ лет), традиционно принимается на уровне 0,12-0,15. Этот показатель отражает минимально допустимый уровень отдачи на вложенный капитал с учетом среднеотраслевой рентабельности и ставок по долгосрочным депозитам. Применение $E_n = 0,15$ в расчетах для железнодорожной техники является обоснованным и соответствует отраслевым рекомендациям, в том числе при расчете ставок платы за аренду локомотивов ОАО «РЖД», где в структуру ставки закладывается допустимый уровень рентабельности, сопоставимый по смыслу [3]. В расчете приведенных затрат по проектному варианту учет капитальных вложений $K_2 = 350$ тыс. руб. с коэффициентом 0,15 добавляет к годовым затратам 52,5 тыс. руб., что является платой за «замораживание» средств в оборудовании.

Оценка доходности локомотива $D_{\text{сут}} = 35000$ руб./сут. является наиболее чувствительным при оценке упущенной выгоды от простоя. Величина 35000 руб./сут. не является прямым доходом от перевозок, а представляет собой оценочную стоимость потери эксплуатационной работы. Методика расчета ставок платы за услуги локомотивного комплекса ОАО «РЖД» для сторонних организаций включает в себя:

- амортизационные отчисления на полное восстановление (реновацию) локомотива;
- налог на имущество;
- расходы на страхование;
- плановую рентабельность (маржинальный доход).

Для маневрового тепловоза ТЭМ18ДМ с восстановительной стоимостью, оцениваемой десятками миллионов рублей, суточная ставка аренды или компенсации выбытия из эксплуатации в 35 тыс. руб. является величиной, соответствующей реальным экономическим потерям владельца инфраструктуры или сервисной компании. Сокращение простоя с 12 до 4 суток (на 8 суток) высвобождает ресурс, эквивалентный экономии 280 тыс. руб. на один аварийный случай.

Применение концепции ЛСС (стоимости жизненного цикла) требует учета не только детерминированных затрат на плановые ТР-3, но и вероятностных затрат на устранение отказов [4]. В расчете принято допущение о среднестатистическом количестве аварийных столкновений $n_{\text{ав}} = 2$ случая в год на парк локомотивов, проходящих ТР-3 (программа 25 секций). В рамках методики ЛСС такой подход формализуется введением в модель риска (ожидаемых годовых затрат на восстановление):

$$C_{\text{risk}} = P_{\text{event}} \times C_{\text{damage}},$$

где P_{event} – вероятность события на 1 локомотив в год ($2/25 = 0,08$),

C_{damage} – стоимость последствий.

Благодаря установке ЭПУ происходит не только снижение C_{damage} (с 850 тыс. руб. до 175 тыс. руб.), но и снижение технологической сложности ремонта. Как отмечается в исследованиях по системам содержания локомотивов, учет зависимых отказов и влияния на смежные узлы является ключевым для точной оценки ЛСС. В данном случае зависимый ущерб

(повреждение хребтовой балки или кабины) полностью исключается за счет локализации разрушения в сменном модуле, что подтверждает высокую эффективность предлагаемого технического решения.

Сравнение приведенных затрат по базовому ($31 = 2540000$ руб.) и проектному ($32 = 682500$ руб.) вариантам демонстрирует годовой эффект $\Delta_r = 1\,857\,500$ руб. в расчете на парк из 25 локомотивов. Срок окупаемости капитальных вложений (350000 руб.) составляет 0,18 года ($\sim 2,2$ месяца).

Для верификации полученного значения можно применить обратный расчет через стоимость жизненного цикла:

Стоимость оборудования и монтажа на 1 локомотив: $350000 / 25 = 14000$ руб. (в расчете на 1 борт при условии комплектации всего парка).

Предотвращенный ущерб на 1 локомотив за срок службы (принят 30 лет): $(850000 - 175000) \times 0,08 \times 30 = 1620000$ руб.

Таким образом, чистая приведенная стоимость (NPV) инвестиций в модернизацию одного локомотива положительна и многократно превышает затраты на установку устройства.

Заключение. Предложенный методический подход, сочетающий классический метод приведенных затрат с элементами анализа стоимости жизненного цикла и рисков, позволяет получить объективную оценку эффективности внедрения средств пассивной безопасности. Проведенный анализ подтвердил корректность используемых нормативов ($E_n = 0,15$) и расчетной величины доходности локомотива. Показано, что перевод потенциальных повреждений с капиталоемких несущих конструкций рамы на легкозаменяемый модуль обеспечивает не только технический, но и выраженный экономический эффект, делая подобные модернизации высокорентабельными в условиях реальной эксплуатации локомотивного парка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Choosing the system of locomotive maintenance in view of the effect of dependent failures / B. E. Bodnar, O. B. Ochkasov, T. S. Hryshechkina, E. B. Bodnar // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – No. 6(78). – P. 47-58. – DOI 10.15802/stp2018/154823.
- 2 Egamberdiev B., Lee K., Lee J., Burnashev S. A Study on Life Cycle Cost on Railway Locomotive Systems // Journal of the Korean Society for Railway. – 2016. – Vol. 19, No. 4. – P. 456-462.
- 3 Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.02.2020 N 440/р «Об утверждении Методики расчета ставок плат при предоставлении услуг локомотивного комплекса ОАО "РЖД" сторонним организациям» (ред. от 21.09.2022).
- 4 Шенфельд, К. П. Расчет стоимости жизненного цикла по эксплуатационной локомотива / К. П. Шенфельд, А. А. Акишин // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 11. – С. 66-69.
- 5 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 6 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 7 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТОЧНОСТЬ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ

В. А. Ваулин¹, Н. Д. Семенов², А. В. Муратов³

Введение. В отличие от стационарной энергетики или систем электроснабжения, где инфракрасная термография давно стала стандартизированным инструментом неразрушающего контроля [1]. Диагностика дизельных двигателей тягового подвижного состава на сегодняшний день полностью опирается на контактные методы: термопары штатной системы контроля, манометрию, виброакустику и эндоскопирование цилиндров в условиях депо. Штатное применение тепловизоров для оценки состояния цилиндропоршневой группы, топливной аппаратуры высокого давления или турбокомпрессоров в действующих правилах ремонта тягового подвижного состава не предусмотрено и на сети дорог не практикуется [2].

Причиной такого положения дел является не отсутствие потенциальной информативности метода, а критическая зависимость точности ИК-измерений от нестационарных условий окружающей среды на открытых площадках пунктов технического обслуживания локомотивов. Любые попытки экспериментального внедрения тепловизионного контроля (ТБК) дизелей в полевых условиях сталкиваются с высоким уровнем методической погрешности, порождаемой ветром, влажностью и тепловым фоном кузова. Цель настоящей статьи: теоретический и экспериментальный анализ влияния указанных метеорологических факторов на точность потенциальной термодиагностики дизеля тепловоза и обоснование граничных условий, при которых применение тепловизоров становится практически бессмысленным или остается перспективным.

Основная часть. В рамках работы исследуется возможность применения тепловизора как одного из средств диагностирования дизеля тепловоза, по средствам регистрации теплового излучения [3].

Однако использование данного диагностического прибора обусловлено спецификой проведения измерения в условиях депо или ПТОЛ, поэтому необходимо ввести поправочные коэффициенты. Однако если замеры проводятся на открытой территории ПТОЛ, то влияние атмосферных условий может сильно влиять на погрешность измерений. К примеру, погрешность измерения температуры ОГ может составлять 15-25 °С, что сильно влияет на фактическое пороговое значения и затрудняет постановку правильного диагноза

Температура окружающего воздуха является базовым корректирующим параметром в любом ИК-приборе. Зависимость здесь нелинейная и двоякая. С одной стороны, с ростом снижается температурный напор между контролируемой поверхностью (например, выхлопной патрубков цилиндра) и средой. Согласно закону Ньютона-Рихмана, интенсивность конвективного теплообмена падает, что приводит к накоплению тепла в металле. Тепловизор фиксирует более высокую абсолютную температуру при той же мощности тепловыделения дизеля.

С другой стороны, при низких отрицательных температурах, характерных для осенне-зимнего периода эксплуатации, возникает эффект «теплового запотевания» объектива и образование инея на элементах двигателя. Иней и лед обладают коэффициентом излучения отличным от металлов и их покрытий. В частности, коэффициент излучения окисленной стали коллатора составляет 0,85–0,92, в то время как коэффициент излучения инея приближается к 0,98. Кажущееся повышение температуры поверхности на термограмме в зоне обледенения не является признаком перегрева металла, а лишь следствием высокого коэффициента излучения тонкой ледяной корки.

Влажность воздуха оказывает влияние через оптическое ослабление сигнала. Наличие водяного пара в атмосфере создает полосы поглощения в спектре 5–8 мкм, частично затрагивая и рабочий диапазон 8–12 мкм. Для дизеля тепловоза, где из-за стесненных условий

¹Ваулин Владислав Алексеевич – аспирант, ИТСПС

²Семенов Никита Дмитриевич – студент группы ПСЖД-11, ИТСПС

³Муратов Алексей Владимирович – заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав»

расстояние съемки редко превышает 1–3 метра, затухание сигнала парами воды пренебрежимо мало по сравнению с влиянием микрочастиц сажи и масла. Тем не менее, при высокой относительной влажности (более 90 %) и температуре, близкой к точке росы, на холодных элементах (трубки охлаждения наддувочного воздуха) может образовываться конденсат. Водяная пленка радикально меняет отражательную способность металла, создавая блики (с температурой от -20 °С до -50 °С в зимнее время), что приводит к появлению на термограмме «ложных холодных зон» на фоне горячего двигателя.

Наиболее значимым и труднокомпенсируемым фактором в условиях открытой местности является ветер. Тепловозный дизель типа Д49 (16ЧН26/26) или 10Д100 при работе на холостом ходу имеет температуру выхлопных газов на входе в турбину ТК около 350–450 °С, что соответствует температуре наружной стенки чугунного коллектора в диапазоне 180–250 °С [4-7]. Такая температура является инерционной из-за большой теплоемкости металла. Однако тонкие трубки высокого давления и штуцеры форсунок имеют малую тепловую инерцию и сильно подвержены конвективному выхолаживанию.

При боковом ветре со скоростью 5–7 м/с коэффициент теплоотдачи с поверхности патрубков возрастает в 3–5 раз по сравнению со штилем. На практике это приводит к следующему результату: цилиндр с явным пропуском газов в прокладке (локальный перегрев 80 °С в условиях безветрия) при воздействии ветра показывает температуру, равную температуре исправных соседних цилиндров.

Влияние солнечного излучения в видимом и ближнем ИК-диапазоне на тепловизионную съемку часто недооценивается, поскольку чувствительность микроболометров лежит в диапазоне длинных волн, где солнечный спектр менее интенсивен. Тем не менее, попадание прямого солнечного света и как следствие нагрев металлических частей дизеля, особенно покрытых темной краской или нагаром, способен повысить их температуру на 15–30 °С за счет поглощения видимого света.

В практике диагностики тепловозных дизелей критическим является влияние не прямого нагрева, а отраженного солнечного излучения. Крышки люков, неокрашенные металлические поверхности и маслоотделители действуют как ИК-зеркала. В поле кадра тепловизора может попасть отражение солнца от блестящей поверхности, что создает артефакт белого пятна с повышенной температурой, физически не существующей на материале. Автоматическая регулировка диапазона тепловизора при появлении такой мощной помехи сжимает динамический диапазон, делая нечитаемыми области средних температур (150–250 °С), где как раз и локализируются зарождающиеся дефекты.

Влияние облачности сказывается на работе с радиационной температурой неба. В ясную погоду эффективная температура небосвода может составлять от -40 °С до -80 °С.

Рекомендуется производить тепловизионный осмотр тепловозов, прибывающих на ПТОЛ, в темное время суток или при сплошной облачности. В южных регионах с высокой инсоляцией категорически не рекомендуется проводить диагностику дизелей, стоящих под прямыми солнечными лучами без теневого навеса. В случае производственной необходимости, съемку следует выполнять с минимального расстояния (1,5–2 м), исключая попадание в кадр открытого неба или блестящих поверхностей.

Заключение. Тепловизионная диагностика дизельных двигателей тепловозов, обладая несомненной информативностью, требует от технического персонала локомотивного хозяйства глубокого понимания физики инфракрасного излучения и теплообмена в открытых системах. Точность измерений в полевых условиях ПТОЛ лимитируется не столько классом тепловизора, сколько условиями его применения. Влияние ветра, влажности и солнечной радиации способно исказить результаты до степени полной непригодности для принятия решения о постановке локомотива на неплановый ремонт. Внедрение описанных в статье методик: переход на относительные измерения, применение ветрозащиты и строгое соблюдение временных интервалов позволяет снизить погрешность, вносимую окружающей средой, до приемлемого уровня $\pm 2-3^{\circ}\text{C}$. В совокупности с грамотной интерпретацией термограмм, учитывающей конструктивные особенности конкретных тепловозов, может существенно повысить качество

диагностики неисправностей тягового подвижного состава за счет своевременного выявления термических дефектов на ранней стадии их развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ Р 54852-2011 (ИСО 18434-1:2008). Контроль неразрушающий. Тепловизионный метод контроля. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2012. – 24 с.
- 2 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утв. Приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250. – М.: ТРАНСИНФО, 2022. – 512 с.
- 3 Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. М.: Интел универсал, 2002.
- 4 Просвилов, Ю. Е. Расчетно-экспериментальная оценка эффективности использования модифицированного моторного масла в тепловозных дизелях / Ю. Е. Просвилов, С. А. Петухов, А. В. Муратов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2011. – № 5. – С. 44-47. – EDN OJISBJ.
- 5 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 6 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 7 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВОЗАХ

Д. М. Денисюк¹, В. В. Ляшенко²

Введение. В статье рассматривается актуальная тема применения топливных смесей, состоящих из дизельного топлива и органических компонентов (биодизель и возобновляемое дизельное топливо), как метод сокращения потребления невозобновляемых ресурсов.

В условиях роста цен на нефть и ужесточения экологических норм железнодорожный транспорт активно ищет способы повышения эффективности использования дизельного топлива.

Железнодорожный транспорт играет ключевую роль в мировом потреблении дизельного топлива. Локомотивы, особенно в грузовых перевозках, характеризуются длительным сроком службы, что затрудняет их замену на альтернативные виды тяги. В связи с этим использование топливных смесей, содержащих биодизель и возобновляемое дизельное топливо, становится перспективным направлением для декарбонизации и экономии нефти.

Основная часть. Изучение эффективности применения таких смесей в дизельных двигателях локомотивов с целью сокращения потребления ископаемого топлива и улучшения экологических показателей, представляет теоретический и практический интерес.

Современная наука и промышленность предлагают два основных типа органических добавок к дизельному топливу для использования в локомотивах. Биодизель, производится из таких растительных масел как рапсовое, хлопковое, соевое или животных жиров методом переэтерификации. Исследования на четырехтактных двигателях показывают, что биодизель можно использовать в различных концентрациях, от B10 до B100.

Возобновляемое дизельное топливо, получают путем гидрогенизации растительного масла. По своему химическому составу оно близко к нефтяному дизелю и может использоваться в любых пропорциях без изменений в инфраструктуре. Совокупность экспериментальных исследований показывает, что использование таких смесей позволяет снизить выбросы

¹Денисюк Данила Михайлович – студент группы ЭЖД-42, ИУЭ

²Ляшенко Виктория Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

твердых частиц (РМ) до 50 % и уменьшить углеродный след. Однако это требует учета специфики энергоемкости топлива и адаптации систем двигателя [1].

Испытания проводились на тепловозах ЧМЭЗ, ТЭМ2У и моделировании дизеля 2А-5Д49, которые привели к следующим результатам.

Испытания ЧМЭЗ (Воронеж, 2006-2007), Биодобавки (МЭРМ 5-20 %) не ухудшили технические характеристики, кислород в составе улучшил сгорание топлива. Испытания ТЭМ2У (2006), при работе на высоких концентрациях биотоплива мощность снизилась на 18 % в тяжелом режиме, но перерасхода топлива не было, а форсунки остались работоспособны. Исследования дизель 2А-5Д49, математическое моделирование подтверждает возможность оптимизации составов смесей для баланса экономичности, мощности и экологичности.

Использование топливных смесей влияет на состав выхлопных газов, снижению выбросов твердых частиц, наиболее заметный эффект от применения биокomпонентов. Наличие кислорода в топливе способствует более полному окислению сажи. Для смесей хлопкового биодизеля обнаружено снижение РМ на 32 %.

Примером наиболее масштабных испытаний топливных смесей в России были проведены ОАО «РЖД» в 2006–2007 годах в депо Воронеж-Курский Юго-Восточной железной дороги. Четыре маневровых тепловоза ЧМЭЗ испытывались с добавлением метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) в концентрациях 5 %, 10 % и 20 % [2].

В результате испытаний были получены следующие результаты, во - первых экологический эффект, то есть выбросы оксида углерода (СО) снизились на 30% по сравнению с контрольным тепловозом на чистом дизеле, во-вторых технический эффект, обнаружен эффект очистки топливной аппаратуры - биодобавка растворила нагары и отложения, что потенциально увеличивает ресурс фильтров и форсунок, а также экономический фактор, внедрение сдержала высокая стоимость биокomпонента, делавшая смеси дороже обычного дизеля.

В настоящее время исследования продолжаются в профильных вузах, где на математических моделях (в т.ч. для дизеля 2А-5Д49) обосновываются оптимальные составы смесей, балансирующие экологию, надежность и экономику.

Применение топливных смесей, состоящих из дизельного топлива и органических компонентов, является эффективным и технологически доступным способом сокращения потребления невозобновляемых источников энергии в тяге поездов.

Экономический эффект достигается за счет замещения до 20-50 % нефтяного топлива возобновляемым сырьем. Несмотря на увеличение объемного расхода при использовании биодизеля, общая стоимость топлива может быть оптимизирована за счет использования дешевых местных ресурсов (отработанные масла, растительные отходы).

Кроме того, фиксируется значительное снижение выбросов твердых частиц до 50 % и парниковых газов, что способствует достижению целей устойчивого развития.

При этом, для полного раскрытия потенциала смесевых топлив необходима адаптация систем впрыска и калибровок двигателя (угол опережения впрыска, давление), что является предметом активных исследований.

Заключение. В целом проведенное исследование подтверждает, что применение топливных смесей, состоящих из дизельного топлива и органических компонентов, является эффективным и технологически доступным способом сокращения потребления невозобновляемых источников энергии в тяге поездов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сковородников, Е. И. Аналитическая оценка экологической безопасности тепловозных дизелей / Е. И. Сковородников, А. С. Анисимов, В. А. Минаков, И. В. Чернышков. – Текст: непосредственный // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1. – С. 118–129.
- 2 Сковородников, Е. И. Техничко-экономическое обоснование применения смесевых видов топлива в тепловозных дизелях / Е. И. Сковородников, А. С. Анисимов, Ю. Б. Гришина. – Текст: непосредственный // Известия Транссиба. – 2014. – № 3. – С. 36–44.

СИСТЕМА БЕСПИЛОТНОЙ ДОСТАВКИ УЗЛОВ ТЕПЛОВОЗА И СЛЕСАРНОГО ИНСТРУМЕНТА

К. А. Катаев¹, А. А. Свечников²

Введение. Цифровая трансформация промышленности считается одной из приоритетных направлений развития экономики Российской Федерации. Внедрение современных технологий в производстве эффективно сказывается и на развитии других отраслей. Сфера промышленности всегда считалась одной из нуждающихся в современных технологиях, так как именно развитие производственных мощностей, эффективная логистика и сбыт в сочетании с прозрачными технологиями управления персоналом создают соответствующие условия для успешной работы отрасли. В данной статье рассматривается внедрение на определенном уровне, автоматизация внутризаводской и складской работой для беспилотных тележек и погрузчиков, инструментального шкафа и планшетом [1-4].

Событий до использования беспилотных технологий можно наблюдать рост или серьезное падение производственных предприятий: организации, которые уже несколько лет назад взяли курс на цифровизацию довольно быстро смогли перестроить свои бизнес-процессы и подстроиться под глобальные изменения рынка. Для обеспечения эффективности цифровой, необходимо непрерывно и последовательно принимать меры на всех уровнях.

Компьютерный инжиниринг применительно к автоматическим тележкам предполагает моделирование и анализ различных процессов: прочностных расчетов несущих конструкций погрузчиков, гидравлики подъемных механизмов и, что критически важно, – алгоритмов синхронизации движения множества единиц техники в ограниченном пространстве. Современное машиностроительное производство должно стремиться к максимальному использованию возможностей цифровой среды для достижения конкурентного преимущества.

Одним из наиболее интересных подходов к проектированию беспилотных тележек является использование топологической оптимизации. В контексте логистической роботизации топологическая оптимизация используется для оптимального распределения логистических потоков, расстановки зарядных станций и минимизации простоев при заданных ограничениях по времени и пропускной способности проездов. В отличие от стандартного планирования, где маршруты задаются заранее жестко, цифровой инжиниринг с элементами оптимизации позволяет алгоритму свободно находить наиболее выгодную конфигурацию транспортной сети [5-7] и конструкцию самого автопогрузчика (например, облегченные вилы или раму).

Основная часть. Предлагаемая система автоматизированной логистики предназначена для обеспечения ремонтных позиций тепловозного депо необходимыми узлами и слесарным инструментом. Архитектура решения базируется на взаимодействии двух типов автономного транспорта – беспилотного погрузчик и беспилотной тележки – интегрированных с «умным» инструментальным шкафом и планшетным интерфейсом оператора.

Система включает следующие функциональные элементы (рис.):

Беспилотный погрузчик – осуществляет транспортировку крупногабаритных узлов тепловоза (секции радиатора, элементы ходовой части, блоки топливной аппаратуры и т.д.) от складской зоны или зоны предварительной подготовки непосредственно к ремонтным позициям.

Беспилотная тележка – обеспечивает адресную доставку слесарного инструмента, расходных материалов и мелких запасных частей. Взаимодействует с «умным» инструментальным шкафом, который автоматически фиксирует факт выдачи и возврата инструмента, исключая потери и несанкционированное изъятие.

«Умный» инструментальный шкаф – оснащенная RFID-считывателями система учета, хранящая информацию о каждом инструменте: кто взял, когда, на какую ремонтную позицию,

¹Катаев Кирилл Андреевич – студент группы ПСЖД-35у, ИТСПС

²Свечников Александр Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

и когда вернул. Интегрируется с диспетчерской системой для автоматического формирования заявок на доставку.

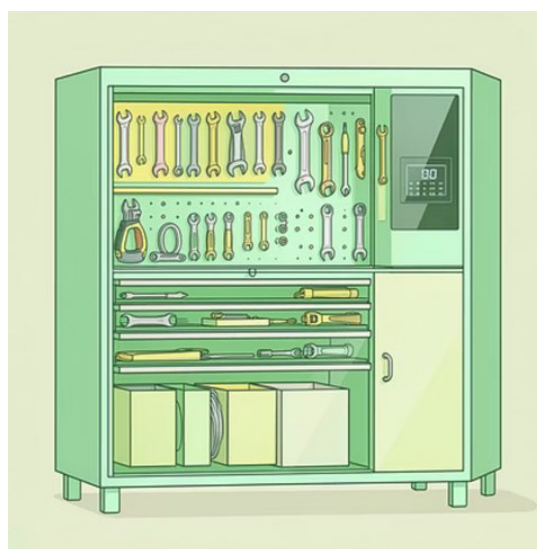
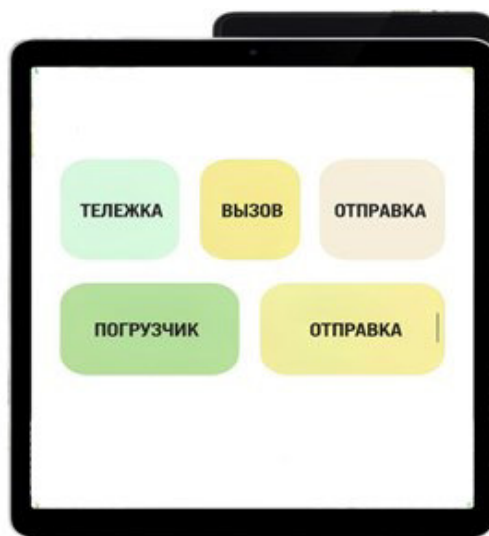


Рис. Составляющие системы беспилотной доставки

Планшет – мобильное рабочее место слесаря или мастера ремонтной позиции.

Через планшет производится с помощью определенных кнопок:

Тележка и погрузчик – Производится вызов автоматизированной техники для перевозки.

Вызов – производится работа беспилотной техники для перевозки крупногабаритных деталей и различных инструментов.

Отправка – осуществление выбранных команд на то, что та или иная техника, движется к слесарю или же возвращается на исходную позицию.

Работа систем состоит из следующих этапов:

Стимулирования спроса. Слесарь на своем рабочем месте, через планшет выбирает, определенный инструмент или деталь. При запросе система сообщает умному шкафу о том, что нужен тот или иной инструмент, система проверяет есть ли он в наличии и подтверждается.

Оперативное управление. Модуль (через планшет), назначается для транспортировки нужной детали, выбирая нужный маршрут, объезжая аккуратно все неровности и без проблем преодолевая все препятствия на своем пути.

Транспортировка. Погрузчик/тележка назначается для транспортировки нужной детали или инструмента, только погрузчик приезжает на склад или там, где хранится эта деталь и с

помощью человека осуществляется погрузка, но вызов и отправка все происходит беспилотно. А с тележкой происходит операция, подъезжая к инструментальному шкафу, роботизировано выдается нужный инструмент, который нужен слесарю.

Применение. После завершения работы слесарь/мастер через планшет отправляет погрузчик, который либо просто возвращается на исходную точку или увозит отработанный или заменённый узел. Тележка так же отправляет на исходную точку или же отвозит какой-либо инструмент и автоматически регистрируется возврат.

Обновление данных. События передаются в систему «умный шкаф» и обновляет, что все или определенный инструмент отсутствует или же на месте, и планшет получает уведомление о завершении работы.

Заключение. Экономия времени поиска инструмента – система находит гораздо быстрее, где он и кто им сейчас пользуется.

Безопасность – работа без человека, автоматизировано осуществляются перевозки.

Минимизация простоев – детали или узлы подаются, к месту откуда произошел вызов, без ожидания слесаря/мастера.

Усиление контроля – “умный” шкаф фиксирует, наличие инструмента и снижает его потери.

Исходя из выше сказанного, внедрение беспилотных технологий для ремонта в сервисном локомотивном депо, используя беспилотные погрузчики, тележки, планшета с технологичным интерфейсом, “умного” шкафа, производит высокий уровень ремонта на определенных, местах с быстрой подачей и сбора данных о цифровых технологиях и ремонтного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Крюкова, Н. И. Автоматизированный склад запасных частей с применением БПЛА и RFID меток / Н. И. Крюкова, А. А. Свечников // Дни студенческой науки : Сборник материалов 50-й научной конференции обучающихся СамГУПС, посвященной 50-летию СамГУПС, Самара, 04–28 апреля 2023 года. Том 1. Выпуск 24. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 78-80.
- 2 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 3 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 4 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.
- 5 Шиповалова, Е. Е. Применение беспилотных транспортных систем на складах / Е. Е. Шиповалова, А. Ю. Тюрин // Россия молодая: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ, НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ, Кемерово, 21–24 апреля 2020 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 526201-526205.
- 6 Оптимизация маршрута беспилотных аппаратов при использовании на складе с использованием генетических алгоритмов / Д. Скворцова, А. Федина, В. Кульбацкая, Д. Ермаков // Логистика. – 2021. – № 6(175). – С. 16-19.
- 7 Кардашенко, М. Система управления вилочными погрузчиками на основе 3D лидаров / М. Кардашенко // Control Engineering Россия. – 2023. – № 1(100). – С. 58-61.

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДЕЙСТВИЙ ЛОКОМОТИВНОЙ БРИГАДЫ В ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Д. О. Костин¹, А. А. Свечников²

Введение. Проводя анализ случаев аварийности на железнодорожном транспорте, выделяется устойчивая закономерность, которая состоит в следующем: большинство происшествий и нарушений правил безопасности движения связано с влиянием человеческого фактора. Основываясь на опубликованных данных ОАО «РЖД», частота негативных событий, произошедших по указанной причине, в общем числе регистрируемых нарушений составляет 60-80 %. Наиболее часто встречающиеся проявления человеческого фактора:

- ухудшение бдительности и засыпание машиниста;
- позднее реагирование на изменяющиеся условия;
- хаотичные действия при возникновении стрессовых ситуаций;
- ухудшение психофизиологических показателей вследствие утомления либо внезапного ухудшения самочувствия.

Особо опасны ситуации, когда машинист, находясь в состоянии монотонии, характерной для длительного движения по однородному участку пути, не способен правильно реагировать на возникающие изменения обстановки (неожиданное появление препятствия или смену сигналов светофора).

Одной из важнейших задач ОАО «РЖД» является повышение уровня безопасности движения поездов, так как от этого во многом зависит эффективность перевозочного процесса. Причиной нарушения безопасности движения на железных дорогах может являться снижение бодрствования и работоспособности машиниста. В настоящее время для поддержания и контроля его активного состояния на протяжении всей поездки применяется телемеханическая система контроля бодрствования машиниста, основанная на отслеживании динамики изменения кожно-гальванической реакции человека [1-2]. Используемая в настоящее время система контроля бдительности, базирующиеся на применении педали безопасности либо периодических проверках с использованием кнопки, обладают рядом принципиальных ограничений:

- дискретный характер контроля (проверки осуществляются только в отдельные моменты времени, длительные интервалы остаются вне поля зрения контролирующих устройств). При типовом регламенте проверки с периодичностью 30-60 секунд машинист может находиться в состоянии микросна длительностью до 15-20 секунд, этого времени хватает для возникновения аварийной ситуации, особенно при движении с высокой скоростью;
- отсутствие привязки к ситуации (уровень контроля состояния машиниста не всегда соответствует сложности участка следования, его профильным характеристикам или метеорологическим факторам). Требования к уровню бдительности на сложном участке с ограничениями скорости и частой сменой сигналов должны быть более жесткими, чем на прямолинейном перегоне при благоприятных погодных условиях, однако существующие системы не учитывают этих особенностей;
- пассивный характер контроля (системы не предотвращают потерю концентрации, факт утраты бдительности фиксируется уже после наступления события, система не предлагает механизмов интеллектуальной поддержки, помогающих машинисту предотвратить неблагоприятное событие).

Возникает потребность в создании системы нового поколения, которая была бы свободна от перечисленных ограничений (недостатков), обеспечивала непрерывный контроль, подстраивалась под изменения ситуации и предсказывала возможные проблемы и их последствия [3-4].

¹Костин Даниил Олегович – студент группы ПСЖД-35у, ИТСПС

²Свечников Александр Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

Основная часть. Первый этап содержит прием информации от подсистем, которая поступает в центральный модуль с привязкой к временной шкале, с точностью до миллисекунд и синхронизирована с ГЛОНАСС. Это создано для того, чтобы в случае анализа записи можно было точно определить в каком временном промежутке было нарушение. Одновременно с обработкой видео нормализуется контрастность с помощью метода CLAHE позволяющей осветлить теневые области на изображении и убрать засветы.

Аудио также подвергается цифровой фильтрации с применением фильтров, которые убирают фоновые шумы и выделяют речевые фрагменты с помощью детектора голосовой активности VAD.

Телеметрия обрабатывается с использованием скользящего среднего. Это позволяет убрать высокочастотные помехи и привязывается к координатам.

Второй этап анализирует состояние локомотивной бригады. Обработанные видеоданные обрабатываются компьютерным зрением. Распознается присутствие или отсутствие локомотивной бригады на рабочих местах. Также отслеживаются другие не менее важные показатели, такие как PERCLOS, которая распознает микросон и усталость наблюдаемого человека за счет определения доли времени, когда глаза закрыты (Время с глазами закрытыми на ≥ 80 %) / (Окно наблюдения) $\times 100$ %, частоту морганий, направление взгляда, позу тела, наклон и поворот головы, положение рук в зонах управления. По полученным данным система сравнивает их с перечнем штатных и допустимых операций и распознает аномалии в поведении локомотивной бригады.

На третьем этапе проходит проверка реальных действий машиниста и сопоставление этих значений с его эталонным сценарием действий, прописанных в ПТЭ. Если система находит существенные отклонения от эталона, для примера, когда машинист не реагирует на сигналы светофора, либо сильно опаздывает с торможением то эти действия машиниста расцениваются как нарушение. Несоответствие может уточняться - запаздывание, опережение, отсутствие реакции, ошибочное действие. Вместе с этим система прогнозирует движение состава на 2 минуты вперед с помощью специально обученной нейросети, при этом учитывая вес поезда и профиль пути.

На четвертом этапе система оценивает уже общую ситуацию и с помощью запрограммированной эскалационной шкалы уровней угрозы регулирует силу контроля и плавно наращивает вмешательство в управление.

Для системы интеллектуального помощника, с целью более точной и быстрой обработки данных была выбрана архитектура ансамбля сверточных нейросетей. Если сравнивать с классическими архитектурами компьютерного зрения (Виола-Джонс, НОГ и похожими), сверточные нейросети отлично работают в реальных условиях, при неравномерном освещении, наличии частичных перекрытий изображения и также учитывает особенности внешности каждого человека за счет репрезентативной обучающей выборки.

Речевой интерфейс системы имеет две части: синтеза и распознавания речи. За синтез речи отвечает нейросеть WaveNet, которая неплохо генерирует четкие и естественные фразы. Также позволяет добавить нужную интонацию фразам в зависимости от уровня угрозы. Распознаванием речи машиниста занимается нейросеть Whisper, которую можно обучить профессиональному жаргону машиниста, различным диалектам и особенностям произношения разных людей. За счет речевого интерфейса машинист сможет отвечать на запросы системы, не отвлекаясь от органов управления.

Также есть потенциал обучения системы регламенту переговоров, что освобождает помощника от повторения сигналов и команд. Это позволяет помощнику осуществлять только техническую часть своих обязанностей, разве что, информируя машиниста о неисправностях и своих действиях.

Еще одна отличительной особенностью помощника – это предиктивная функция, которая подсказывает машинисту оптимальные режимы ведения поезда и информирует о потенциальных опасностях и рисках. Задействуя информацию из автоматизированной системы

АСУТ, базы данных о профиле пути и сведения о метеорологических условиях моделирует, что будет впереди и дает рекомендации.

В качестве дополнительной функции предлагается интегрировать в систему алкотестер в виде трубки, встроенной в ТСКБМ или пульт машиниста. Перед запуском тепловоза, машинист обязан произвести тестирование. При включении системы на экране появляется запрос: «Выполните контрольный выдох». После выдоха электрохимический датчик алкотестера анализирует состав выдыхаемого воздуха. При превышении допустимой концентрации паров алкоголя система блокирует запуск всех основных систем, записывает в модуль результат и передает диспетчеру. Если показания в пределах нормы, система также записывает результат в модуль и все системы запускаются штатно. Эта функция обеспечит дополнительный контроль за состоянием машиниста и исключит человеческий фактор при прохождении предрейсовой комиссии [5-6].

Заключение. Применение нейросетевых технологий для контроля действий локомотивной бригады позволяет получить следующие эффекты:

1. Снизить количество нарушений безопасности движения.
2. Непрерывный контроль действий машиниста.
3. Заблаговременное предупреждение об опасностях за счет использования предиктивной аналитики.
4. Автоматическое аварийное вмешательство при отсутствии реакции машиниста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волчек, Т. В. Разработка системы диагностики здоровья и контроля бдительности машиниста локомотива / Т. В. Волчек, Р. В. Волчек // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4(88). – С. 209-216. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_4_209.
- 2 Контроль бдительности машинистов при эксплуатации локомотивов за счет контроля физиологических параметров человека / Т. В. Волчек, В. С. Томилов, Л. С. Курманова, Р. В. Волчек // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2025. – № 1(42). – С. 28-32. – DOI 10.31079/2415-8658-2025-1-28-32.
- 3 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 4 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 5 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.
- 6 Медведева, Е. В. Исследование нейросетевых алгоритмов распознавания объектов железнодорожной инфраструктуры на видеоизображениях / Е. В. Медведева, А. А. Перовщикова // Компьютерная оптика. – 2025. – Т. 49, № 3. – С. 443-450. – DOI 10.18287/2412-6179-CO-1563.

ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕПЛОВОЗА ОТ АТАК БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

М. В. Терентьев¹, Н. М. Сосевич²

Введение. Обеспечение безопасности движения тепловоза является комплексной задачей, с одной стороны это строгое соблюдение инструкций машинистами и диспетчерами, а с другой надежность автоматики, путевого хозяйства и подвижного состава.

Военные конфликты в последние годы, плюс диверсионные вылазки – всё это наглядно показывает: беспилотники, они же дроны, стали реальной головной болью для железной дороги. Особенно для локомотивов. Тепловоз – важный элемент в железной дороге и очень дорогой. В среднем один такой агрегат стоит 120 миллионов рублей. И что самое ужасное: после атаки дрона восстановить его часто либо запредельно дорого, либо вообще нереально, а также повреждение тепловоза влечёт за собой отставание от рабочего графика в следствии чего приводит к экономическим потерям. Повреждения кабины, двигателя или систем управления оставляют мало шансов. Вот почему в этой работе мы рассматриваем вариант комплексной пассивной защиты – антидроновая сетка плюс огнеупорные стёкла.

Основная часть. Чем вообще дрон может навредить тепловозу? Несколькими способами. Во-первых, удар фугасным или зажигательным зарядом. Во-вторых, механическое разрушение остекления, когда осколки летят внутрь. И в-третьих – повреждение топливной аппаратуры.

Там, где используют БПЛА (в том числе FPV-дроны и обычные квадрокоптеры, переделанные под удары), даже небольшой аппарат способен повредить локомотив. Особенно уязвимы, как ни странно, кабина машиниста и боковые окна. Они разлетаются при ударе - и поезд становится неуправляемым.

Что сейчас применяют против дронов? Перечислим.

Средства радиоэлектронной борьбы – глушат GPS, Wi-Fi, каналы управления. Но есть нюанс: если дрон летит автономно, по заранее забитым координатам, глушение становится бесполезным.

Системы ПВО – зенитные ракетные комплексы, крупнокалиберные пулемёты. Эффективно, но дорого и громоздко. Для одного локомотива не практично.

Лазерные системы. Тоже недешёвые, плюс потребляют много энергии, да и на движущемся объекте их эксплуатировать не удобно.

Дроны-перехватчики. Тут проблема другая: нужен оператор и хотя бы немного времени на реакцию.

Выходит, активные средства либо малодоступны для гражданской или ведомственной охраны, либо не дают стопроцентной гарантии перехвата прямо у борта тепловоза. А значит, вопрос с пассивной конструкционной защитой встаёт очень остро.

Мы предлагаем двухкомпонентный подход. Причём такой, который не требует постоянного питания и сложного ухода. Что немаловажно для локомотива в рейсе.

И это: антидроновая сетка. Сетку ставят на тепловоз так, чтобы прикрыть самые уязвимые места: лобовое стекло, боковые окна, воздухозаборники и капот. Материал – стальное или композитное плетение. Размер ячейки – где-то 15–30 миллиметров.

При прямом ударе дрона сетка берёт кинетическую энергию на себя. Корпус БПЛА фрагментируется, пробития кабины не происходит. Экипаж локомотива и приборная панель остаются целыми. И вот что важно: стоит это недорого, устанавливается просто. На электронику тепловоза сетка никак не влияет. По сути, она многоразовая – менять придётся только повреждённые секции.

¹Терентьев Максим Викторович – студент группы ПСЖД-21, ИТСПС

²Сосевич Николай Михайлович – ст. преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав»

Следующее это - огнеупорные стёкла. Обычные стекла при ударе разлетаются на острые осколки. Это все знают. Огнеупорные – другое дело. Например, многослойные с термостойкой плёнкой или закалённые по спецрежиму. У них ударная вязкость выше, да и к теплу они устойчивее.

Представим: дрон бьёт с зажигательным зарядом или провоцирует воспламенение топлива. Обычное стекло не выдержит. А огнеупорное сохранит целостность, пламя и дым в кабину не пропустит.

И тут возникает синергия. Сетка выдерживает механику, гасит скорость и частицы горящего композита. А стёкла уже не пускают внутрь мелкие фрагменты и - что критично - сохраняют обзорность и жизнь экипажа.

Экономическая и эксплуатационная эффективность. Сколько это всё стоит? По предварительной оценке – не больше 1-2 % от цены тепловоза. То есть порядка 1-2 миллионов рублей. Да, сумма не маленькая. Но давайте прикинем: даже одно предотвращённое уничтожение локомотива полностью окупает траты. Плюс к этому – меньше простоев, ниже риск для жизни локомотивной бригады, экономия на эвакуации состава.

И ещё один важный момент. Предложенная защита не мешает штатной работе тепловоза. Обзор из кабины нормальный, вентиляция работает, обслуживать можно спокойно. А сетку, можно сделать съёмной или откидной – на случай, если понадобится доступ.

Заключение. Что в итоге? Необходимость усилить пассивную защиту тепловозов от атак дронов – это уже не вопрос выбора. Существующие активные методы: глушение сигнала, ПВО, лазеры – либо слишком дороги, либо на подвижном железнодорожном объекте их толком не применишь. Предлагается другое – простое, экономичное и реально выполнимое: антидроновая сетка плюс огнеупорные стёкла. Такая мера позволит избежать и потери локомотива, и дорогостоящего ремонта, и человеческих жертв. Остаётся добавить: хорошо бы провести натуральные испытания макета с защитой, а потом внедрять разработку на магистральных тепловозах в зонах, где воздушная опасность повышена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 2 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 3 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.
- 4 Фалилеев, В. Ю. Анализ существующих автоматизированных комплексов защиты от дронов / В. Ю. Фалилеев, Р. Р. Шатовкин // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2020. – № 14. – С. 130-140.
- 5 Система защиты от дронов: обнаружение дронов / В. В. Лукьянчиков, Н. А. Кондрашин, В. С. Коростелев, С. В. Рябцев // Вестник новой ЭРЫ : Сборник статей. – Анапа : Федеральное государственное автономное учреждение "Военный инновационный технополис "ЭРА", 2024. – С. 50-58.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕМОНТА ТЕПЛОВЗОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

В. А. Уколова¹, В. В. Иванов²

Введение. Обеспечение безопасности движения тепловоза является комплексной задачей, с одной стороны это строгое соблюдение инструкций машинистами и диспетчерами, а с другой надежность автоматики, путевого хозяйства и подвижного состава.

Надежность локомотива обеспечивается системой ремонта локомотивов комплексом технических средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания работоспособности и исправности тягового подвижного состава. Она включает различные виды технического обслуживания и ремонта, которые различаются по объёму работ, периодичности и целям [1-4].

Возможны следующие системы организации ремонта:

1. Планово-предупредительная система - основана на заранее запланированных работах с чётким регламентированием объёмов и периодичности. Применяется для узлов и агрегатов, связанных с безопасностью движения.

2. Ремонт по состоянию - объёмы восстановления определяются на основе данных технической диагностики, проводимой с установленной периодичностью. Если остаточный ресурс не удовлетворяет требованиям надёжности и безопасности, принимается решение о замене или ремонте в строго требуемых объёмах.

3. Ремонт по отказу - предусматривает восстановление только в случае перехода технической системы или её элемента из работоспособного состояния в неработоспособное.

Основная часть. Наиболее предпочтительной системой является система ремонта по техническому состоянию, которая зависит от точности и качества информации по техническому состоянию локомотива и прогнозирования износа и ресурса его узлов и агрегатов.

В настоящее время на локомотивах используются следующие бортовые диагностические системы. АПК «Борт – система предиктивной диагностики для тепловозов, разработанная научно-исследовательским институтом технологии, контроля и диагностики.

Данной системой оборудованы тепловозы ТЭМ18, ТЭМ7, ЧМЭЗ, эксплуатируемые на большинстве полигонов российских железных дорог.

АПК «Борт» выполняет следующие задачи:

1. Контроль расхода топлива: учёт прихода и расхода топлива, определение несанкционированных сливов, формирование отчётов и сведение баланса, в перспективе – формирование индивидуальных норм расхода для каждого локомотива с учётом износа и особенностей эксплуатации.

2. Мониторинг технического состояния дизель генераторных установок (ДГУ), онлайн отслеживание температуры, давления масла, оборотов дизеля, выявление нарастающих дефектов (например, постепенного падения давления масла), определение конкретного узла, требующего ремонта (топливный насос высокого давления, форсунка, турбокомпрессор), верификация показаний штатных датчиков (выявление неисправных датчиков при расхождении данных).

3. Анализ режимов эксплуатации и ремонта позволяет фиксировать более 20 видов нарушений, отслеживать нарушения нормативов с анализом трендов параметров ДГУ для предупреждения отказов, оценивать качество выполненного ремонта.

4. Информационная поддержка. Осуществляет передачу данных в автоматизированную систему управления «Сетевой график» с визуализацией местоположения локомотива и состояния ДГУ на карте, а также оперативное информирование ремонтных бригад.

Бортовой комплекс предиктивной диагностики (БКПД) - позволяет оценивать техническое состояние ключевых узлов локомотивов в процессе эксплуатации, прогнозировать возможные неисправности и планировать обслуживание заранее.

¹Уколова Валерия Алексеевна – студент группы ПСЖД-21, ИТСПС

²Иванов Виталий Викторович – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

БКПД через датчики ведет сбора данных о состоянии ключевых узлов локомотива, таких как: подшипниковые узлы колёсно-моторных блоков; электромагнитная система тягового электродвигателя; аккумуляторная батарея.

Из-за связи с микропроцессорной системой управления локомотива (МСУД), получается дополнительно контролировать состояние тормозного компрессора, быстродействующего и главного выключателей.

При аварийной ситуации одного из подконтрольных узлов БКПД экстренно оповещает машиниста. Данные о состоянии каждого узла накопленные в системе, позволяют планировать ремонт заблаговременно.

Ключевая задача БКПД заключается не только в сборе, передаче данных о состоянии подвижного состава, но и прогнозирование вероятных поломок критически важных узлов.

Система прогнозирования износа критических узлов предназначена для оценки ресурса локомотивов и повышение уровня их надёжности. Программное обеспечение позволяет определять накопленный износ узлов и прогнозировать остаточный ресурс оборудования с учётом данных об эксплуатации и климатических условий.

Система получает данные об эксплуатации локомотива из информационных систем ОАО «РЖД»: дату, маршрут и массу поезда. Отдельно анализируются климатические условия - температура и влажность, которые поступают из баз данных метеосервисов. Зная маршрут и точное время следования поезда, можно с высокой точностью установить погодные условия в конкретной географической точке. Климатические факторы впервые учитываются при прогнозировании ресурса локомотива, так как экстремальные температуры и влажность существенно влияют на износ некоторых узлов.

Система позволяет отследить всю историю эксплуатации локомотива за последние пять лет. На основе этих данных и с помощью математических моделей рассчитывается накопленный износ узлов и прогнозируется остаточный ресурс оборудования.

Заключение. Как видно из приведенных данных по используемым и перспективным системам предиктивной диагностики, возможность перехода на систему ремонтов по техническому состоянию с каждым годом становится все реальнее. Традиционная система ППР ориентирована на средний ресурс детали, а предиктивная диагностика позволяет ремонтировать узел, когда это нужно, а не по графику, тем самым исключая случаи, когда деталь еще может работать, но ее меняют из-за графика или же исключает случаи внезапного отказа детали. Сокращается простой в ремонте, производят замену конкретного предотказного блока, а не всех узлов. Рост плеч обслуживания: локомотив может продолжать свое движение дальше без захода в депо, так как система показывает, что все показатели в норме. Соблюдение графика движения: предиктивная диагностика сводит к минимуму внеплановые отказы в пути, тем самым обеспечивая стабильную работу и прибытие локомотивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Федотов М.В., Грачёв В.В. «Предиктивная система технического диагностирования локомотивов с использованием методов интеллектуального анализа данных» // Журнал «Транспорт Российской Федерации». 2020. № 6. С. 28–34.
- 2 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 3 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 4 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ТОПЛИВА

Р. А. Шахназарян¹, Н. Д. Семенов², А. В. Муратов³

Введение. Цены на традиционное топливо растут. Экологические нормы тоже становятся строже. Железнодорожный транспорт, хоть и электрифицирован во многих местах, всё ещё сильно зависит от солянки. Маневровые тепловозы, магистральные, разная спецтехника - всё это продолжает жечь углеводороды. А значит, отрасль остаётся уязвимой к скачкам цен на нефть. И выбросы никуда не деваются: парниковые газы, сажа, оксиды азота.

Цель данной работы разобраться, какие альтернативные энергоносители сегодня выглядят наиболее перспективно для железнодорожной техники, сравнить их между собой и с обычным дизтопливом, а заодно понять, что из этого реально внедрить в ближайшее время.

Основная часть. 1. Обзор текущего состояния и исследований. Почему тепловозы переводят на альтернативное топливо? Причин две: экономика и экология. На начало 2025 года в России числится около 1370 тепловозов, а также компания ОАО «РЖД» собирается докупить ещё примерно 400 в 2026 году. То есть тепловозная тяга никуда не уходит, даже при высокой доле электрификации. Но проблема в том, что дизельное топливо съедает до 60 % всех эксплуатационных расходов. При скачках цен на нефть это серьёзный риск. Плюс выбросы: от тепловозов идёт на 15-20 % от большинства оксидов азота, а также твёрдых частиц в транспорте РФ.

Во-первых, рассматривался водород для маневровых локомотивов и природный газ (СПГ) и получили экономию 25-30 % плюс снижение CO₂ на 20 %. Биотопливо тоже в деле: биодизельные смеси можно лить в обычные дизели с минимальными доработками [1, 2].

Но есть недостаток. Нет единой методики, которая сравнивала бы биотопливо. С данными климата страны, имеющей инфраструктуры и нынешний экономической выгоды. Есть четыре направления: газ (природный), водород, биотопливо, синтетика. Природный газ. На данный момент это самые раскрытые решения. В мире уже используется и сжиженный (СПГ), и сжатый (КПГ). Для магистральных тепловозов интереснее СПГ - у него энергетическая плотность в 2,5-3 раза выше, чем у КПГ. По имевшим исследованиям запас хода оптимальный. Экология: CO₂ падает на 20-25 %, оксидов азота - на 50-70 %, сажи практически нет [3]. Для того что бы перевести тепловоз на газ нужны криогенные баки, а также создать систему подачи топлива. Лучше всего использовать для этого двухтопливную схему, которая позволит применять газ и при этом дизельное топливо. На данный момент в России был проведен опыт на маневровом тепловозе с сжатым газом (КПГ). В результате такого опыта был выявлен недостаток в криогенном оборудовании, не безопасном хранении газа и не хватки развёрнутой заправочной комплекс. Также проанализируем использования водорода к которому есть два варианта. Первый это – топливные элементы с КПД 45-60%, а также низкий шум. В маневровом подвижном составе это наиболее выражено, так как вредные выбросы минимальны. Так же сжигание водорода в модифицированном двигателя, что не требует сильной модификации.

Биотопливо позволяет быстро снизить нагрузку от старого парка. Смеси B20-B30 работают в стандартных дизелях с минимальными доработками - на двигателях типа Д49 это подтверждено. Выбросы CO₂ ниже на 60-80 %. Однако биодизель склонен к окислению, портит резиновые детали топливной системы и густеет на морозе. Синтетическое топливо полностью совместимо с существующими двигателями и инфраструктурой, производится по методу Фишера-Тропша или из водорода и углекислого газа. Пока оно дорогое. В итоге для России, скорее всего, нужен дифференцированный подход: на магистралях - СПГ, водород подойдет для манёвров в экологически чувствительных зонах, биотопливо и синтетика подходит для поэтапного обновления старого парка. Сравним анализ, чтобы определить, какие виды топлива наиболее подходят для модернизации тягового подвижного состава, был проведён

¹Шахназарян Роман Ашотович – аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав», ИТСПС

²Семенов Никита Дмитриевич – студент группы ПСЖД-11, ИТСПС

³Муратов Алексей Владимирович – заведующий кафедры «Тяговый подвижной состав»

сравнительный анализ по нескольким ключевым параметрам. В расчёт брались энергоэффективность (КПД системы), объём вредных выбросов (особенно CO₂), стоимость топлива на киловатт-час, затраты на создание инфраструктуры, сроки окупаемости инвестиций, а также степень технологической готовности и возможность использования в существующем парке тепловозов [4-7]. По энергоэффективности лидирует водород. КПД водородных топливных элементов находится в диапазоне 45-60 %. Это заметно выше, чем у остальных вариантов. У СПГ этот показатель составляет 35-40 %. Биодизель и синтетическое топливо показывают примерно одинаковую эффективность - 30-35 % и 30-38 % соответственно. То есть по чистой энергетике водород выигрывает, но это не единственный критерий. Что касается снижения выбросов углекислого газа, здесь тоже водород вне конкуренции – 100 %, так как при работе топливных элементов CO₂ вообще не образуется. Синтетическое топливо даёт сокращение на 70-90 %, биодизель - на 60-80 %. Однако у СПГ этот скромнее - всего 20-25 %, но и он лучше обычной солянки. По стоимости топлива картина меняется. Самый дешёвый вариант - СПГ: 1,8-2,2 рубля за кВт-ч. Чуть дороже биодизель - 2,5-3,0 рубля. Водород уже существенно дороже: 4,5-6,0 рублей. А синтетическое топливо на сегодняшний день самое затратное - 5,5-7,0 рублей за кВт-ч. Если считать экономику перевозок, то дешёвое топливо далеко не всегда означает выгоду - надо ещё учесть инфраструктуру. Затраты на инфраструктуру распределились так. Самые большие - у водорода. Требуются специализированные заправочные станции, системы хранения под высоким давлением (350-700 бар) и меры безопасности. У СПГ затраты тоже высокие, но несколько ниже - криогенные ёмкости и заправки, хотя сеть пока не развита. Синтетическое топливо требует средних вложений, потому что его можно использовать на обычных заправках. А биодизель в этом смысле самый удобный инфраструктура почти не меняется, можно заливать в существующие ёмкости.

Заключение. Переход на альтернативное топливо железным дорогам позволит две вещи: экономика и экология. В рамках работы выяснили, что на данный момент реальнее всего использовать газ (СПГ) для дальних перевозок. Технология готовая, внедрить можно быстро. Для манёвров в перспективе лучше смотреть на водород, особенно там, где к чистоте воздуха требования высокие. Биотопливо снижать выбросы, не переделывая тепловозы с нуля. У каждого способа есть минусы, но комбинируя их под конкретные условия, можно добиться толка. Дальше стоит заняться гибридными установками и тем, как возить и хранить новое топливо, а также настройкой двигателей для разного вида топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Просви́ров, Ю. Е. Расчетно-экспериментальная оценка эффективности использования модифицированного моторного масла в тепловозных дизелях / Ю. Е. Просви́ров, С. А. Петухов, А. В. Муратов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2011. – № 5. – С. 44-47.
- 2 Распоряжение Правительства РФ от 19.03.2019 № 466-р «О долгосрочной программе развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/72200764/>
- 3 Петров С. В. Современные тенденции развития тягового подвижного состава // Наука и образование. 2024. № 1. С. 112-115.
- 4 Петухов, С. А. К вопросу оценки технического состояния локомотивных энергетических установок путем моделирования процесса образования продуктов износа в моторном масле / С. А. Петухов, А. В. Муратов, Л. С. Курманова // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 3(57). – С. 39-42.
- 5 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 6 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 7 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.

МИНИМИЗАЦИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПНОГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫМ ВАГОНАМ

К. Ю. Андреев¹, А. В. Жебанов²

Введение. По данным отраслевых изданий в текущий момент в эксплуатации на сети РЖД парк грузовых вагонов достиг порядка 1400 тыс. единиц. Причём, по расчётам при определении потребного парка (согласно действующим методикам оценки минимально необходимого количества грузовых вагонов) для перевозки грузов, эксплуатируемый парк составлял 1000 тыс. вагонов. Таким образом около 400 тыс. вагонов, является профицитный парк вагонов, который располагается на железнодорожных путях общего пользования и оказывает неблагоприятное влияние на перевозочный процесс, реализуемый РЖД. Не мало важным фактором перевозочного процесса является и сниженный порог среднего возраста грузовых вагонов. В связи с этим ухудшается техническое состояние рабочего парка грузовых вагонов, а следовательно, и растут показатели количества проведенных текущих отцепочных ремонтов год [1, 2].

Количество отцепок грузовых вагонов в непланный ТОР различных видов (ТР-1, ТР-2) в последние годы неуклонно растёт и поддерживается на высоком уровне (прядка 1000 тыс. вагонов в год). Эта величина достигает долю в 60-65 % от общего числа парка грузовых вагонов на сети железных дорог страны. Также стоит отметить, что количество отцепок выросла в том числе из-за внедрения перспективных средств диагностики, которые работают на предупреждение отказа и выявляют дефекты на ранней стадии их образования [3-5].

Современная железнодорожная отрасль всё активнее переходит на технологии, позволяющие обслуживать подвижной состав без жёсткой привязки к стационарным пунктам. Цифровизация, машинное зрение, роботизированные комплексы и системы технического зрения постепенно меняют традиционный подход к контролю состояния вагонов. Если раньше основная диагностика проводилась только на ПТО (пунктах технического обслуживания), то сейчас всё больше внимания уделяется участкам, где такой возможности нет или она ограничена. Речь идёт о перегонах, подъездных путях промышленных предприятий, станционных парках без стационарного оборудования, а также о малоинтенсивных линиях, где содержание полноценного ПТО экономически нецелесообразно [6-7].

Для собственников и операторов грузовых вагонов отцепки во внеплановых текущий ремонт (ТОР) являются острой проблемой. Такой ремонт вагонов выполняется в зависимости от их фактического технического состояния, а его стоимость, определяется по результатам фактически выполненных работ. В последние годы наблюдался существенный рост результирующей стоимости ТОР грузовых вагонов, особенно в случае выявления неисправностей ходовых частей, при которых требуется смена колесных пар (КП) грузовых вагонов на новые или ранее отремонтированные на вагоноремонтном предприятии.

Цель статьи впоиске и предложение решений, которые способствуют возможности минимизации человеческого фактора при выполнении текущего отцепочного ремонта с целью уменьшения затрат на ремонт и повышения качества проводимых работ.

Основная часть. Наиболее трудоемкий процесс работ на участке текущего отцепочного ремонта представляет собой замену ходовых частей грузовых вагонов. Для проведения ремонта тележек грузовых вагонов на участке ТОР в текущий момент применяют специальные домкраты и стягивающие устройства для замены пружин тележки, а обмер производят ручным способом. В этом случае демонтаж пружин с грузового вагонов в неполном объеме возможно произвести, а для замены всего комплекта необходима подъёмка кузова грузового вагона, выкатки тележки и дальнейший ее разбор. Этот технологический процесс подразумевает разуконплектование пружинного комплекта и новая его сборка. В соответствии с установленными

¹ Андреев Кирилл Юрьевич – студент группы ПСЖД-12, ИТСПС

² Жебанов Александр Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

требования к пружинному комплекту его необходимо собирать по установленной высоте, причем под фрикционные клинья необходимо размещать пружины наибольшей высоты. Кроме параметров длины все пружины проверяются на правильность внутреннего и наружного диаметра шаблонами, так называемыми проходными-непроходными. Итого технологический процесс обмера и подбора пружинного комплекта представляет собой трудоемкий процесс, использование ряда инструментов (шаблонов, приспособлений и др.), да еще и присутствует влияние человеческого фактора. Решение возникшего усложнения и увеличения времени процесса ремонта представляется в установке перспективного технологического оборудования, а именно высокомеханизированного манипулятора демонтажа-монтажа комплекта пружин рессорного подвешивания тележек. Представленный манипулятор оснащен автоматизированным оборудованием для измерения и сортировки пружин рессорного подвешивания тележек с целью автоматического подбора расположения пружин в комплекте (центральные и подклиновые пружины и формирование их комплектов для двух проёмов в составе одной тележки). Средства измерения, автоматизированного оборудования для измерения и сортировки пружин рессорного подвешивания тележек с целью автоматического подбора расположения пружин в комплекте, обеспечивают регистрацию величины нагрузки при испытании пружин, которые устанавливаются «преобразователем давления» КРТ5-1-10-0,5. Причем автоматизированная линия при измерении и подборе пружин может накапливать данные по пружинам и тем самым формировать цифровые двойники пружинных комплектов [5-8].

Заключение. Проведённое исследование подтверждает, что применение высокопроизводительного оборудования на участке ТОР грузовых вагонов для оптимизации его работы с точки зрения уменьшения трудоёмкости и продолжительности производственных процессов на ремонтных позициях, снижения энергоёмкости технологических операций на фоне общего сокращения оперативного времени, уменьшения количества производственного брака, как следствие, сокращение общей продолжительности нахождения грузовых вагонов в текущем ремонте (простой) и количество рекламаций в течение гарантийного периода, например, до следующего планового вида ремонта вагона или единой технической ревизии целесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Печенкина, Ю. А. Анализ информационных потоков как метод развития цифровых технологий при эксплуатации грузовых вагонов / Ю. А. Печенкина, А. В. Жебанов // Материалы докладов всероссийской научно-практической конференции им. Я.В. Мильмана : Материалы конференции, Москва, 18 декабря 2025 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2026. – С. 12-17.
- 2 Жебанов, А. В. Оптимизация осмотра грузовых вагонов на пунктах технического обслуживания при использовании возможностей искусственного интеллекта / А. В. Жебанов, Ю. А. Печенкина // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2024. – № 4(18). – С. 27-36.
- 3 Воеводина, С. П. Новый подход к организации ремонта вагонов, основанный на текущем техническом состоянии / С. П. Воеводина, А. В. Жебанов // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики: Материалы III Международной научно-методической конференции, посвященной 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, 21–22 марта 2023 года. – Оренбург: ОрИПС - филиала СамГУПС, 2023. – С. 17-20.
- 4 Киселев, Г. Г. Особенности применения средств видеонаблюдения на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта / Г. Г. Киселев, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 55-59. – EDN UQOEXG.
- 5 Жебанов, А. В. Передовая технология технического обслуживания подвижного состава в различных условиях / А. В. Жебанов, А. Р. Вильданов // Передовые технологии и инновации в образовании и науке для улучшения качества жизни и стимулирования устойчивого экономического роста: сборник статей VIII Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Белорусский государственный технологический университет, 03–05 декабря 2025 года. – Минск: Учреждение образования Белорусский государственный технологический университет, 2025. – С. 212-216. – EDN GGIYAE.
- 6 Воеводина, С. П. Движение запасных частей при техническом обслуживании вагонов в эксплуатации / С. П. Воеводина // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : Материалы международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 26 мая 2023 года. – г. Нижний Новгород: Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет путей сообщения" в г. Нижнем Новгороде, 2023. – С. 136-140.

- 7 Осипова, Т. П. Модель технического обслуживания грузовых вагонов с сокращением влияния человеческого фактора / Т. П. Осипова, А. В. Жебанов // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 62-64. – EDN FGAJKO.
- 8 Воеводина, С. П. Ремонт грузовых вагонов при использовании цифровых технологий / С. П. Воеводина, А. В. Жебанов // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия : Материалы II Международной научно-методической конференции: в 3 частях, Оренбург, 08–09 ноября 2023 года. – Оренбург: Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 213-217. – EDN LDAXOO.
- 9 Печенкина, Ю. А. Формирование базы данных с целью создания цифрового двойника грузового вагона при его эксплуатации / Ю. А. Печенкина, А. В. Жебанов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 519-521. – EDN LHGTPO.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Р. Ю. Борисов¹, Г. Г. Киселев²

Введение. В России цифровая трансформация затрагивает без исключения все сферы экономики, от промышленного производства до сферы услуг для конечных потребителей. В ответ на растущие требования тотальной цифровизации российского рынка ОАО «РЖД» запустило масштабный проект «Цифровая железная дорога», направленный на внедрение цифровых технологий во все сферы деятельности железнодорожной компании [1].

Развитие компании ОАО «РЖД» идет по пути инноваций, четко следуя целям, прописанным в ключевых долгосрочных программах России и самой компании «РЖД». К ним относятся: Стратегия развития железнодорожной отрасли до 2030 года, Долгосрочная программа развития (ДПР) «РЖД» и Стратегия научно-технического прогресса «РЖД», известная как «Белая книга» [2]. Комплексная программа инновационного развития определяет ключевые направления научно-технического прогресса (рис.1), которые Холдинг призван реализовать.

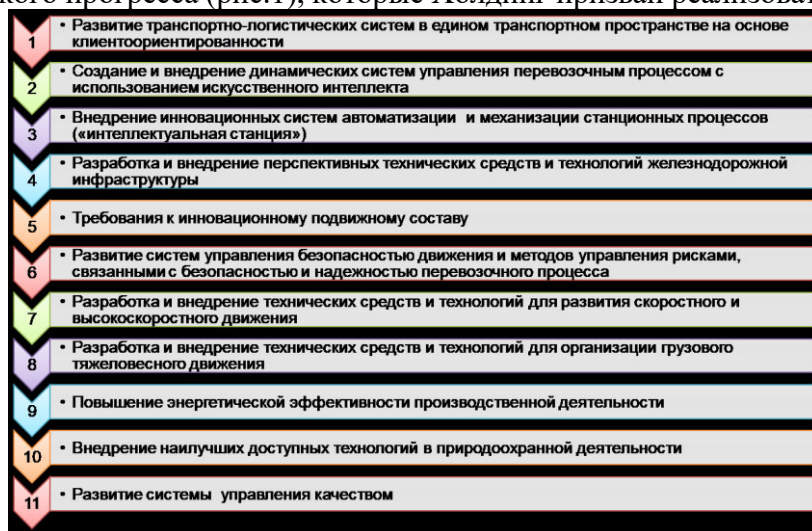


Рис. 1. Приоритетные направления научно-технологического и инновационного развития холдинга "РЖД" в рамках реализации проекта "Цифровая железная дорога" ОАО "РЖД"

В современном мире, где технологические инновации развиваются с небывалой скоростью, как на глобальном, так и на российском уровнях, ОАО «РЖД» сталкивается с необходимостью оперативного реагирования на трансформацию окружающей среды. Для сохранения

¹ Борисов Роман Юрьевич – студент группы ПСЖД-12, ИТСПС

² Киселев Геннадий Геннадьевич – к.т.н., доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

конкурентоспособности компании требуется внедрение клиентоцентричного подхода в бизнес-модели, модернизация существующих технологий и масштабное техническое перевооружение производственных ресурсов. ОАО "РЖД" ставит перед собой цель стать драйвером инновационного развития российской экономики, активно сотрудничая с научным сообществом, промышленными гигантами, малым и средним бизнесом и другими ключевыми игроками национальной инновационной инфраструктуры. Подходы тактического координирования инноваций в сфере деятельности ОАО «РЖД» включают в себя: прогноз долгосрочного инновационного развития до 2050 года, комплексный анализ технологической оснащенности компании в сравнении с лидерами мирового рынка, а также сравнительный обзор эффективности внедрения технологий в ОАО «РЖД» по отношению к зарубежным конкурентам.

Разработчикам и производителям подвижного состава и их комплектующих предстоит решать актуальные вопросы: совершенствовать технологии ремонта, автоматизировать ключевые производственные этапы, а также внедрять цифровые решения для контроля и наблюдения за состоянием техники [3].

Основная часть. Цифровизация вагонного хозяйства становится все более актуальной благодаря постоянному прогрессу в сфере железнодорожных перевозок [4]. В настоящее время эксплуатационные службы осуществляют контроль над подавляющим числом составных частей и элементов вагонов в процессе движения, применяя при этом передовые научные разработки и инновационные технологии. Цифровизация процессов позволяет существенно увеличить производительность и сократить расходы на транспортировку, что побуждает большую часть игроков вагонного бизнеса к внедрению инновационных технологий для поддержания своей конкурентоспособности. Среди ключевых задач стоит реализация интеллектуальных систем в сфере управления грузовым подвижным составом, что позволит говорить о появлении «умных вагонов» [5].

В настоящее время на железнодорожном транспорте рассматривается создание концепции «Умного вагона», включающей в себя применение предиктивной аналитики, автоматизированный контроль ключевых характеристик грузового вагона и всестороннюю оценку его технического состояния.

Цифровой грузовой вагон (рис. 2) представляет собой интегрированную систему, объединяющую аппаратные компоненты в виде датчиков, размещаемых на вагоне, автономный источник электроснабжения и программное обеспечение, отвечающее за обработку собранной информации. Данные обрабатываются на цифровой платформе и доступны через информационно-аналитический портал, который включает в себя веб-интерфейс.



Рис. 2. Основные компоненты цифрового грузового вагона

С помощью интеллектуальных датчиков, предназначенных для автоматического выявления неисправностей в подвижном составе, осуществляется автоматическая обработка данных измерений. Для обеспечения стабильности в процессе движения поезда следует отдавать предпочтение датчикам с высокой точностью измерений. Важно также обратить внимание на радиус действия датчика, гарантируя, что он сможет охватить нужную зону.

Информация о техническом состоянии грузовых вагонов собирается с помощью датчиков и микропроцессорных контроллеров, отвечающих за мониторинг функционирования всех элементов подвижного состава. Благодаря этой системе автоматизируются процессы, обнаруживаются неисправности на начальных этапах и предсказываются возможные отказы. В результате повышается безопасность и эффективность железнодорожного транспорта. Этот комплекс информации позволяет проводить анализ и оптимизировать работу [6].

Требования к контролю за эксплуатационными характеристиками подвижного состава отличаются у каждого железнодорожного перевозчика и владельца грузовых вагонов. Именно поэтому цифровой вагон имеет полностью модульную конфигурацию - клиент может выбрать именно те датчики, которые ему нужны. От обнаружения вибрации, неисправностей колесных пар, износа подшипников или тормозов, состояния загрузки вагона до температуры и влажности в кузове вагона. Основное внимание уделяется индивидуализации - адаптации к требованиям заказчика.

Заключение. Цифровая трансформация грузовых вагонов открывает массу возможностей. Так как данная система позволяет железным дорогам повысить производительность, снизить издержки и уменьшить количество непредвиденных простоев вагонов.

Внедрение новой технологии откроет возможности для мониторинга технического состояния не тягового подвижного состава. Благодаря созданию прогнозной модели, можно будет предвидеть необходимость технического обслуживания и тем самым повысить эффективность управления процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Внедрение цифровых технологий в процесс обработки подвижного состава на пункте технической передачи (ПТП) / А. А. Ключко, И. В. Чепурченко, С. В. Коркина, Г. Г. Киселев // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 4(112). – С. 19-24. – EDN KIMXSU.
- 2 Распоряжение ОАО "РЖД" от 17.04.2018 №769/р "Об утверждении Стратегии научно-технологического развития холдинга "РЖД" на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга)" (Вместе со Стратегией)
- 3 Гурьянов, М. В. Цифровые технологии для роботизации технического обслуживания грузовых вагонов / М. В. Гурьянов // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : Материалы международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 26 мая 2023 года. – г. Нижний Новгород: Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет путей сообщения" в г. Нижнем Новгороде, 2023. – С. 145-150. – EDN GSOGTY.
- 4 Киселев, Г. Г. Применение эффективных цифровых технологий при измерении геометрических параметров колесных пар / Г. Г. Киселев, А. Д. Протасова // Наука и образование: достижения и перспективы: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Саратов, 21 декабря 2023 года. – Самара - Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2023. – С. 268-273. – EDN JJQNSF.
- 5 Жироухов, Е. И. "Умный" грузовой поезд / Е. И. Жироухов // Локомотив. – 2018. – № 10(742). – С. 32-36.
- 6 Плотников, В. С. Непрерывный контроль технического состояния грузовых вагонов в эксплуатации / В. С. Плотников // Дни студенческой науки: Сборник материалов 47-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 14–30 апреля 2020 года. Том Выпуск 21, Том 1. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 78-80. – EDN JVVYVAM.

ВОЗМОЖНОСТИ БПЛА ПРИТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПТО

А. Р. Вильданов¹, А. В. Жебанов²

Введение. Современная железнодорожная отрасль всё активнее переходит на технологии, позволяющие обслуживать подвижной состав без жёсткой привязки к стационарным пунктам. Цифровизация, машинное зрение, роботизированные комплексы и системы технического зрения постепенно меняют традиционный подход к контролю состояния вагонов [1, 2]. Если раньше основная диагностика проводилась только на ПТО (пунктах технического обслуживания), то сейчас всё больше внимания уделяется участкам, где такой возможности нет или она ограничена. Речь идёт о перегонах, подъездных путях промышленных предприятий, станционных парках без стационарного оборудования, а также о малоинтенсивных линиях, где содержание полноценного ПТО экономически нецелесообразно [2, 3].

Именно здесь возникает ключевая проблема: как обеспечить своевременную диагностику грузовых вагонов в условиях отсутствия стационарного оборудования и оперативного доступа ремонтных бригад. Задержка с выявлением дефектов на перегонах приводит к вынужденным простоям поездов, сбоям в графике движения, дополнительным эксплуатационным расходам, а в ряде случаев – к аварийным ситуациям с угрозой безопасности движения [4]. Традиционные методы (осмотр с обходом, выезд ремонтной бригады) требуют значительного времени и не всегда возможны на труднодоступных участках. Поэтому поиск новых, более гибких и оперативных способов контроля состояния вагонов за пределами ПТО является актуальной научно-практической задачей.

На первый план здесь выходят беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Их можно оперативно направить в любую точку маршрута следования состава. Им не нужна специальная инфраструктура. БПЛА взлетает с ближайшей пригодной площадки, быстро достигает места остановки или замедления поезда и выполняет детальный осмотр ключевых узлов: колёсных пар, буксовых узлов, тележек, автосцепок, тормозного оборудования и т.д. [3].

Цель данной работы – определить возможности и разработать алгоритм применения беспилотных летательных аппаратов для технического обслуживания грузовых вагонов за пределами пунктов технического обслуживания, а также оценить эффективность такого подхода по сравнению с традиционными методами.

Материалами для исследования послужили технические характеристики современных БПЛА (на примере DJI Matrice 350 RTK), данные о типовых неисправностях грузовых вагонов, возникающих на перегонах, а также результаты апробации технологии на железнодорожных участках с ограниченной инфраструктурой. В работе использованы методы системного анализа, сравнительной оценки, а также методы моделирования алгоритма технического диагностирования с применением тепловизионного и оптического оборудования, устанавливаемого на БПЛА.

Основная часть. За пределами пунктов технического обслуживания отсутствуют стационарные средства диагностики вагонов: тепловизоры, смотровые канавы, системы видеоконтроля и другое оборудование. Для прибытия осмотрщика к месту остановки поезда требуется значительное время, а на удалённых участках необходима специальная техника. Использование беспилотных летательных аппаратов позволяет оперативно решить данную проблему [3].

БПЛА способен выполнять осмотр круглосуточно благодаря наличию прожектора и тепловизионной камеры, работать при неблагоприятных погодных условиях средней интенсивности, приближаться к буксовым узлам, тележкам и автосцепному оборудованию на малой высоте, быстро подготавливаться к вылету и точно позиционироваться относительно грузового вагона с применением точной спутниковой навигации.

¹Вильданов Айнура Ринатович – студент группы ПСЖД-22, ИТСПС

²Жебанов Александр Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

При обследовании состава на перегоне беспилотник позволяет выявлять перегрев букс по температурным аномалиям (отклонения температуры от нормативной), просадку рессорного подвешивания по изменению зазоров, трещины и перекосы автосцепки по фотоизображениям высокого разрешения, отсутствие либо смещение тормозных колодок, наличие посторонних предметов на ходовых частях, а также дефекты поверхности колёсных пар, включая ползуны и выщербины. Без применения БПЛА подобные неисправности во многих случаях могли бы остаться незамеченными до прибытия поезда на ближайшую станцию либо до возникновения аварийной ситуации.

Рассмотрим алгоритм действий осмотра БПЛА подвижного состава за пределами ПТО.

1. Решение о применении БПЛА принимается после получения информации о возможной неисправности состава (посторонний стук, запах нагреваемых деталей, дымление, срабатывание сигнализации и другие признаки), если поезд остановлен на перегоне или подъездном пути, а время прибытия бригады для осмотра превышает установленный норматив.

2. В зависимости от ситуации используется один из двух режимов работы. При неизвестном источнике неисправности выполняется экспресс-облёт всего состава с контролем, к примеру буксовых узлов тепловизором. Если известен номер вагона либо предполагаемое место дефекта, проводится точечный осмотр с детальной съёмкой конкретного элемента.

3. Когда оператор вводит координаты или номер поезда, дрон запускается с ближайшей безопасной площадки, где нет помех. Далее он движется по уже проложенному маршруту и фиксирует каждую деталь: буксовые узлы, тележки, автосцепку. Все снимки автоматически привязываются к точному времени, месту съёмки и номеру вагона.

4. Вся полученная информация транслируется на планшет оператору в реальном времени, где производится визуальный либо автоматизированный анализ. Например, если температура буксовых узлов выше нормы на 20–30 градусов, это сразу воспринимается как тревожный сигнал.

5. По итогам осмотра принимается одно из трёх решений: либо поезд идёт дальше без всяких ограничений, либо движется до ближайшего ПТО, но с пониженной скоростью, либо состав останавливают немедленно и отцепляют неисправный вагон. В среднем вся проверка дроном занимает 15–20 минут. Обычная же бригада осматривщиков тратит на то же самое от часа до полутора часов [3].

Для того чтобы внедрить в работу дроны, не нужно строить пункты технического обслуживания. Их можно использовать в рамках имеющейся инфраструктуры. Например, беспилотные летательные аппараты могут базироваться на малых станциях у дежурного персонала, в передвижных бригадах осматривщиков, у дорожных мастеров либо у поездного диспетчера на участках с интенсивным движением. Тем более, что для запуска достаточно ровной площадки с твёрдым покрытием или уплотнённым грунтом.

Управление БПЛА может выполняться как осматривщиком вагонов, прошедшим дополнительную подготовку, так и отдельным оператором. При этом функции распознавания дефектов могут частично передаваться автоматизированным системам обработки изображений [1].

По итогам обследования формируется электронный протокол, содержащий фотографии, термограммы, координаты, время проведения осмотра и сведения о вагоне. Документ может прикрепляться к электронному паспорту вагона и использоваться в качестве объективного подтверждения технического состояния состава [5–8].

Заключение. Проведённое исследование подтверждает, что беспилотные летательные аппараты могут эффективно использоваться для технического обслуживания грузовых вагонов за пределами пунктов технического обслуживания. Основная проблема, которую решает БПЛА, отсутствие диагностики на перегонах, подъездных путях и малоинтенсивных линиях, где строительство стационарных ПТО экономически неоправданно, а осмотр без средств автоматизации занимает слишком много времени, либо вовсе невозможен.

В работе определены ключевые возможности БПЛА в условиях вне ПТО. К ним относятся круглосуточный контроль с применением тепловизионной аппаратуры, работа при умеренных неблагоприятных погодных условиях и т.п. Перечисленные свойства позволяют

беспилотнику выявлять широкий спектр неисправностей: перегрев буксовых подшипников, просадку рессорного подвешивания, трещины и перекосы автосцепки, деталей тележки.

Разработанный алгоритм действий включает пять последовательных этапов: принятие решения о вылете, выбор режима осмотра, проведение полета по фиксированной траектории с привязкой кадров к координатам и номеру вагона, анализ полученных данных (визуальный или автоматизированный), а также принятие итогового решения – от беспрепятственного следования до немедленной отцепки вагона. Полный цикл обследования проходит в 3–6 раз быстрее традиционного пешего осмотра.

С организационной точки зрения внедрение БПЛА не требует строительства новых объектов инфраструктуры. Базирование возможно на малых станциях, у дорожных мастеров или в передвижных бригадах. Управление доступно обученному осматрщику вагонов либо отдельному оператору. По итогам осмотра формируется электронный протокол с фото- и термо-материалами, который может быть прикреплен к электронному паспорту вагона и служить объективным доказательством технического состояния состава.

Таким образом, применение БПЛА за пределами ПТО позволяет существенно сократить время выявления дефектов, снизить риски пропуска опасных неисправностей, уменьшить количество вынужденных простоев поездов и повысить безопасность движения на участках, где традиционные методы контроля недостаточно эффективны. Предложенный подход закрывает важную нишу – оперативную диагностику вне стационарной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Жебанов, А. В. Оптимизация осмотра грузовых вагонов на пунктах технического обслуживания при использовании возможностей искусственного интеллекта / А. В. Жебанов, Ю. А. Печенкина // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2024. – № 4(18). – С. 27-36.
- 2 Воеводина, С. П. Новый подход к организации ремонта вагонов, основанный на текущем техническом состоянии / С. П. Воеводина, А. В. Жебанов // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики : Материалы III Международной научно-методической конференции, посвященной 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, 21–22 марта 2023 года. – Оренбург: ОриПС - филиала СамГУПС, 2023. – С. 17-20.
- 3 Киселев, Г. Г. Особенности применения средств видеоаналитики на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта / Г. Г. Киселев, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 55-59. – EDN UQOEXG.
- 4 Жебанов, А. В. Передовая технология технического обслуживания подвижного состава в различных условиях / А. В. Жебанов, А. Р. Вильданов // Передовые технологии и инновации в образовании и науке для улучшения качества жизни и стимулирования устойчивого экономического роста: сборник статей VIII Международной научно-технической конференции. В 3-х томах, Белорусский государственный технологический университет, 03–05 декабря 2025 года. – Минск: Учреждение образования Белорусский государственный технологический университет, 2025. – С. 212-216. – EDN GGIYAE.
- 5 Воеводина, С. П. Движение запасных частей при техническом обслуживании вагонов в эксплуатации / С. П. Воеводина // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : Материалы международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 26 мая 2023 года. 2023. – С. 136-140.
- 6 Осипова, Т. П. Модель технического обслуживания грузовых вагонов с сокращением влияния человеческого фактора / Т. П. Осипова, А. В. Жебанов // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 62-64. – EDN FGAJKO.
- 7 Воеводина, С. П. Ремонт грузовых вагонов при использовании цифровых технологий / С. П. Воеводина, А. В. Жебанов // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия : Материалы II Международной научно-методической конференции: в 3 частях, Оренбург, 08–09 ноября 2023 года. – Оренбург: Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 213-217. – EDN LDAXOO.
- 8 Печенкина, Ю. А. Формирование базы данных с целью создания цифрового двойника грузового вагона при его эксплуатации / Ю. А. Печенкина, А. В. Жебанов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 519-521.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИДЕОФИКСАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Н. А. Глухова¹, Р. В. Козак²

Введение. Обеспечение безопасности железнодорожного движения во многом определяется своевременным обнаружением неисправностей грузовых вагонов. Практика эксплуатационной работы свидетельствует о том, что значительная доля отказов обусловлена недостаточной эффективностью визуального осмотра на пунктах технического обслуживания (ПТО). Ключевые ограничения традиционного подхода связаны с зависимостью качества осмотра от психофизиологического состояния осмотрщика, снижением производительности труда в ночное время, а также принципиальной невозможностью непрерывного контроля ходовых узлов вагона в движении.

В последнее время системы видеофиксации заняли устойчивое место в арсенале средств технической диагностики подвижного состава. Их применение открывает возможность оперативного выявления неисправностей непосредственно в процессе пропуска поезда. В основе технологии лежит компьютерное зрение – направление, позволяющее извлекать диагностически значимую информацию посредством анализа последовательных изображений, поступающих с видеокамер в режиме реального времени или из архива записей [1 -4].

Цифровых технологий обеспечивает доступ к большим массивам данных в реальном времени и создаёт технические предпосылки для широкого внедрения видеофиксации на объектах железнодорожной инфраструктуры, способствуя повышению уровня безопасности движения.

Техническое обслуживание грузовых вагонов осуществляется на специализированных пунктах. Автоматизированная система управления ПТО (АСУ ПТО) формирует ремонтные задания, обеспечивает оформление отцепки вагонов в ремонт, ведёт архив данных о поездах и вагонах, а также осуществляет контроль перемещения неисправных единиц подвижного состава [5].

Переход к цифровым методам контроля позволяет существенно сократить время обработки состава при одновременном снижении нагрузки на осмотрщиков. Повышение достоверности выявления дефектов достигается за счёт автоматизации, исключающей ошибки, обусловленные усталостью персонала.

Действующие методы визуального осмотра характеризуются рядом существенных недостатков: значительная нагрузка на персонал неизбежно снижает качество работы, человеческий фактор обуславливает пропуск дефектов, а недостаточная освещённость ухудшает видимость [6]. В ночное время снижение эффективности осмотра проявляется особенно выражено: даже при наличии стационарного освещения отдельные конструктивные элементы вагонов остаются в тени, что делает практически невозможным обнаружение мелких трещин и нарушений лакокрасочного покрытия нижних частей кузова и ходовых частей.

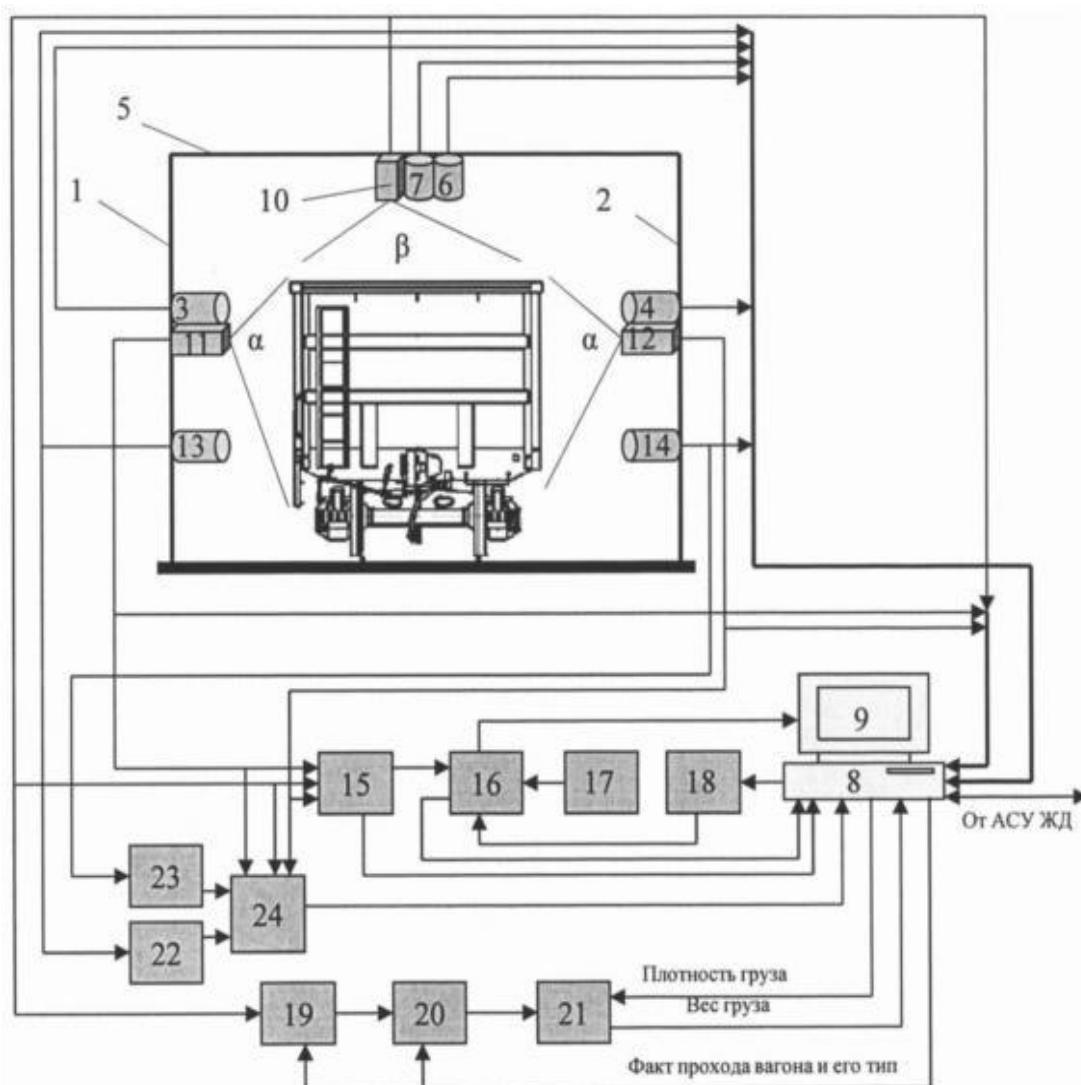
Основная часть. Системы коммерческого осмотра, эксплуатируемые в настоящее время, отличаются недостаточной точностью при проверке габаритов погрузки. Дефекты в виде проломов бортов и значительных вмятин кузова не фиксируются автоматически. Помимо этого, действующие средства не позволяют оценить равномерность распределения сыпучего груза по площади пола полувагона.

Габаритный контроль непосредственно влияет на безопасность пропуска встречных поездов. Особой угрозой выступают детали, которые выступают за борт, и незакреплённые грузы при движении по кривым участкам пути и такое может способствовать столкновению. Для устранения перечисленных недостатков предлагается внедрение систем видеофиксации. Разработана установка на основе П-образной несущей конструкции, включающей две опоры

¹ Глухова Наталья Александровна – студентка группы ПСЖД-12, ИТСПС

² Козак Роман Васильевич – доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

и ригель, на котором размещаются телевизионные камеры. В состав системы входят блок формирования контура вагона, блок сравнения и блок хранения эталонных данных [6].

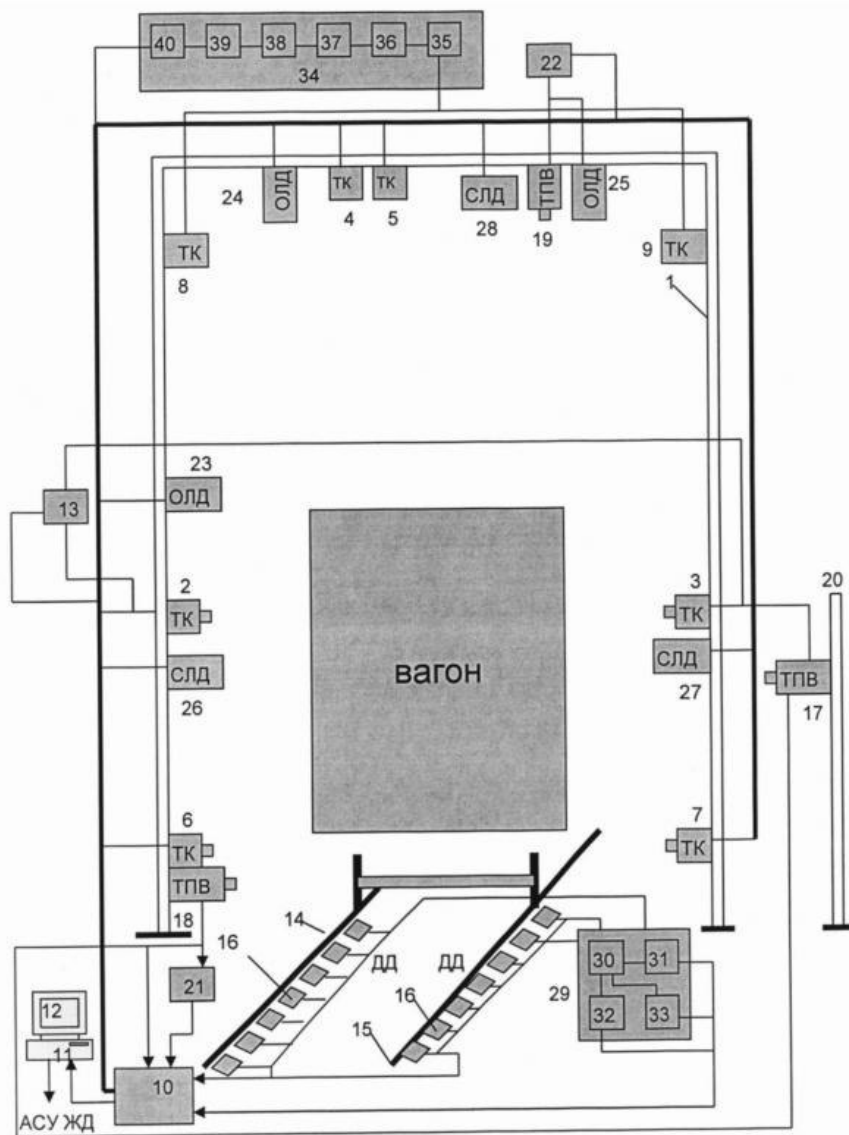


1,2 – П-образная несущая конструкция, закрепленная на опорах; 3,4,6,7,13,14 –телевизионные камеры; 5 – ригель; 8 – ПЭВМ оператора; 9 – монитор; 10,11,12 – сканирующие лазерные дальномеры; 15 – блок формирования контура вагона; 16 – блок сравнения; 18 – блок хранения информации; 19 – блок построения рельефа груза; 20 – блок вычисления объема груза; 21 – блок вычисления веса груза; 22,23 – контроллеры; 24 – цифровой элемент

Рис. 1. Автоматизированная система контроля вагонов

Преимущества тепловизионного метода заключаются в бесконтактности измерений: датчики не вступают в механический контакт с подвижным составом, исключая дополнительный износ оборудования. Тепловизоры сохраняют работоспособность при любых условиях освещённости и погодных условиях, не оказывающих влияния на точность результатов.

В состав предлагаемой системы входят телевизионные и тепловизионные камеры, сканирующие лазерные дальномеры и датчики давления на рельсах. Предусмотрены контроллеры распознавания номеров вагонов, контроллер перегрева элементов тележек и контроллер обработки показаний датчиков давления [7]. Последний включает блоки регистрации нагрузки на каждый датчик, контроля перегрузки колёсных пар, определения критического поперечного смещения груза, а также выявления неисправностей колёсной пары.



1 – П-образная несущая конструкция; 2 – 9 телевизионные камеры; 10 – мультипортовая плата; 11 – ПЭВМ оператора; 12 – монитор; 13 – контроллеры распознавания номеров; 16 – датчик деформации; 17,18,19 – тепловизионные камеры; 20 – опора; 21,22 – контроллеры перегрева; 23,24,25 – однолучевые лазерные дальномеры; 26,27,28 – сканирующие лазерные дальномеры; 29 – контроллеры оценки давления; 30,30,32,33 – контроллеры оценки давления с блоками; 34 – контроллеры износа

Рис. 2. Определение температурного поля буксы с помощью тепловизора

Система строит трёхмерный контур вагона, который сопоставляется с эталонным контуром исправной единицы подвижного состава. Отклонения фиксируются автоматически: формируется тревожный сигнал, а изображение выявленного дефекта выводится на монитор оператора.

Для работы с сыпучими грузами в системе предусмотрены специализированные блоки. Данные от лазерного дальномера поступают в блок построения рельефа груза, на основании которых вычисляются объём и масса перевозимого материала.

Для контроля тормозного оборудования применяются стереокамеры, формирующие трёхмерные модели узлов. В каждой модели выделяются край штока тормозного цилиндра и

его корпус [8]. В ходе опробования тормозов стереокамеры работают в режиме реального времени: фиксируются время от подачи команды до начала движения штока и скорость его перемещения. При отклонении параметров за установленные пределы автоматически формируется сообщение о неисправности.

Разработан программно-аппаратный комплекс распознавания инвентарных номеров вагонов с вероятностью корректного распознавания 92 %, что позволяет исключить из технологического процесса рабочее место оператора станционного технического центра. Расчётный срок окупаемости установки – два года [9].

Заключение. Внедрение систем видеофиксации переводит контроль технического состояния грузовых вагонов на качественно иной уровень автоматизации. АСУ ПТО формирует ремонтные задания и ведёт архив данных о поездах; тепловизоры регистрируют температурное поле буксовых узлов; датчики давления совместно с контроллерами выявляют перегрузку и смещение груза; стереокамеры обеспечивают контроль тормозного оборудования. Применение видеонаблюдения снижает риск травматизма персонала. В совокупности использование систем видеофиксации повышает эффективность технического обслуживания, минимизирует влияние человеческого фактора и обеспечивает требуемый уровень безопасности движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Киселев, Г. Г. Система видеоаналитики на участках текущего отцепочного ремонта / Г. Г. Киселев // 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. 17-18. – EDN WOYUTO.
- 2 Киселев, Г. Г. Системы интеллектуальной видеоаналитики для повышения безопасности на железнодорожном транспорте / Г. Г. Киселев // Современные тенденции развития транспортной отрасли: Материалы II Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 20–21 февраля 2025 года. – Нижний Новгород: Приволжский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 21-26. – EDN KPMKRH.
- 3 Киселев, Г. Г. Особенности применения средств видеоаналитики на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта / Г. Г. Киселев, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 55-59. – EDN UQOEXG.
- 4 Киселев, Г. Г. Применение системы видеоаналитики в условиях текущего отцепочного ремонта / Г. Г. Киселев // Наука и образование: достижения и перспективы: Материалы IX Международной научно-практической конференции, Саратов, 19 декабря 2024 года. – Самара - Саратов: ООО "Амирит", Приволжский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 44-48. – EDN BVKFMО.
- 5 Натаров Р.Н. Организация технического обслуживания вагонов. АСУ ПТО. Обслуживание аппаратуры КТСМ: Методическое пособие.- Лиски: ЛТЖТ- филиал РГУПС, 2019.-57с
- 6 Патент № 2682148 С1 Российская Федерация, МПК В61К 9/02. Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов: № 2018113372 : заявл. 12.04.2018 :опубл. 14.03.2019 / А. О. Калабеков, А. А. Немцев, Е. В. Помазов ; заявитель Производственный кооператив "Научно-Производственный комплекс "АВТОМАТИЗАЦИЯ".
- 7 Патент № 2713132 С1 Российская Федерация, МПК В61К 9/02. Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов с модульной архитектурой (АСКО ПВ 3.0) : № 2018143177 : заявл. 05.12.2018 :опубл. 03.02.2020 / А. О. Калабеков, О. А. Калабеков, А. А. Немцев, Е. В. Помазов ; заявитель Производственный кооператив "Научно-Производственный Комплекс "АВТОМАТИЗАЦИЯ".
- 8 Обзор современных систем технического зрения, применяемых в транспортной отрасли (электронный ресурс) <https://top-technologies.ru/article/view?id=40150> (дата обращения 11.04.2026).
- 9 Морозов, М. В. Программно-аппаратный комплекс «Система технического зрения. Комплекс идентификации номеров вагонов» / М. В. Морозов, С. П. Сорока // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса: Материалы Международной научно-практической конференции, Гомель, 10–11 декабря 2020 года / Под общей редакцией А.А. Ерофеева. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2021. – С. 263-268.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ФОРМИРОВАНИЮ КОМПЛЕКСА ИНЖЕНЕРНЫХ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Г. А. Данильцев¹, А. В. Жебанов²

Введение. Стратегия развития железных дорог страны нацелена на цифровизацию, направленную на повышение пропускной способности, безопасности и автоматизации процессов. Ключевой вектор в текущий момент – это переход от отдельных цифровых решений к комплексной автоматизации целых объектов и управлению на основе собранной статистики [1-3].

В рамках этой стратегии создается все больше технологий, которые способствуют облегчению рабочих процессов, усовершенствованию и сокращению затрат, способствующие оптимизации рабочих процессов, снижению эксплуатационных затрат порядка 10–15 %, что в свою очередь повлечет положительный экономический эффект.

Для формирования строительных объектов железнодорожной инфраструктуры в том числе верхнего строения жд пути, необходимо применение тяжелой гусеничной техники с тяговым усилием от 250 до 450 кН. В большинстве задач используются бульдозеры 11–15-го тяговых классов например: Б10М, Т-170, САТ D6Т и др. Эти машины различного назначения для организации следующих работ: земельные работы, планировка территории, ландшафтный дизайн, карьеры, благоустройство и разравнивание территории и др.

Основная часть.

Анализ рабочего цикла бульдозера показывает, что до 85 % времени выполняются повторяющиеся операции, а конкретно: опускание отвала в нижнее положение, чтобы он врезался в грунт, затем движение вперед, перемещение призмы волочения, после машина останавливается, так как грунтоказывает сильное сопротивление на технику, а далее возвращается обратно. Этот процесс закичивается до момента выполненной работы. Также бульдозер может срезать грунт, то есть заезжает на насыпь, и постепенно разравнивает ее, теми же движениями, что и описывались ранее. Указанная цикличность и повторяемость операций создают предпосылки для автоматизации на базе систем машинного зрения (СМЗ). Это позволит упростить работу машиниста бульдозера, а также сможет повысить уровень безопасности.

Машинное зрение будет состоять из системы блоков камер и лидаров в совокупности с компьютером заложенными в него алгоритмами действий при различных ситуациях, а также анализе окружающей среды, который будет обрабатывать эти данные и управлять системами бульдозера. Благодаря хорошему ночному видению, что несравненно будет лучше, чем у человека, бульдозер сможет работать и ночью в плохо освещенных местах, например в карьерах. «Машинное зрение» можно будет устанавливать не только на самые перспективные модели, но и на любой из эксплуатируемых бульдозеров в не зависимости от марки или разновидности [4-7]. Машинист сможет вести работу, как внутри кабины, так и наблюдая со стороны, управляя всем технологическим процессом с пульта. При этом в случае наезда на какое-либо препятствие, бульдозер остановится т.к. информация об нарушении безопасности проводимых работ придет с датчиков и камер на управляющий орган.

К примеру при ремонте или создании верхнего строения железнодорожного пути бульдозерами осуществляется планировочные работы, уборка старого балласта, который засорилося и требует отчистки, или же разравнивание земляного полотна. Автоматизация сокращает продолжительность технологического цикла на 25–35 % и снижает потребность в машинистах на 1–2 человека в смену в зависимости от количества машин.

Далее подробно опишем устройство и принципы работы предлагаемой системы.

¹ Данильцев Григорий Алексеевич – студент группы НТТС-21, ИТСПС

² Жебанов Александр Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

Прежде всего стоит правильно расположить камеры и лидары, чтобы им не перекрывался обзор и они могли функционировать

На рисунке размещена схема установки блоков камер и лидаров.

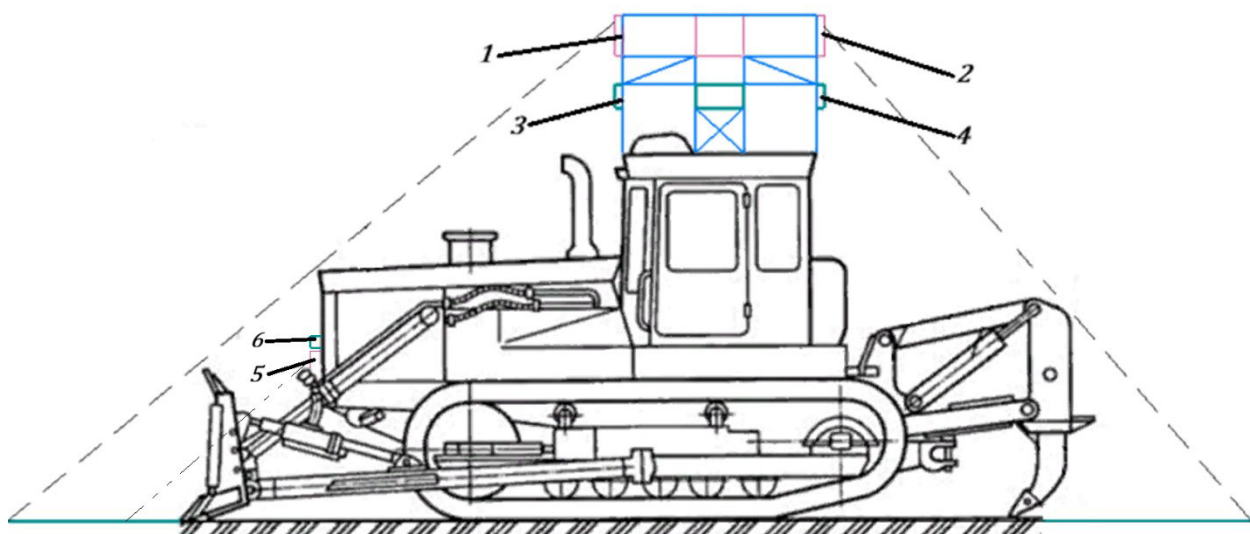


Рис. Схематическое расположение камер и лидаров на бульдозере

1 - Передний лидар (дальность 200 м, угол обзора $90^\circ \times 45^\circ$, частота 20 Гц), 2 - Задний лидар (дальность 100 м, угол обзора $60^\circ \times 30^\circ$, частота 10 Гц), 3 - Передняя стереокамера (2 Мп, 60 Гц, цветная), 4 - Задняя камера (2 Мп, 30 Гц, монохромная + ИК-подсветка 850 нм), 5 - Дополнительный нижний лидар (дальность 30 м, угол $45^\circ \times 30^\circ$), 6 - Дополнительная камера (1,2 Мп, 50 Гц, широкоугольный объектив 120°).

Для размещения элементов СМЗ на крыше бульдозера используется облегченная каркасная конструкция из алюминиевого сплава. Вся конструкция массой не более 25 кг, чтобы смещение центра тяжести было не более 1,5 %. Конструкция нужна для того, чтобы при работе у приборов оставались минимальные слепые зоны, но приподняв отвал обзор все же будет перекрыт. Поэтому следует установить вперед еще один блок, состоящий из лидара и камеры, которые изображены под цифрой 5 и 6. Благодаря лидарам бульдозер сможет измерять расстояние до объектов с точностью до сантиметра. В свою очередь камеры смогут давать картинку происходящего вокруг, и даже транслировать это на пульт к машинисту бульдозера. В совокупности эти два устройства смогут дополнять друг друга, что даст хороший результат. Лидары посылают лазерные импульсы, засекая время его возвращения, после чего вычисляют расстояние по задержке. Камера же в свою очередь может прочесть надписи, различать цвета, транслировать или вести запись работы бульдозера. Вся считанная информация будет передаваться в отдельный блок (персональный компьютер), находящийся в кабине машиниста бульдозера. Он будет связан с элементами управления бульдозером, то есть электро-дросселем, тормозом и поворотными механизмами. При приближении объекта на небезопасное расстояние, провоцирующего нарушение технологических операций (человека, животного, объекта не целевой инфраструктуры), работа бульдозера будет автоматически останавливаться.

Вывод.

Работа машиниста бульдозера связана с высокой ответственностью и психофизиологической нагрузкой. Предлагаемое решение может быть адаптировано для множества марок бульдозеров различного класса без замены гидравлической системы, с затратами на модернизацию 1,2–1,8 млн руб. и относительно небольшим сроком окупаемости. Внедрение системы машинного зрения на базе 6 лидаров и камер позволяет автоматизировать до 85 % циклических операций, снизить влияние человеческого фактора в 3 раза, повысить безопасность и обеспечить круглосуточное выполнение работ в карьерах и на перегонах в ночную смену. Комбинация сенсоров сокращает долю нераспознанных препятствий до 1,5 % и обеспечивает точность позиционирования отвала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Печенкина, Ю. А. Анализ информационных потоков как метод развития цифровых технологий при эксплуатации грузовых вагонов / Ю. А. Печенкина, А. В. Жебанов // Материалы докладов всероссийской научно-практической конференции им. Я.В. Мильмана : Материалы конференции, Москва, 18 декабря 2025 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2026. – С. 12-17.
- 2 Воеводина, С. П. Применение инструментов бережливого производства для оптимизации процесса капитального ремонта колесных пар в цехе ВРЗ / С. П. Воеводина, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 1. – С. 28-31. – EDN BLLNHD/
- 3 Печенкина, Ю. А. Формирование базы данных с целью создания цифрового двойника грузового вагона при его эксплуатации / Ю. А. Печенкина, А. В. Жебанов // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 519-521. – EDN LHGTPQ.
- 4 Манукян, Р. Л. Машинное зрение. Основные компоненты машинного зрения / Р. Л. Манукян, И. В. Петрашин // СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ И ИННОВАЦИИ : сборник статей VII Международной научно-практической конференции : в 4 ч., Пенза, 05 июня 2019 года. Том Часть 2. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. – С. 295-297. – EDN HEJCRG.
- 5 Патент № 2596062 С1 Российская Федерация, МПК G06T 1/00, G06T 5/50, H04N 5/00. Способ коррекции изображения глаз с использованием машинного обучения и способ машинного обучения : № 2015109868/14 : заявл. 20.03.2015: опубл. 27.08.2016 / Д. С. Кононенко, В. С. Лемпицкий ; заявитель Автономная некоммерческая образовательная организация высшего профессионального образования "сколковский институт науки и технологий". – EDN ZTDWYF.
- 6 Рошин, Д. А. Применение системы машинного зрения для контроля пространственного положения строительной техники / Д. А. Рошин // Измерительная техника. – 2022. – № 3. – С. 29-35. – DOI 10.32446/0368-1025it.2022-3-29-35. – EDN JZXKBN.
- 7 Абдуллина, Н. М. Применение методов компьютерного зрения при анализе видеоданных с дорожно-строительной техники / Н. М. Абдуллина // Научные перспективы XXI века : Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, 19 мая 2020 года / под общей редакцией А.И. Вострцова. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострцов Александр Ильич), 2020. – С. 24-26. – EDN ASSGIA.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПОЧНОГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ

Г. Ю. Ефремов¹, Г. Г. Киселев²

Введение. Текущий отцепочный ремонт грузовых вагонов является важным элементом, обеспечивающим их работоспособность, безопасность и эффективное функционирование. Основная его функция заключается в обнаружении и ликвидации технических неполадок, способных нарушить бесперебойное функционирование подвижной единицы в грузовом поезде [1].

Устранение повреждений грузовых вагонов в ТОР направлено на поддержание его работоспособности на уровне, отвечающем установленным стандартам. В процессе ремонта специалисты осуществляют диагностику ключевых узлов и систем, устраняют обнаруженные неисправности, заменяют пришедшие в негодность компоненты, восстанавливают поврежденные части. В результате ремонт обеспечивает сопоставимость подвижной единицы современным технологическим нормам и правилам безопасности, увеличивает его безаварийность и продлевает длительность эксплуатации [2].

В рамках проводимых работ по отцепочному ремонту квалифицированные работники осуществляют комплекс мероприятий, таких как:

- проверяется состояние рамы и кузова на наличие деформаций и коррозии. при обнаружении повреждений проводятся сварочные и ремонтные операции по

¹ Ефремов Георгий Юрьевич – студент группы ПСЖД-12, ИТСПС

² Киселев Геннадий Геннадьевич – к.т.н., доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

восстановлению целостности;

- проверка тележек включает в себя осмотр боковых рам, надрессорной балки, рессорной системы, буксовых узлов и подшипников на предмет износа и работоспособности;
- во время технического осмотра колесных пар оценивается состояние поверхности катания, степень износа гребней и наличие дефектов, таких как выщербины или трещины;
- техническое обслуживание тормозов включает в себя регулировку, замену фрикционных накладок, а также диагностику и ремонт пневматической системы, отвечающей за торможение;
- проводится визуальный осмотр автосцепки с целью выявления и устранения дефектов, таких как нарушение целостности, вмятины и износ, а также проверки ее функциональности и общей исправности.

Характер и масштаб проводимых работ определяются выявленными поломками и могут быть изменены на основании диагностических данных.

Регулярное выполнение ремонтных и профилактических мероприятий значительно снижает вероятность аварий и увеличивает срок эксплуатации грузового вагонного парка.

По прошествии двух десятилетий произошли существенные трансформации в сфере технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на ПТО эксплуатационных вагонных депо. Сегодня наблюдается тенденция широкого внедрения инновационных высокотехнологических решений в сфере эксплуатации грузовых вагонов. Особое внимание уделяется системам диагностики, функционирующим в процессе движения поезда. Тем не менее, на участках ТОР по ремонту грузовых вагонов не внедряются передовые технологии, хотя в этой сфере за последние годы накопилось немало сложностей [3].

Основная часть. Каждый год на ремонтные позиции в ТОР поступает приблизительно 1,3 миллиона единиц подвижного состава. Такой объем работ сохраняется на протяжении последних нескольких лет. Чаще всего отцепляются грузовые вагоны по причинам неисправностей, возникающих в ходовых частях, автотормозного оборудования, кузова, автосцепки и буксовых узлов.

Согласно статистическим данным, основную часть отказов составляют дефекты и неисправности, связанные с состоянием колесных пар [4]. В их число входят минимальная толщина гребня, выщербины обода колеса, раковины, прокат выше нормы, ползуны и остроконечный накат (рис. 1).

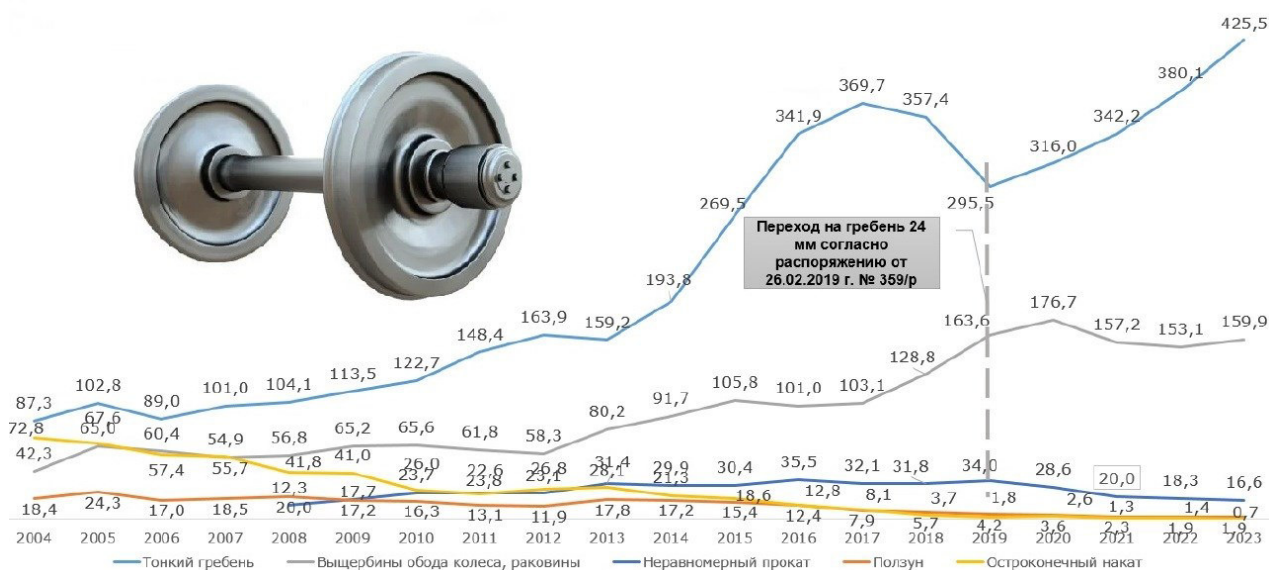


Рис. 1. Динамика отцепок (тыс. ед.) в ТР-2 вагонов РФ по наиболее массовым видам неисправностей колесных пар с 2004 г

Задача заключается в совершенствовании функционирования ремонтного комплекса. Для этого планируется повысить его эффективность, сократить время и трудозатраты на проведение ремонтных работ, а также расширить перечень предоставляемых услуг. С целью минимизировать простои подвижного состава на путях текущего отцепочного ремонта и оперативно устранять дефекты колесных дисков вагонов, предлагается применение мобильного колесотокарного станка для их восстановления. Данное оборудование предназначено для использования в полевых условиях на путях участка ТОР без выкатки колесных пар из-под вагонов. В полном комплекте, включая привод, станок компактно размещается на подвижной платформе облегчающей его транспортировку к месту установки. Его монтаж не требует возведения постаментов или фундамента, достаточно просто установить его на железнодорожном пути прямо на рельсы, используя прижимы, распорные стойки и штанги.

Мобильный колесотокарный станок с числовым программным управлением практически отличается своей многофункциональностью и адаптивностью к различным задачам. К тому же, его освоение доступно практически любому работнику, даже без специальных токарных навыков, например, слесарю, обслуживающему подвижной состав. Позиционирование режущего инструмента можно установить в исходное положение вручную или воспользоваться автоматической функцией профилирования. ЧПУ-система осуществляет постоянный контроль и корректировку траектории режущего инструмента. Данные для формирования электронного профиля колеса подгружаются из управляющего модуля. Автоматическая обработка колес выполняется двумя сервоприводами. Роликовый привод, не связанный с системой, обеспечивает вращение колеса [5].

Для установки мобильного колесотокарного станка на железнодорожные пути требуется участие двух работников. По окончании завершения всех подготовительных работ, операция по обработке колесной пары будет осуществляться одним специалистом.

Мобильный колесотокарный станок функционирует по такому принципу: с помощью гидравлических домкратов колесная пара поднимается над рельсовым основанием примерно на два сантиметра. Станок крепят к головкам рельс с помощью опор, которые надежно фиксируются на них (рис. 2).

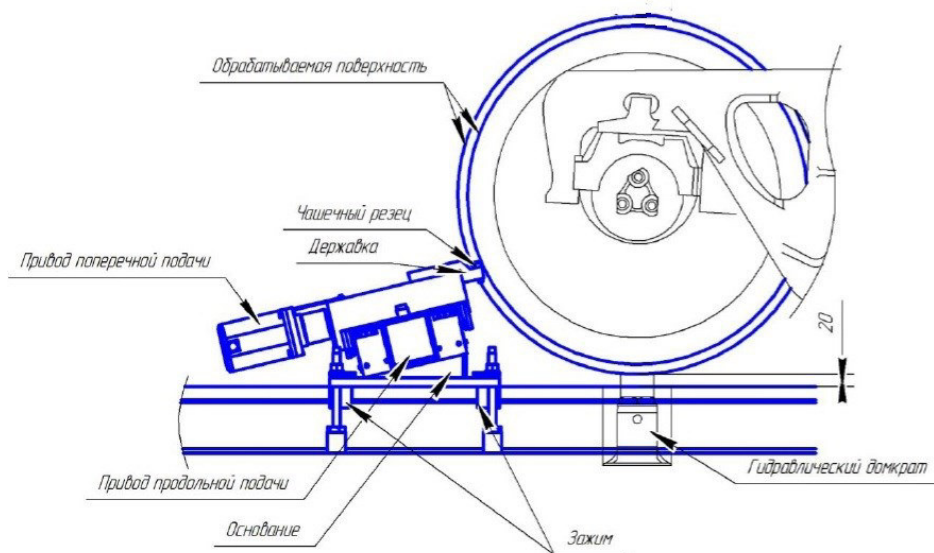


Рис. 2. Технология обточки колеса грузового вагона

Следующим этапом является измерение требуемых параметров колесной пары, полученные данные передаются в модуль управления. На основе этого подбираются оптимальные параметры: профиль, программа обработки и количество обточек для каждой поверхности колеса. Затем активируется программируемое размещение и автоматическая настройка начальной позиции режущего инструмента. После чего запускается автоматический режим обработки по заданной программе, в результате чего формируется нужный профиль - обточка завершена.

Внедрение мобильного колесотокарного станка в текущий отцепочный ремонт даст возможность оптимизировать процесс обточки диска колеса. Такой подход способствует существенному снижению расходов, трудоемкости и времени, которые необходимы для обточки, что в свою очередь положительно скажется на безопасности железнодорожного транспорта за счет повышения качества и оперативности обслуживания вагонных колес.

Сохранность и работоспособность вагонного парка во время эксплуатации имеют первостепенное значение, поскольку это напрямую влияет на целостность грузового поезда и безопасность железнодорожного транспорта. Безопасное передвижение грузовых составов по железным дорогам напрямую зависит от качества проводимых технического обслуживания и ремонтных работ. Проведение технического обслуживания грузовых единиц подвижного состава в парках ПТО, приводящих к отправке вагонов на ремонт, должно осуществляться с соблюдением всех правил, объективно и на основании действующих нормативных правовых актов. Главная задача ТО и ТР заключается в обнаружении любых технических проблем вагонов, чтобы гарантировать безопасность перевозок по железной дороге. Кроме того, планируется улучшить качество восстановления поверхности катания и гребня колесных пар вагонов.

Заключение. Применение портативного колесотокарного станка с целью предотвращения проблем с колесными парами в состоянии революционизировать техобслуживание и текущий ремонт вагонов. Такая практика разрешит значительно уменьшить время, затрачиваемое на ремонт, форсировать вагонооборот к тому же сократит напряженность на железнодорожной инфраструктуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Захарова, Ю. П. Прогрессивная концепция организации оптимальной работы участка текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов / Ю. П. Захарова, Г. Г. Киселев // Техника и технологии наземного транспорта: Материалы международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 15 декабря 2021 года. – Нижний Новгород: филиал СамГУПС в г. Нижнем Новгороде, 2022. – С. 162-168. – EDN OTNAHQ.
- 2 Киселев, Г. Г. Применение системы видеоаналитики в условиях текущего отцепочного ремонта / Г. Г. Киселев // Наука и образование: достижения и перспективы: Материалы IX Международной научно-практической конференции, Саратов, 19 декабря 2024 года. – Самара - Саратов: ООО "Амирит", Приволжский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 44-48. – EDN BVKFMO.
- 3 Киселев, Г. Г. Система видеоаналитики на участках текущего отцепочного ремонта / Г. Г. Киселев // 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. 17-18. – EDN WOYUTO.
- 4 Волокитин, И.А. Анализ отцепок грузовых вагонов на сети железных дорог. ПКБ ЦВ. 20.02.2024 г.
- 5 Мобильный колёсотокарный станок с ЧПУ без выкатки «КНТ-02-АС» [Электронный ресурс]. – URL: <https://npo-kvant.ru/knt> (дата обращения: 18.03.2026)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ВАГОНРЕМОНТНОГО ДЕПО КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Т. П. Осипова¹, А. Н. Шмойлов²

Введение. Транспортная система Российской Федерации является ключевым звеном экономики, а грузовые перевозки железнодорожным транспортом занимают в ней доминирующее положение [1]. Эффективность этой системы напрямую зависит от технического состояния подвижного состава. Эксплуатация грузовых вагонов в сложных условиях повышенных нагрузок и интенсивных графиков движения неизбежно ведет к износу узлов и деталей, что требует своевременного и высококачественного ремонта.

Вагоноремонтные депо сегодня выполняют стратегическую задачу по поддержанию парка вагонов в работоспособном состоянии. Однако, в условиях старения основных фондов, роста стоимости запасных частей и ужесточения требований безопасности движения, традиционные методы ремонта часто не обеспечивают должного уровня качества. Основной проблемой является не столько нехватка ресурсов, сколько несовершенство самих производственных процессов – наличие узких мест, избыточных операций, нерациональной логистики внутри депо и высоких временных затрат [2].

В связи с этим, актуальность темы исследования определяется необходимостью поиска внутренних резервов для повышения качества ремонта грузовых вагонов без привлечения существенных капитальных вложений. Оптимизация производственных процессов выступает в данном случае не просто как инструмент снижения издержек, а как ключевой фактор, позволяющий стандартизировать операции, исключить влияние человеческого фактора и обеспечить стабильно высокое качество на каждом этапе ремонта.

Основная часть. Вагоноремонтное производство играет важную роль в железнодорожной деятельности, поскольку его главной целью является восстановление работоспособности подвижного состава, устранение отказов и неисправностей, возникших в процессе эксплуатации. Эффективность работы предприятия зависит от производственных цехов, но ключевой фактор ритмичности и качества ремонта – бесперебойное и точное обеспечение слесарей инструментом и запасными частями. Практика показывает: основные потери времени и снижение качества связаны с несовершенством учёта и выдачи – длительный поиск на складе, ошибки в остатках, неконтролируемая выдача, отсутствие оперативной информации об износе деталей. Актуальность совершенствования вагоноремонтного производства обусловлена необходимостью внедрения современных систем управления запасами и учёта во все технологические цепочки – от кладовой до постаumenta у ремонтной позиции. Традиционные бумажные журналы и ручная фиксация приводят к дублированию заявок, неверному списанию, недостатке оборудования и простоям вагонов.

Внедрение автоматизированных систем учёта (штрихкодирование, RFID, электронные ведомости), а также создание упорядоченных кладовых с адресным хранением и нормированием запасов позволяют оптимизировать выдачу и возврат инструмента, минимизировать человеческий фактор и повысить производительность ремонтников. Таким образом, совершенствование операций учёта и выдачи – одно из наиболее эффективных направлений повышения эффективности депо, снижения простоев и улучшения качества восстановления вагонов. Актуальность этого подтверждается внедрением современных систем и технологий во все цепочки и отделения депо, что позволяет оптимизировать работу.

Предлагается автоматизированное средство хранения и выдачи запчастей и инструментов, оптимизирующее учёт, контроль и доступ к деталям, повышая эффективность вагоноборочного участка [3]. Разместить его предлагается в ремонтно-комплектующем участке вагоноборочного цеха депо. Рассмотрены схема накопителя стеллаж-контейнеров и структура вычислительной ячейки промышленных контроллеров. Технически накопитель «стеллаж-контейнер» –

¹ Осипова Татьяна Павловна – студентка группы ПСЖД-32, ИТСПС

² Шмойлов Андрей Николаевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

модульная конструкция с фиксированным адресом каждой ячейки (ряд, секция, полка), что обеспечивает адресное хранение: каждой номенклатуре запчастей (болты, гайки, тормозные колодки, пружины, подшипники) и типу инструмента (ключи, головки, съёмники) присваивается конкретная ячейка. Накопитель оснащён датчиками присутствия (оптическими или ёмкостными) и системой световой индикации (светодиоды или лазер) для направления оператора [4, 5]. Вторая часть – вычислительная ячейка промышленных контроллеров – управляющий «мозг» системы. Основа – программируемый логический контроллер реального времени. Она включает: модуль ввода/вывода для датчиков открытия, наличия деталей и концевиков; модуль связи с АСУ депо и дефектационной ведомостью; блок идентификации (RFID или штрихкод); а также сенсорную панель оператора с защитой IP54.

Алгоритм работы: слесарь авторизуется по RFID или коду, выбирает деталь на панели устройства. Контроллер проверяет остаток, синхронизируясь с базой депо, и включает световую индикацию нужной ячейки. Автоматизированное средство хранения и выдачи запчастей и инструмента предлагается дополнительно оснастить устройством с голосовым управлением и фиксации запросов на выдачу запасных частей и инструмента. Структурная схема предлагаемой компоновки представлена на рисунке 1.

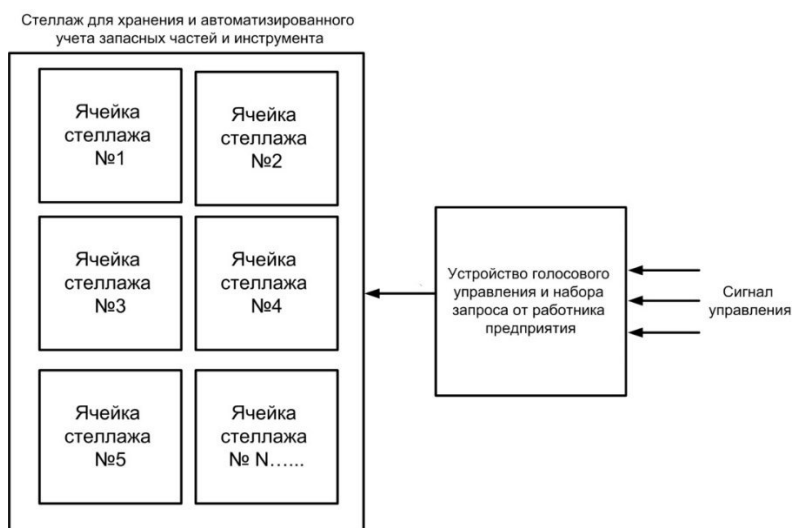


Рис. 1. Структурная схема компоновки автоматизированного стеллажа и устройства голосового управления

Предлагается произвести монтаж устройства голосового управления в шкаф управления автоматизированного стеллажа. Электрическое соединение с внутренней системой управления стеллажом осуществляется через аналогово-цифровые преобразователи и усилители. Итоговое устройство будет представлять собой полностью автоматизированный стеллаж. Работник вагоноремонтного предприятия получит передовое устройство, которое позволит производить операции по выдаче необходимого инструмента по голосовому запросу. Дополнительно устройство будет сигнализировать по мере уменьшения количества запасных частей, которые хранятся в ячейках данного стеллажа. Наличие остатков запасных частей будет контролироваться автоматически, с помощью весовых тензодатчиков перспективной конструкции. Данные датчики будут преобразовывать деформацию упругого элемента на полу каждой ячейки стеллажа в изменение электрического сопротивления системы измерения веса и по заложенным алгоритмам (вес каждой детали) будет рассчитываться наличие и остаток изделий и запасных частей в ячейках стеллажа. Данная система измерения веса и количества деталей будет интегрирована в систему управления предлагаемым автоматизированным стеллажом.

Заключение

В заключении важно отметить следующее: бесперебойное и точное обеспечение слесарей инструментом и запасными частями в вагоноремонтном депо является ключевым фактором повышения эффективности и качества ремонтных операций. Размещение автоматизированного стеллажа для хранения и выдачи запчастей и инструментов оптимизирует учёт, контроль и доступ к деталям, повысит эффективность вагонооборотного участка вагоноремонтного депо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Уникаев Н.В., Власенко М.Н., Шедько Ю.Н. Совершенствование управления региональными транспортными системами Российской Федерации в условиях цифровой трансформации // Фундаментальные исследования. – 2022. – № 8. – С. 137–141. – EDN: FIETNG.
- 2 Смольянинов А. В., Кармацкий В. Ф., Соломенников А. А. Анализ текущего состояния, проблемы и перспективы вагоноремонтного производства в Уральском федеральном округе // Инновационный транспорт. – 2020. – № 4 (38). – С. 37–43. – EDN: VIVSDB.
- 3 Шмойлов А. Н., Владимиров А. Н. Автоматизированное техническое устройство хранения и выдачи запасных частей и инструмента на вагоноремонтных предприятиях // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1 (115). – С. 69–74. – EDN: NMHVOG.
- 4 Гайдаренко, А. С. Изучение технических решений в области разработки автоматизированных стеллажей с электронным табло / А. С. Гайдаренко ; научный руководитель А. А. Банников // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2021: Сборник материалов конференции : в 2 томах; составитель Ю. С. Кузнецова. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2021. – Т. 2. – С. 118–123. – EDN ZZMYLG.
- 5 Мищенко, Е. В. Автоматизированные складские системы: оптимизация логистических процессов с помощью современных технологий / Е. В. Мищенко, И. М. Толмачев // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК : сборник материалов международной научно-технической конференции, Брянск, 16–17 мая 2024 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2024. – С. 283–288. – EDN UBXZIA.

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И КОММЕРЧЕСКОГО ОСМОТРА ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА СТАНЦИЯХ

Т. П. Осипова¹, Г. Г. Киселев²

Введение. Одним из ключевых направлений развития ОАО «РЖД» выступает совершенствование эффективности работы железнодорожной сети, что обусловлено ростом грузопотоков. Для достижения этой цели компания уделяет особое внимание увеличению пропускной способности станций и оптимизации движения вагонов, что в конечном итоге позволит сократить сроки транспортировки грузов. Эффективное функционирование российской железнодорожной сети, благодаря ее обширным протяженностям, имеет важное значение в оптимизации логистических ресурсов. Это позволяет сократить временные и финансовые затраты, в результате чего повышается общая эффективность транспортной системы.

Проверка состояния подвижного состава является основным элементом обеспечения безопасности транспортных перевозок. Чтобы гарантировать необходимый уровень безопасности работы грузовых вагонов, нужно создать единую цифровую платформу с инновационными функциями. Эта система должна обеспечивать постоянный оперативный мониторинг состояния всех частей и элементов вагонов, что позволит минимизировать риски на железнодорожном транспорте [1].

Цифровые преобразования в вагонном хозяйстве РЖД необходимо реализовать, прежде всего, путем внедрения цифровых технологий в процесс обслуживания грузовых вагонов,

¹ Осипова Татьяна Павловна – студентка группы ПСЖД-32, ИТСПС

² Киселев Геннадий Геннадьевич – к.т.н., доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

обеспечивая его техническую исправность [2]. Одним из ключевых моментов является своевременная диагностика неполадок на начальной стадии их возникновения.

Диджитализация технологических и коммерческих процессов, реализованная в единую цифровую систему, должна стать ключевым фактором, повышающим конкурентные преимущества железнодорожного транспорта в сфере грузоперевозок и увеличивающим эффективность этого критически важного направления деятельности [3].

Основная часть. Вагонное хозяйство играет ключевую роль в железнодорожной отрасли, отвечая за безопасность эксплуатации, целостность подвижного состава, техническое обслуживание подвижного состава и их надлежащее функционирование.

Вагон или груз признаются коммерчески неисправными, если их техническое состояние создает риск для безопасности поезда или порчи перевозимых грузов. Обязательные к исправлению коммерческие дефекты, влияющие на эксплуатацию, детально прописаны в регламенте осмотра подвижного состава. Чтобы обнаружить и ликвидировать коммерческие дефекты на железнодорожных станциях, создаются пункты, где проводят осмотр составов и вагонов. На данный момент в рамках технологии «Цифровой приемосдатчик» реализуется процесс осмотра вагонов с помощью фотофиксации и видеозаписей, дополненный применением корпоративной системы eXpress для оперативного обмена информацией.

В целях оценки надежности фиксации грузов на полувагонах и платформах, а также для диагностики состояния крыши подвижного состава различного типа (контейнеры, цементовозы, крытые вагоны, цистерны), можно задействовать системы видеонаблюдения, оснащенные функцией видеозаписи [4]. Современные железнодорожные станции оснащаются автоматизированной системой коммерческого контроля подвижного состава (АСКО ПВ 3D). Эта система включает в себя системы видеофиксации, электронные габаритные ворота, рабочее место оператора, а также вагонные электронные весы. Реализация инновационных технологий 3D-сканирования дает возможность создавать объемные цифровые модели грузовых вагонов и грузов. Применение данной модели позволяет с высокой точностью определять отклонения в габаритах подвижного состава и грузов, что существенно облегчает выявление проблем, связанных с коммерческой и технической эксплуатацией, способных нанести ущерб безопасности перевозок и целостности грузов.

На сортировочных станциях, на подходах к которым установлены посты ППСС возможно организовать комплексные проверки подвижного состава, объединяющих коммерческий и технический осмотры. В этом случае в коммерческий осмотр могут быть вовлечены осмотрщики-ремонтники грузовых вагонов, прошедшие специальную подготовку. Пост ППСС оборудован широким набором различной аппаратуры и датчиками с целью мониторинга, а также контроля подвижного состава на ходу поезда для сбора данных о состоянии вагонов. К ним относятся лазерные, тепловизионные и инфракрасные модули, тензодатчики, системы с техническим зрением и др. По завершении проезда грузового поезда через пост ППСС система создает трехмерную модель каждого вагона. Информация о вагонах, прошедших через системы поста, собирается на централизованной платформе. Эта платформа дает возможность отслеживать весь жизненный цикл вагонов и предсказывать вероятность возникновения дефектов.

Технология комбинированного обслуживания предполагает, что техническое обслуживание и коммерческий осмотр подвижного состава осуществляются в приемоотправочных парках на станциях осмотрщиками-ремонтниками вагонов. Визуальный осмотр по проходу вдоль состава позволяет выявить дефекты, способные стать причиной его схода и повреждения груза. Проведение проверки осуществляется двумя группами с двух сторон правой и с левой стороны одновременно, одна из которых движется с хвостовой части состава, а другая - с головной [5].

Вследствие технического осмотра осмотрщики-ремонтники вагонов обращают первоочередное внимание на состояние нижней ходовой его части, а также могут выполнять незначительные ремонтные работы без отцепки вагона от состава. Если осмотрщик-ремонтник вагонов находит более серьезные повреждения и дефекты, то такой вагон отцепляется от состава и направляется на пути ТОР в ремонтный цех для разборки и восстановления. Вследствие коммерческого осмотра необходимо тщательно проверить состояние вагонов в коммерческом

плане, наличие ЗПУ, убедившись в их целостности и соответствие номеров указанным в сопроводительной документации. Если выявляются вагоны с коммерческими повреждениями, которые могут поставить под угрозу безопасность доставки и целостность груза, оформляется акт ГУ-23 с фиксацией в единой структуре документации.

В целях оптимизации комбинированного технического и коммерческого осмотра подвижного состава железных дорог на станциях было разработано мобильное контрольно-диагностическое устройство. Оно оснащено телескопической видеосистемой для осмотра вагонов и комплектом интеллектуальных технологий, включающих искусственный интеллект и лазерные измерительные инструменты [6, 7].

Контрольно-диагностическое устройство, сочетающее в себе функции видеозаписи и измерений, монтируется на телескопическом держателе и взаимодействует с жидкокристаллическим дисплеем посредством программного обеспечения. Данное устройство предназначено для контроля состояния порожнякового вагона вследствие чистки для выявления следов оставшегося груза и при загрузке для проверки надежности и правильности укладки грузовых единиц внутри вагона.

Применение лазерных измерительных систем и фотофиксации в устройстве, позволяет измерять и фиксировать геометрические характеристики колесных пар и элементов вагона. Использование интеллектуальных систем видеонаблюдения, дополненных лазерными измерительными приборами, дает возможность не только идентифицировать наличие остатков груза в вагоне, но и точно измерить размеры и характеристики используемых для крепления груза приспособлений.

Система видеофиксации, включающая в себя как аппаратное, так и программное обеспечение, обеспечивает передачу видеоизображения на дисплей устройства, с возможностью передачи данных на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора ПТО [8]. Это дистанционное наблюдение эффективно разрешает одну из главных задач – исключает необходимость подъема персонала на высоту для осмотра вагона. С помощью шарнирного крепления и управления угловым перемещением, система видеонаблюдения позволяет интенсифицировать обзор камер.

Заключение. В ходе рассмотрения возможности комбинированного проведения коммерческого и технического осмотров вагонов было выявлено, что совмещение допустимо при реализации схожих задач (например, прохождение по вагону, проверка кузова). Однако, для успешной реализации такого подхода необходимо обучить персонал. Внедрение контрольно-диагностического устройства с фото и видеофиксацией позволит исключить потребность проведения обучения персонала осмотрщиков-ремонтников вагонов в рамках программы, посвященной безопасному выполнению работ на высоте, при проведении коммерческих осмотров вагонов. Объединение должностей на железной дороге приведет к снижению расходов, не влияя при этом на объем и уровень качества оказываемых услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чапарин, В. К. Предиктивный анализ технического состояния грузовых вагонов за счет внедрения средств диагностики подвижного состава на ходу поезда / В. К. Чапарин, Г. Г. Киселев // Наука и образование: достижения и перспективы : Материалы X Международной научно-практической конференции, Саратов, 29 мая 2025 года. – Самара - Саратов: ООО "Амирит", Приволжский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 36-42. – EDN YDBSYD.
- 2 Внедрение цифровых технологий в процесс обработки подвижного состава на пункте технической передачи (ПТП) / А. А. Ключко, И. В. Чепурченко, С. В. Коркина, Г. Г. Киселев // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 4(112). – С. 19-24. – EDN KIMXSY.
- 3 Киселев, Г. Г. Цифровизация для повышения надежности грузовых вагонов: от отслеживания состояния до прогнозирования отказов / Г. Г. Киселев, А. Ю. Астраханский // Транспортное дело России. – 2026. – № 2. – С. 108-111. – EDN ZEOOIW.
- 4 Киселев, Г. Г. Особенности применения средств видеоаналитики на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта / Г. Г. Киселев, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 55-59. – EDN UQOEXG.
- 5 Киселев, Г. Г. Интегрированный подход к техническому обслуживанию и коммерческому осмотру грузовых поездов на станциях / Г. Г. Киселев, Н. А. Глухова // Транспортное дело России. – 2025. – № 7. – С. 159-162. – EDN IWNOPG.

- 6 Киселев, Г. Г. Обеспечение транспортной безопасности на пунктах технического обслуживания эксплуатационного вагонного депо / Г. Г. Киселев // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 5(113). – С. 21-27. – EDN RTBXSM.
- 7 Патент на полезную модель № 221093 U1 Российская Федерация, МПК B61K 13/00, B61K 9/12, G02B 23/26. Контрольно-диагностическое устройство для осмотра подвижного состава: № 2023123536: заявл. 12.09.2023; опубл. 18.10.2023 / Г. Г. Киселев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Самарский государственный университет путей сообщения. – EDN XNDVRD.
- 8 Киселев, Г. Г. Реализация единой системы проведения совмещенного технического обслуживания и коммерческого осмотра грузовых вагонов на производственном участке ПТО / Г. Г. Киселев, Н. А. Глухова // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 45-47. – EDN DNBHTY.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ПТП

Ю. А. Печенкина¹, С. В. Коркина²

Введение. В настоящее время предприятия железнодорожного транспорта активно внедряют в свою работу новые средства цифровой трансформации, разрабатывают инновационные диагностические устройства, которые работают на основе «умных» камер технического зрения и искусственного интеллекта [1]. К примеру, в области вагонного хозяйства уже активно применяются такие системы, как интегрированный пост автоматизированного приёма и диагностики подвижного состава (ППСС), комплекс технических измерений геометрических параметров колёсных пар вагонов (КТИ), программно-аппаратный комплекс «ПАУК» и другие. Одна из целей применения инновационных систем при эксплуатации и ремонте подвижного состава – это создание цифрового двойника вагона, который позволит собирать информацию о его текущем состоянии, автоматически их анализировать и прогнозировать возможные будущие перемены в режиме реального времени [2, 3]. Назначение каждой из перечисленных систем напрямую соответствует целям Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года, утвержденной в 2008 году. В ней поставлены задачи, направленные на повышение качества и безопасности перевозочного процесса. Одним из ключевых предприятий, от которого напрямую зависит уровень безопасности движения, является пункт технической передачи вагонов (ПТП), который представляет собой подразделение вагонного эксплуатационного депо (ВЧДЭ). На ПТП выполняются работы, связанные с приёмом, осмотром и передачей вагонов перед и после погрузочно-разгрузочных операций. От качества осмотра и технического обслуживания вагонов на ПТП напрямую зависит, будет ли на инфраструктуру общего пользования передаваться исправный подвижной состав [4-6].

Основная часть. ПТП, как правило, располагаются на станциях примыкания к путям необщего пользования, находящихся в собственности частных предприятий, на территории которых происходят погрузка и выгрузка грузовых вагонов. На пункте производятся следующие операции:

- прием вагонов после выгрузки и погрузки;
- технический и коммерческий осмотр подвижного состава;
- устранение некоторых неисправностей;
- передача вагонов на инфраструктуру общего пользования.

В результате анализа производственных процессов выявлено несколько недостатков в текущей организации работы ПТП. Среди них можно выделить высокую долю ручного труда, воздействие человеческого фактора, отсутствие автоматизации учета полученной

¹ Печенкина Юлия Алексеевна – студент группы ПСЖД-12, ИТСПС

² Коркина Светлана Владимировна – к.т.н., заведующая кафедрой «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы

информации. В совокупности эти и другие обстоятельства могут привести к пропуску неисправностей и последующему допуску на инфраструктуру общего пользования вагонов с дефектами.

Решением указанной проблемы может выступить внедрение системы контроля состояния подвижного состава на ПТП (КПТП), которая в данный момент находится на этапе испытаний на полигоне одной из железных дорог ОАО «РЖД».

КПТП представляет собой комплекс технических средств, состоящий из двух типов оборудования: напольное и постовое.

К напольному оборудованию относятся подсистемы лазерного контроля, распознавания инвентарных номеров вагонов, автоматизированного контроля технических характеристик, сохранности элементов, веса и динамических нагрузок. Они располагаются непосредственно вдоль железнодорожного станционного пути и собирают информацию о дефектах и нарушениях [5, 6].

К постовому оборудованию относятся автоматизированное рабочее место оператора ПТП (АРМ КПТП), интегрирующий модуль обработки и хранения информации (ИМОХИ КПТП) и единый модуль организационного взаимодействия (ЕМОИВ КПТП). Они расположены в закрытом помещении и предназначены для систематизации полученных данных.

Структурная схема информационных потоков КПТП, отражающая взаимосвязь подсистем, приведена на рисунке [7, 8].

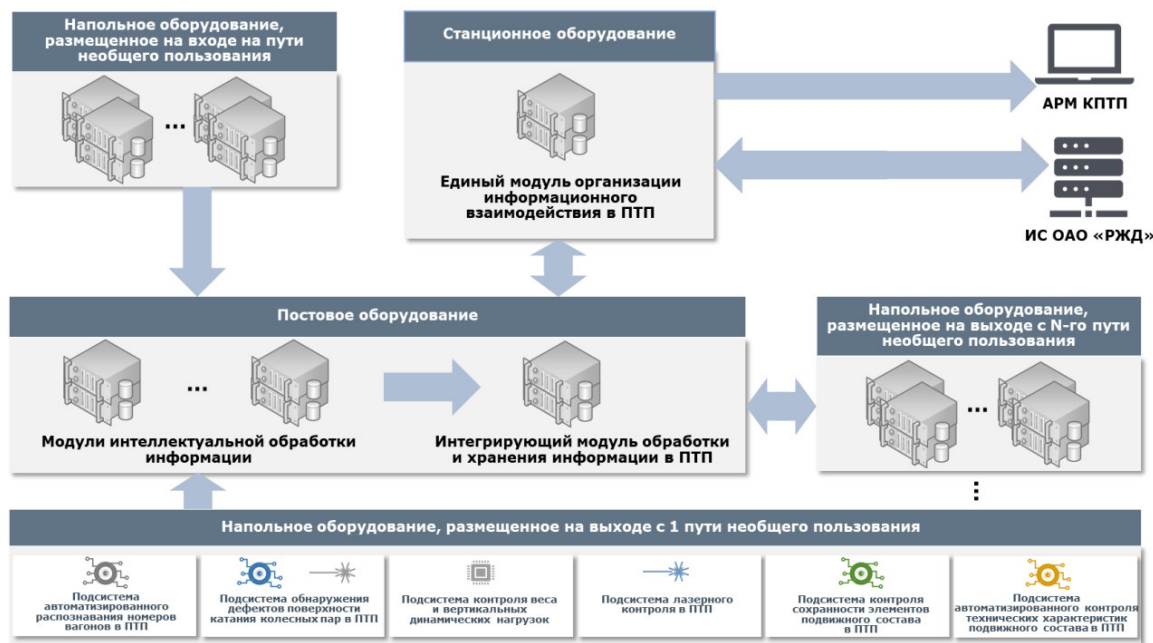


Рис. Схема информационных потоков КПТП

Внедрение КПТП в производственные процессы ПТП позволит достичь снижения трудоемкости, повышения объективности контроля и сокращения времени, затрачиваемого на оформление документов. При эксплуатации КПТП значительно сократится риск допуска на инфраструктуру общего пользования неисправных вагонов. В перспективе КПТП позволит вывести осмотрщиков-ремонтников вагонов из парка и сменить профиль их деятельности на выполнение более сложных задач.

Заключение. Разработка и внедрение в эксплуатацию КПТП является перспективным решением, напрямую соответствующим направлению развития холдинга ОАО «РЖД» в области цифровизации. Сочетание технологий машинного зрения, лазерного 3D-сканирования и датчиков контроля веса позволит избавиться от существующих в настоящее время недостатков в работе ПТП. Кроме того, в результате применения КПТП за счет своевременного выявления неисправностей будет обеспечен необходимый уровень безопасности движения, а также повысится пропускная способность ПТП благодаря сокращению простоев в ожидании осмотра.

В перспективе КПТП поспособствует созданию основы для формирования цифрового двойника вагона. Сбор информации о дефектах, техническом состоянии, условиях эксплуатации позволит

сформировать единую базу данных, на основе которой станет возможным внедрение предиктивной аналитики в процесс эксплуатации грузовых вагонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Киселев, Г. Г. Цифровизация для повышения надежности грузовых вагонов: от отслеживания состояния до прогнозирования отказов / Г. Г. Киселев, А. Ю. Астраханский // Транспортное дело России. – 2026. – № 2. – С. 108-111. – EDN ZEOOIW.
- 2 Батищева, О. А. Цифровые технологии при техническом обслуживании грузовых вагонов в парках ПТО / О. А. Батищева, И. В. Чепурченко, С. В. Коркина // Дни студенческой науки : Сборник материалов 49-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 05–16 апреля 2022 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 107-110. – EDN UKBSJL.
- 3 Шпетко, А. В. Управляемость и контроль выполнения технологии за счет цифровизации вагонного хозяйства Приволжской железной дороги / А. В. Шпетко, С. В. Коркина // Техника и технологии наземного транспорта : Материалы IV Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 14 декабря 2022 года. – Нижний Новгород: Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет путей сообщения" в г. Нижнем Новгороде, 2022. – С. 385-390. – EDN WXNTSK.3. Печенкина, Ю. А. Цифровизация производственных процессов на пункте технической передачи вагонов / Ю. А. Печенкина, С. В. Коркина // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 71-73. – EDN HVCYXT.
- 4 Козеев, Я. И. К вопросу цифровизации процесса контроля технического состояния грузовых вагонов на подходе к сортировочной станции к / Я. И. Козеев, С. В. Коркина // Наука и образование транспорту. – 2024. – № 1. – С. 24-26. – EDN ITNOTN.
- 5 Внедрение цифровых технологий в процесс обработки подвижного состава на пункте технической передачи (ПТП) / А. А. Ключко, И. В. Чепурченко, С. В. Коркина, Г. Г. Киселев // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 4(112). – С. 19-24. – EDN KIMXSY.
- 6 Киселев, Г. Г. Особенности применения средств видеоаналитики на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта / Г. Г. Киселев, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 55-59. – EDN UQOEXG.
- 7 Печенкина, Ю. А. Организация работы пункта технической передачи вагонов и перспективы его развития / Ю. А. Печенкина, С. В. Коркина // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 68-70. – EDN ISNJVT.
- 8 Киселев, Г. Г. Автоматизация процедуры выявления неисправностей при техническом обслуживании подвижного состава / Г. Г. Киселев // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 49-54. – EDN TTYLJU.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ю. А. Печенкина¹, С. В. Коркина²

Введение. Одной из наиболее приоритетных задач функционирования железнодорожного транспорта является обеспечение перевозочного процесса технически исправными единицами подвижного состава. Дефекты деталей и узлов грузового вагона могут появляться не только в результате износа в пути следования, но и при операциях погрузки и выгрузки. В этом случае для контроля их состояния в вагонном хозяйстве существуют специальные подразделения вагонных эксплуатационных депо (ВЧДЭ), называемые пунктами технической передачи вагонов (ПТП). Именно здесь выявляются неисправности, влияющие на безопасность движения по инфраструктуре общего пользования. ПТП обычно располагаются непосредственно на тех станциях, к которым прилегают пути, находящиеся в собственности частных предприятий, где производятся погрузочно-разгрузочные операции. На ПТП осуществляется осмотр вагонов перед проведением работ по погрузке и разгрузке и после них, мелкий ремонт и передача подвижного состава на инфраструктуру общего пользования. При выявлении

¹ Печенкина Юлия Алексеевна – студент группы ПСЖД-12, ИТСПС

² Коркина Светлана Владимировна – к.т.н., заведующий кафедрой «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы

неисправностей руководство ВЧДЭ предъявляет претензии виновнику их возникновения. Исходя из этого, ПТП является одним из критически важных звеньев в процессе эксплуатации вагонного парка. Однако, несмотря на это, на них до сих пор используется исключительно ручной труд, который приводит к пропуску некоторых неисправностей. Решением поставленной проблемы может выступить внедрение средств цифровой трансформации, работающих на основе камер технического зрения [1].

Основная часть. В настоящее время на ПТП не применяется никаких цифровых средств. Диагностика подвижного состава производится осмотрщиками-ремонтниками вагонов (ОРВ), которые обходят вагон по позициям, число которых может достигать 10 у 4-осных вагонов и 15 – у 8-осных. Вследствие этого возникают такие проблемы пропуск неисправностей вследствие усталости, человеческого фактора и субъективной оценки. Человек не всегда может заметить некоторые из труднодоступных дефектов, особенно в условиях плохой видимости. Кроме того, отсутствует автоматизированный учет выявленных неисправностей, все результаты осмотра записываются в бумажные журналы формы ВУ-14 вручную, что ограничивает возможность ведения статистики и прогнозирования возникновения отказов. В результате совокупность всех этих факторов ведет к большим временным затратам на осмотр и длительным простоям вагонов в ожидании своей очереди.

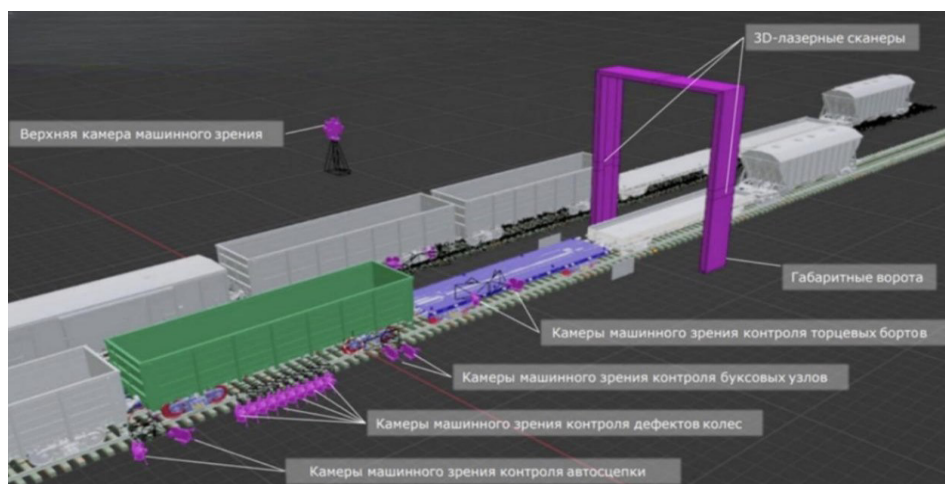


Рис. 1. 3D-модель размещения оборудования КППТ

Эти проблемы могут быть решены посредством внедрения системы контроля состояния подвижного состава на ПТП (КППТ). Она работает на основе применения камер технического зрения. На подходах к ПТП монтируется контрольная рама, определяющая выход за габариты деталей вагона или перевозимого им груза. Вдоль железнодорожного пути располагаются 3D-сканеры, «умные» камеры и тепловизоры. В совокупности все перечисленные средства позволяют получить полную картину о состоянии грузового вагона. Кроме того, помимо контроля технической исправности, система осуществляет коммерческий осмотр, включающий проверку правил закрепления груза, выхода его за пределы габарита, перегруз и т.д. [2-4].

Система также оборудована автоматизированным рабочим местом оператора (АРМ), интегрирующим модулем обработки и хранения информации (ИМОХИ), единым модулем организации информационного взаимодействия (ЕМОИВ). Эти функциональные блоки позволяют собирать анализировать и автоматически оформлять по установленным формам результаты осмотра каждого из вагонов. В последствии данная информация будет использована для формирования системы, обеспечивающей прогнозирование возникновения неисправностей на основе предиктивной аналитики.

На рисунке 1 приведена модель, отражающая размещение оборудование КППТ [5, 6].

Основная задача КППТ – обеспечить возможность выявления повреждений грузовых вагонов при участии человека или иных информационных систем.

Принцип работы заключается в автоматическом сканировании вагонов при прохождении их через зону контроля. Система в автономном режиме способна контролировать параметры вагона, число которых может достигать 120. В них входят как характерные дефекты для всех типов вагонов, так и специфичные для конкретных моделей. Результаты осмотра в автоматическом режиме на АРМ КППП, где оператор видит фотографии, 3D-модели и сигналы о неисправностях [7, 8].

Заключение. Существующая система диагностики на ПТП, выполняемая осмотрщиками-ремонтниками вагонов вручную, обладает большим рядом недостатков. В совокупности они ведут к простоям вагонов на станционных путях в ожидании осмотра. В качестве эффективного решения предлагается к внедрению система контроля состояния подвижного состава (КППП), в состав которой входит множество устройств: лазерные 3D-сканеры, тепловизоры, камеры технического зрения для диагностики неисправностей каждого из узлов. Кроме того, система оборудована интеллектуальными блоками, собирающими и анализирующими полученную информацию.

Применение КППП позволяет повысить объективность диагностики, снизить влияние человеческого фактора, сократить время осмотра и, в конечном итоге, ликвидировать неэффективные простои. Кроме того, в результате создается основа для формирования системы, прогнозирующей отказы на основе применения предиктивной аналитики.

Таким образом, КППП является перспективной разработкой в направлении цифровой трансформации вагонного хозяйства, которая позволит повысить безопасность движения и эффективность эксплуатации грузового парка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Заякин, А. И. Назначение пунктов технического обслуживания вагонов в эксплуатационном депо / А. И. Заякин // Актуальные аспекты развития железнодорожной транспортной отрасли: Сборник статей студенческой конференции, Воронеж, 06 декабря 2024 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 102-105. – EDN NHDRZH.
- 2 Сустаев, А. В. Информатизация технологических процессов ПТО с целью обеспечения общей эффективности и качества выполнения технического обслуживания грузовых вагонов / А. В. Сустаев, С. В. Коркина // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : Материалы Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 07 апреля 2022 года. – Нижний Новгород: Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Самарский государственный университет путей сообщения" в г. Нижнем Новгороде, 2022. – С. 49-53. – EDN OCBCMO.
- 3 Печенкина, Ю. А. Цифровизация производственных процессов на пункте технической передачи вагонов / Ю. А. Печенкина, С. В. Коркина // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 71-73. – EDN HVCYXT.
- 4 Внедрение цифровых технологий в процесс обработки подвижного состава на пункте технической передачи (ПТП) / А. А. Ключко, И. В. Чепурченко, С. В. Коркина, Г. Г. Киселев // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 4(112). – С. 19-24. – EDN KIMXSY.
- 5 Батищева, О. А. Цифровые технологии при техническом обслуживании грузовых вагонов в парках ПТО / О. А. Батищева, И. В. Чепурченко, С. В. Коркина // Дни студенческой науки : Сборник материалов 49-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 05–16 апреля 2022 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2022. – С. 107-110. – EDN UKBSJI.
- 6 Киселев, Г. Г. Особенности применения средств видеоаналитики на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта / Г. Г. Киселев, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 55-59. – EDN UQOEXG.
- 7 Печенкина, Ю. А. Организация работы пункта технической передачи вагонов и перспективы его развития / Ю. А. Печенкина, С. В. Коркина // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 68-70. – EDN ISNJVT.
- 8 Коркина, С. В. Контроль технического состояния грузовых вагонов с применением цифровых технологий / С. В. Коркина, А. В. Шпетко // Наука и образование транспорту. – 2022. – № 1. – С. 70-73. – EDN MNAEVE.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИДЕОКОНТРОЛЯ И ВИДЕОАНАЛИТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПТО

М. С. Родин¹, М. А. Паренюк²

Введение. В условиях цифровизации промышленности и транспорта особое значение приобретает внедрение интеллектуальных систем мониторинга и контроля технологических процессов. Пункты технического обслуживания (ПТО) являются ключевыми узлами, где осуществляется диагностика, ремонт и обслуживание техники. Ошибки или нарушения на этих этапах могут привести к серьёзным техническим и экономическим последствиям. В связи с этим актуальным становится применение систем видеоконтроля и видеоаналитики, позволяющих автоматизировать контроль, повысить уровень безопасности и обеспечить документирование всех операций.

В статье рассматриваются современные подходы к организации видеоконтроля и видеоаналитики на пунктах технического обслуживания (ПТО) промышленных и транспортных предприятий. Анализируются задачи, решаемые с помощью данных систем, их влияние на повышение безопасности и эффективности технологических процессов.

Основная часть. Приоритетом Стратегии развития ОАО «РЖД» до 2030 года является обеспечение безопасных и качественных перевозок с учетом использования инновационных технологий [1]. Внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в производственные процессы транспортного холдинга позволяет снизить затраты, в то же время увеличив производительность труда. В данный момент элементы ИИ используются в 38 автоматизированных системах ОАО РЖД [2]. Наиболее перспективными технологиями на железнодорожном транспорте являются устройства распознавания изображений и компьютерного зрения, видеоконтроля и видеоаналитики, обработки информации и интеллектуальной поддержки принятия решений.

Системы видеоконтроля и видеоаналитики на ПТО решают широкий спектр задач:

- контроль соблюдения технологических операций. Видеокамеры фиксируют выполнение регламентных работ, а алгоритмы видеоаналитики автоматически выявляют отклонения от стандартов, такие как пропуск этапов обслуживания или неправильное использование инструментов;
- повышение безопасности труда. Системы распознают нарушения техники безопасности: отсутствие средств индивидуальной защиты, нахождение персонала в опасных зонах, нештатные ситуации;
- мониторинг состояния оборудования. Видеоаналитика способна выявлять аномалии в работе техники (перегрев, вибрации, утечки), что позволяет предотвращать аварии и простои.
- автоматизация учёта и отчётности. Записи с камер и аналитические отчёты используются для документирования выполненных работ, анализа инцидентов и обучения персонала;
- интеграция с другими системами. Видеоконтроль может быть связан с системами управления доступом, пожарной безопасности, диспетчеризации и ERP-системами предприятия, а именно с Системой управления ресурсами (СУР) [31].

Видеоаналитика технологических процессов на пунктах технического обслуживания (ПТО) позволяет автоматизировать контроль производственных операций технического обслуживания, повысить безопасность, снизить брак и, как следствие, оптимизировать ресурсы. Эта технология использует камеры, алгоритмы машинного зрения и искусственный интеллект для анализа видеопотоков в реальном времени [4].

В прошлом осмотрщики на пунктах технического обслуживания (ПТО) выявляли

¹Родин Макар Сергеевич – студент группы ПСЖД-12, ИТСПС

²Паренюк Мария Анатольевна – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Вагонное хозяйство и наземные транспортные комплексы»

дефекты в вагонах преимущественно визуальным осмотром с использованием подручных средств. Методы совершенствовались с течением времени, появлялись новые подходы и инструменты. При осмотре в тёмное время суток и в условиях недостаточной освещённости применяли фонари. Признаком трещины, например, является тень от луча света фонаря, направленного под углом 30–45 градусов к боковой раме тележки. В работе использовались такие инструменты, как щётка, зеркало и лупа. Для выявления трещин в труднодоступных местах использовался перочинный нож или шуруповёрт (для зачистки и определения глубины трещины). Визуальный осмотр на ПТО имеет определенные трудности: осмотр проходит на открытом воздухе при неблагоприятных погодных условиях, недостаточной освещённости и загрязнённых поверхностях деталей. Продолжительность контроля ограничена нормативами технического обслуживания, что снижает вероятность выявления усталостных трещин и других дефектов. Известны разработки для определения дефектов труднодоступных мест тележки (литых деталей) автосцепки (корпуса) и дистанционного бесконтактного измерения температуры корпусов буксовых узлов колесных пар [5–8]. Данные устройства могут использовать различные методы неразрушающего контроля (НК), которые позволяют выявлять трещины, поры, включения и другие нарушения целостности материала.

Учитывая все недостатки и преимущества использования современных средств контроля подвижного состава при техническом обслуживании на станциях предлагается к использованию перспективное средство контроля труднодоступных мест ходовых частей и другого подвижного оборудования вагонов, которое представляет собой мобильный беспроводной блок с видеокамерой с функцией bluetooth, имеющее подсветку и аккумуляторную батарею, инфракрасный термометр с микропроцессором и электронными компонентами, размещёнными внутри блока. Устройство обрабатывает полученные данные и изображения с помощью искусственного интеллекта и передает информацию об осмотре и неисправностях на телефонсмотрщика. Система видеоаналитики может включать: камера (видимого спектра, ИК, лазерные сканеры и т. д.); сервер для обработки данных или встроенные аналитические модули в камере (edge-вычислители); программное обеспечение с алгоритмами машинного зрения и ИИ. Архитектура системы может быть server-based (обработка на центральном сервере), edge-based (обработка в камере) или распределённой (гибридный вариант).

Заключение. Анализ современных систем видеоконтроля и видеоаналитики технологических процессов на пунктах технического обслуживания (ПТО) показал, что использование камер с высоким разрешением и защитой от внешних факторов и применение нейросетевых алгоритмов позволяет существенно повысить эффективность и безопасность технологических процессов, исключить человеческий фактор, а также ускорить процесс технического осмотра и обработки видеоаналитических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р.
- 2 Чемпион цифровой трансформации. Железнодорожный транспорт, 19.11.2025 [Электронный ресурс] - Электрон. текстовые дан. // URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8195635> свободный.- Загл. с экрана (дата обращения: 01.05.2026).
- 3 Киселев, Г. Г. Системы интеллектуальной видеоаналитики для повышения безопасности на железнодорожном транспорте / Г. Г. Киселев // Современные тенденции развития транспортной отрасли : материалы II Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 20–21 февраля 2025 года. – Нижний Новгород: ПривГУПС \, 2025. – С. 21–26. – EDN KPMKRH.
- 4 Киселев, Г. Г. Особенности применения средств видеоаналитики на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта / Г. Г. Киселев, С. В. Коркина, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 55–59. – EDN UQOEXG.
- 5 Патент на полезную модель № 213474 U1 Российская Федерация, МПК B61 K 13/00, G02B 23/26. Досмотровая штанга смотрщика вагонов: № 2022102405: заявл. 02.02.2022; опубл. 13.09.2022 / Г.Г. Киселев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС). – EDN QRBIXZ.
- 6 Патент на полезную модель № 181187, МПК F21V 33/00. Приспособление для проведения технического осмотра и обеспечения маневровых работ железнодорожной техники / С.А. Соколов, А.А. Козадаев, И.П.

- Донцов; 2017121905; Заявлено 21.06.2017; Оpubл. 05.07.2018.
- 7 Патент на полезную модель № 143892, МПК G01N 21/00 (2006.01). Досмотровая штанга / А.О. Иванов, Е.В. Елкин, А.В. Володяев, В.П. Подгорный, 2014107679/28; Заявлено 28.02.2014; Оpubл. 10.08.2014.
- 8 Патент на полезную модель № 184236, МПК B61K 13/00 (2006.01) G02B 23/26 (2006.01). Досмотровая штанга для контроля труднодоступных мест / Г.Г. Киселев, С.В. Коркина, С.В. Сафронов, Заявка № 2018121159; Заявлено 07.06.2018; Оpubл. 18.10.2018. – EDN MCYFQZ.

КАНАТНАЯ ДОРОГА В МЕГАПОЛИСАХ: ПЕРСПЕКТИВЫ НОВОГО ТРАНСПОРТНОГО МАРШРУТА

К. А. Говендяев¹, Р. Р. Мингалимов², А. Г. Старикова³

Введение. Потребность в непосредственном взаимодействии людей, предопределённая общественной сущностью человека и системой производственных отношений, находит своё выражение в регулярных транспортных перевозках.

В настоящее время наблюдается тенденция к стремительному росту городов, в том числе и мегаполисов. Небольшие микрорайоны, считающиеся ранее пригородом мегаполиса, теперь становятся городской средой с плотной жилищной застройкой. В связи с этим непрерывно растёт потребность в обеспечении этих районов транспортом, т.к. в будние дни горожане вынуждены совершать трудовые поездки на работу, к месту учебы и т.д. В выходные дни «картина» складывается по-иному: часть жителей микрорайонов перемещается в центральную часть города чтобы посетить крупные торговые центры или места отдыха (театры, музеи, парки), а другая часть, наоборот, стремится уехать из города в сторону дачных массивов, лесопарковых зон, пляжей (в летний период).

Городской общественный транспорт можно сравнить с «кровеносной системой» живого организма и, по сути, и по важности. Поэтому требования к эффективности его работы неуклонно растут [1].

Основная часть. Но, если раньше, для повышения скорости перемещения пассажиров конструкторы стремились усовершенствовать транспортные средства (улучшить его технические характеристики), то сейчас наблюдается существенный разрыв между возможностями транспорта и его реальными скоростями в условиях города. А ведь одним из главных параметров, характеризующим удовлетворенность пассажиров транспортным обслуживанием является время, затраченное на поездку из одного пункта до другого.

Поэтому в настоящее время актуальным становится развитие теории массовых пассажирских перевозок, в том числе – оптимизация существующих и проектирование новых городских маршрутов. Вновь создаваемые маршруты должны обеспечивать высокую пропускную способность при одновременном снижении временных затрат для пассажиров, уровня транспортной утомляемости, себестоимости перевозок и негативного влияния транспорта на городскую экологию.

Особенности города определяют характеристики требующейся для него транспортной системы городского пассажирского транспорта и оказывают влияние на выбор видов транспорта, транспортных сооружений и системы организации движения. Отличительной чертой некоторых мегаполисов, располагающихся на крупных водных артериях, является то, что поселения располагаются по обе стороны реки. Возникает необходимость в мощных транспортных коридорах через реку, что влияет на бюджет и логистику региона.

¹Говендяев Константин Александрович – студент группы ЭЭБ-41, ИТСПС

²Мингалимов Раиль Рамилевич – студент группы ЭЭБ-41, ИТСПС

³Старикова Анна Геннадьевна – старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав»

Одним из вариантов решения проблемы – это строительство путепроводов через реку и прилегающие к ней автомобильные дороги, а также другие особенности рельефа местности, в противном случае автомобильному транспорту приходится совершать объезд через уже имеющиеся мосты, но это означает, что водители делают «крюк» в своем маршруте. В летний период машины могут переправиться на грузовом пароме, однако это невозможно в межсезонье или зимой. Другим вариантом перевозки пассажиров может стать использование канатной дороги.

Если обратиться к нормативным документам, «пассажирская подвесная канатная дорога: канатная дорога, предназначенная для перевозки пассажиров, подвижной состав которой поддерживается и приводится в движение одним или несколькими канатами» [2].

Для перемещения пассажиров могут использоваться кабины, вагоны или кресла. Канатные дороги имеют следующие преимущества перед другими видами транспорта:

- минимальное воздействие на окружающую среду;
- возможность соединять точки по кратчайшему расстоянию;
- независимость от ливней, снежных заносов, наводнений (при умеренном ветре);
- относительно низкая стоимость строительства и эксплуатации по сравнению с другими видами транспорта.

Что касается недостатков, то здесь можно отметить ограничения по погодным условиям (например, невозможность работы при сильном боковом ветре); требования к пространству для опор и размещения станций; ограниченная вместимость по сравнению с другими видами транспорта; сложности с интеграцией в существующую транспортную систему.

Строительство канатной дороги на участках с протяженностью линий не более 5 км с естественными природными препятствиями в виде рек обходится значительно дешевле, быстрее и практичнее, чем организация более традиционных транспортных линий.

Все канатные дороги по типу подвижного состава можно разделить на: кресельные (с фиксированными и отцепляемыми креслами); гондольные (с автоматическими отцепляемыми кабинами); пульсирующие (с неотцепляемыми кабинами); буксировочные (для буксировки горнолыжников).

Изучив конструкцию, характеристики, особенности эксплуатации вышеуказанных типов канатных дорог, для организации нового транспортного маршрута авторы статьи предлагают использовать канатные дороги пульсирующего типа с кольцевым движением, которые в том числе можно использовать и для организации работы в качестве магистрального транспорта (рис.). Этот тип канатных дорог имеет следующие преимущества:

- простой конструкцией станций;
- высокой надежностью;
- стабильным уровнем пассажиропотока;
- высокой эксплуатационной производительностью.

Кабинные канатные дороги, оснащённые постоянно закреплёнными кабинами, обеспечивают повышенный комфорт при посадке и высадке пассажиров.

Для осуществления перевозок пассажиров на вновь организуемом транспортном маршруте выбираем в качестве подвижного состава кабины вместимостью от 6 до 24 человек.

Основными компонентами конструкции кабинных канатных дорог являются:

- приводную и обводную станции, их основная функция: запускать и поддерживать движение несущего каната;
- натяжное устройство (может быть выполнено на базе противовеса или гидравлической системы);
- подвижной состав (кабины) и линейные опоры с роликовыми балансирами, их основная функция: обеспечивать поддержку каната [3].



Рис. Пример выполнения конечной станции кольцевого канатной дороги кабинного типа с неотцепляемыми кабинами

В РФ требования к безопасности канатных дорог строго регламентируются и отражены в федеральных нормах и правилах: «Максимальная скорость движения пульсирующих дорог с закрытыми неотцепляемыми кабинами:

- на трассе:
 - * с одним несуще-тяговым канатом - 6 м/с;
 - * с двойным несуще-тяговым канатом - 7 м/с;
- на станциях при посадке-высадке - 0,5 м/с;
- для полуоткрытых кабин и кресел:
 - * на трассе - 1,3 м/с;
 - * на станциях - 0,5 м/с» [4].

Провозная способность такого рода подвесных канатных дорог зависит от многих факторов, начиная от количества кабин и их вместимости, и максимально может составлять около 500 чел./ч.

Заключение. Несмотря на то, что внедрение систем канатного сообщения в качестве нового транспортного маршрута между населёнными пунктами в России воспринимается как перспективная, но пока непривычная транспортная концепция, подобный подход успешно применяется в ряде стран. Канатные дороги демонстрируют высокую эффективность в регионах с горным ландшафтом, значительной плотностью населения, а также на территориях, разделённых водными объектами и иными природными препятствиями. Такие системы позволяют оптимизировать транспортные потоки в перегруженных мегаполисах и обеспечивают связь между населёнными пунктами, расположенными на разных берегах крупных рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 К вопросу развития муниципального электрического транспорта в городе Самара / А.Г. Старикова, А.А. Строганова // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 77-79.
- 2 ГОСТ 34872-2022 «Подвесные канатные дороги для транспортирования людей. Термины и определения».
- 3 Беркман М.Б., Бовский Г.Н., Куйбида Г.Г., Леонтьев Ю.С. Подвесные канатные дороги / М.Б. Беркман, Г.Н. Бовский, Г.Г. Куйбида, Ю.С. Леонтьев. – Москва: Машиностроение, 1984. – 264 с.
- 4 «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров» (утверждены приказом Ростехнадзора от 13 ноября 2020 года №441).

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ЛОПАСТНОГО КОЛЕСА КОМПРЕССОРА ЭЛЕКТРОВОЗА 2ЭС6 «СИНАРА»

А. А. Строганова¹, А. А. Свечников²

Введение. Современный электроподвижной состав предъявляет очень большие требования к безопасности движения и качественному и своевременному перевозу грузов и пассажиров. Безопасность эксплуатации железнодорожных транспортных средств достигается за счет усовершенствования их конструкции путем упрочнения наиболее ответственных деталей.

На практике тяжело определить ресурс детали, ее подверженность деформациям и максимально возможные испытываемые нагрузки [1-4]. Чтобы оценить эти показатели необходимо спроектировать деталь, создать ее и провести натурные испытания с целью определения допустимости ее внедрения.

Упростить процесс позволяет использование специализированных программных комплексов, таких как: APM FEM и T-FLEX PLM. APM FEM позволяет производить базовые прочностные расчеты твердотельных, оболочечных и стержневых объектов; визуализировать результаты расчета в виде тепловой диаграммы.

Прочностные расчеты учитывают все возможные варианты нагружений: от статических до центробежных, возможно сочетание всех видов нагрузок, учет влияния температурного режима эксплуатации элемента. Особое внимание уделяется оценке усталостной прочности, особенно в местах резких переходов площадей сечения или при наличии сварных соединений.

Основная часть. Целью данной работы является создание модели лопастного колеса компрессора электровоза 2ЭС6 «Синара» и проведение прочностного расчета этой модели [5, 6].

Элемент центробежного компрессора был выбран не случайно, так как сам компрессор является ключевым элементом, за счет которого обеспечивается поступление сжатого воздуха во все потребные места (тормозная магистраль; пневматический привод; вспомогательное оборудование). Отказ компрессора в большинстве случаев происходит из-за неисправности лопастей его колеса, которые являются самими ответственными и нагруженными элементами конструкции, которые подвергаются центробежным нагрузкам, газодинамическому давлению, а также подвержены влиянию повышенных температур.

Первым этапом была создана модель лопастного колеса, с учетом материала, из которого изготавливается деталь; закрепления, предусмотренного конструкцией; указана частота вращения, температура и давление на лопасти (рис. 1).

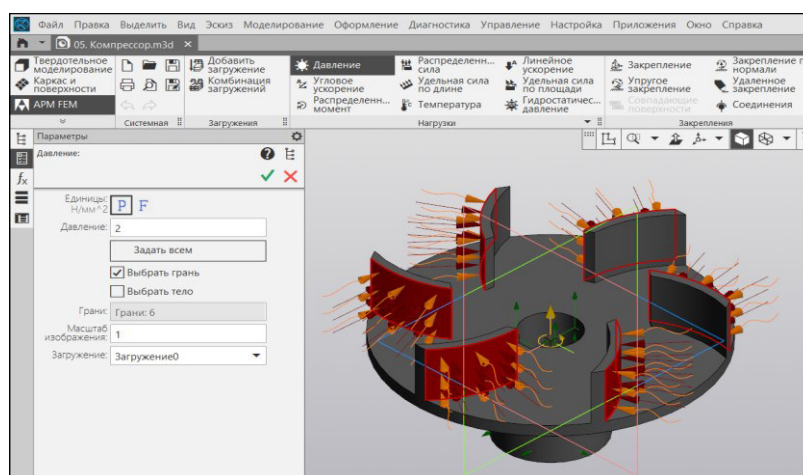


Рис. 1. Создание модели

¹Строганова Августа Александровна – студент группы ПСЖД-23, ИТСПС

²Свечников Александр Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

При помощи возможностей программного комплекса было проведено моделирование. Были получены диаграммы напряжений, перемещений, коэффициента запаса, полных деформаций, теплового потока. Диаграмма напряжений представлена на рис. 2.

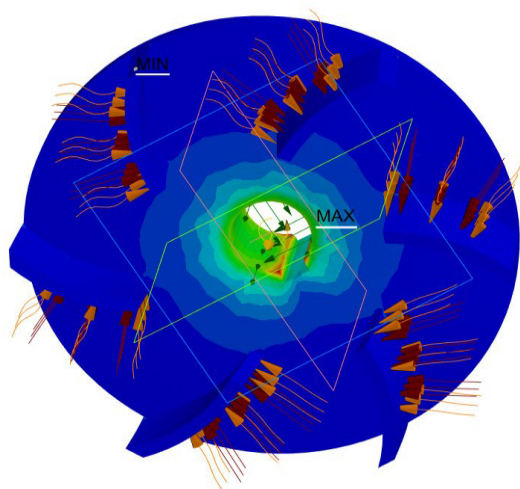


Рис. 2. Диаграмма напряжения

Заключение. После проведения всех расчетов и моделирования можно сделать вывод, что применение компьютерного моделирования при проектировании и анализе слабых мест деталей позволяет максимально наглядно и точно определить допустимость эксплуатации данной детали. Применение таких технологий, позволяет существенно сократить время на создание новых конструкторских решений. Перспективой данного метода является моделирование всего состава с учетом условий его эксплуатации, степенью загруженности и износа, что позволит выявить слабые места в конструкции и позволит найти способ их устранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Свечников, А. А. Цифровой инжиниринг как способ повышения качества проектирования деталей подвижного состава / А. А. Свечников // Локомотивы. Электрический транспорт - XXI век : электронный сборник материалов IX Международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Я. М. Гаккеля и 100-летию создания тепловоза Щэл1, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2024. – С. 343-347.
- 2 Чемоданов, Д. А. Цифровые технологии как основа для определения технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 61-68.
- 3 Тишуков, С. В. Результаты использования альтернативных видов топлива для дизелей тепловозов / С. В. Тишуков, А. В. Муратов, Д. С. Бардин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2025. – № 2(117). – С. 49-52.
- 4 Чемоданов, Д. А. Анализ применения цифровых технологий при оценке технического состояния оборудования электроподвижного состава / Д. А. Чемоданов, А. С. Тычков, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 85-88.
- 5 Данилов, М. А. Параметрическая трехмерная модель рабочего колеса центробежного компрессора мало-размерного газотурбинного двигателя / М. А. Данилов, П. П. Бесшапов // Вестник Московского авиационного института. – 2025. – Т. 32, № 4. – С. 170-180.
- 6 Рейимова, Э. Б. Исследование прочности центробежного колеса компрессора в системе ANSYS / Э. Б. Рейимова // САПР и моделирование в современной электронике: Сборник научных трудов IV Международной научно-практической конференции, Брянск, 22–23 октября 2020 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2020. – С. 46-49. – DOI 10.51932/9785907271739_46.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В РЕЖИМЕ ТЯГИ

К. А. Сутягин¹, В. В. Ляшенко²

Введение. В предлагаемой статье рассматриваются возможные направления повышения эффективности движения поездов в режиме тяги. Приводится анализ факторов, влияющих на энергозатраты и экономичность движения поездов, а также возможные способы их повышения.

Основная часть. Железнодорожный транспорт является одним из основных потребителей топливно-энергетических ресурсов в нашей стране, в том числе на тягу поездов. Поэтому эффективность их использования применительно к транспорту является весьма актуальной задачей. Для ее решения наиболее применимым видится оптимизация режимов движения. Рассматривая же различные режимы движения наиболее энергозатратным, является режим тяги [1].

Тяга поездов представляет собой комплекс научных и инженерных задач, связанных с обеспечением движения подвижного состава за счет работы локомотива. Она включает в себя изучение сил, действующих на поезд, закономерностей движения и методов управления режимами работы тягового подвижного состава [2].

В режиме тяги локомотив преобразует энергию топлива или электричества в механическую работу, преодолевая сопротивления движению, к которым относятся: сопротивление качению; аэродинамическое сопротивление; сопротивление уклонов пути; инерционные силы при разгоне [3].

Эффективность движения определяется соотношением полезной работы и затраченной энергии, а также способностью поддерживать заданный график движения.

Тяговые подстанции железных дорог имеют в основном внешнее электроснабжение трехфазным переменным током напряжением 220, 110 кВ. Тяговое электроснабжение на постоянном токе напряжением 3,3 кВ обеспечивается с помощью трехфазных двенадцатипульсовых выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП) последовательного типа. На ЭПС постоянного тока применяются тяговые коллекторные электродвигатели (ТЭД) и асинхронные трехфазные тяговые двигатели (АТД). Для преобразования постоянного тока в частотно-регулируемое переменное трехфазное напряжение применяются трехфазные автономные инверторы напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

В настоящее время оборудование, разрабатываемое и производимое для электрической тяги поездов, не позволяет эффективно решить задачи по дальнейшему развитию этой области. Анализ причин, мешающих одновременно увеличить скорость и массу поездов, помогает оценить энергетическое обеспечение электрической тяги на железной дороге.

Эффективность движения поездов в режиме тяги формируется под воздействием совокупности технических, эксплуатационных и природных факторов. Их влияние носит комплексный характер и требует системного учета при анализе и оптимизации работы железнодорожного транспорта [2].

Масса поезда является одним из определяющих параметров, влияющих на расход энергии. С увеличением массы возрастает сила тяги, необходимая для преодоления сопротивлений движению. Однако при этом наблюдается снижение удельных энергозатрат на единицу перевозимой продукции, что делает тяжеловесное движение экономически целесообразным.

Длина состава также влияет на аэродинамическое сопротивление и условия прохождения кривых участков пути. При значительной длине возрастает риск неравномерного распределения сил в составе, что требует более точного управления тягой.

Нельзя не отметить значительное влияние на эффективность движения поездов оказывает профиль пути.

При затяжных подъёмах расход энергии значительно возрастает, при значительных уклонах энергия также тратится на тормозные усилия. Кривые участки пути тоже

¹Сутягин Константин Анатольевич – студент группы ЭЖД-43, ИУЭ

²Ляшенко Виктория Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

способствуют образованию дополнительного сопротивления и как следствие повышенным расходом энергии на тягу.

Исходя из этого можно сказать, что повышения эффективности движения поездов многофакторная задача, решение которой видится в выборе оптимальных режимов вождения, в сочетании с модернизацией подвижного состава в части использования рекуперативных систем различного рода.

Также немаловажным фактором расхода электроэнергии на тягу поездов является квалификация локомотивной бригады, так называемый «человеческий фактор». Поэтому совокупность современных систем ведения поездов и опыт машиниста и помощника машиниста могут значительно повысить эффективность эксплуатации тягового подвижного состава.

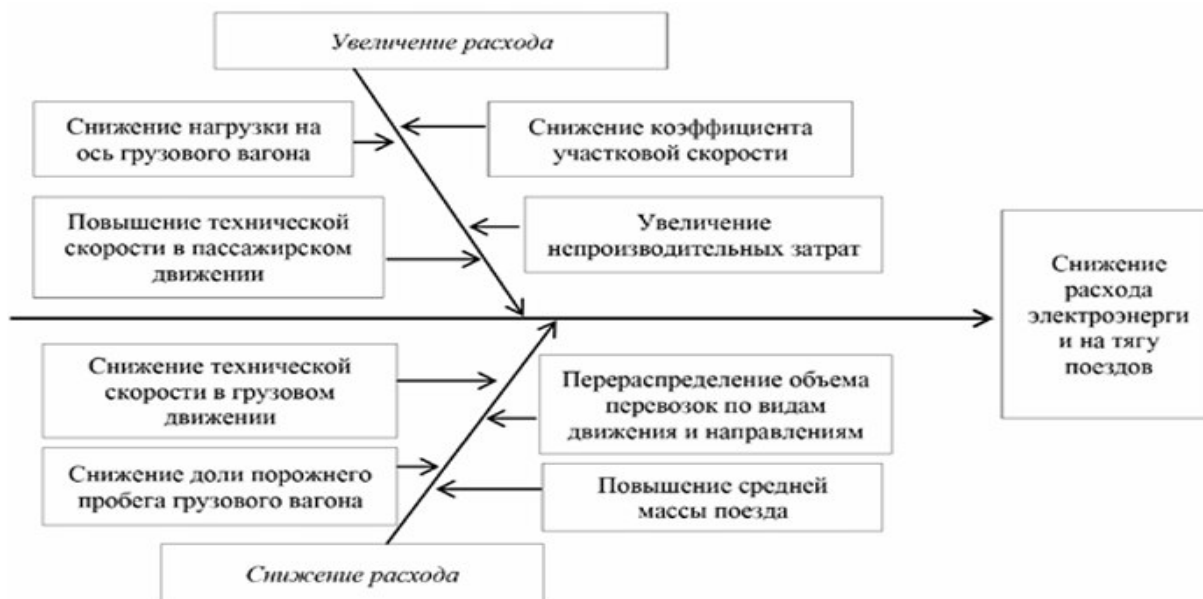


Рис. Анализ факторов, влияющих на расход электроэнергии на тягу поездов [4]

Заключение. В качестве вывода можно говорить о двух основных векторах развития эффективности тяги поездов. В первую очередь это технические и организационные направления. Рациональный подход к организации работы локомотивных бригад в совокупности с современными электронными системами поможет обеспечить рост производительности перевозок, повысить безопасность движения и тем самым экономическую эффективность корпорации ОАО «РЖД».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Энергетическая стратегия Холдинга Российские железные дороги на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года. Утверждена распоряжением ОАО "РЖД" от "15" декабря 2011 г. № 2718р.
- 2 Балашов, Д. А. Перспективы развития электрической тяги на железнодорожном транспорте / Д. А. Балашов, В. В. Ляшенко // Дни студенческой науки : Сборник материалов 51-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 06–26 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 66-68.
- 3 Ляшенко, В. В. К вопросу выбора экономичных режимов вождения поездов / В. В. Ляшенко // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 72-74. – EDN WCCAS.
- 4 Чернышова, Л. И. факторный анализ расхода электроэнергии на тягу поездов / Л. И. Чернышова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021. – № 11-2. – С. 326-330. – DOI 10.17513/vaael.1954.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

Г. И. Устюжанин¹, В. В. Ляшенко²

Введение. В данной работе исследуются основные направления для снижения расхода электроэнергии на тягу поездов. Рассмотрены основные факторы, влияющие на энергопотребление подвижным составом при движении, такие как профиль пути, масса состава, техническое состояние тягового подвижного состава и режимы ведения поезда. Наибольший резерв снижения расхода связан с рациональным выбором режима движения.

Режимные карты, системы автоведения, рекуперативное торможение и методы оптимизации скоростного режима были рассмотрены отдельно. По данным эксплуатации, системы автоведения позволяют снизить расход электроэнергии на 5–10 % для пассажирского движения и 6,5–16,2 % для грузового. В исследованиях по оптимизации режимов движения экономия энергии достигает 15 % [1].

Основная часть. Трата электроэнергии на тягу подвижного состава определяется совокупностью факторов. Большое влияние оказывают масса состава, профиль пути, режимы ведения поезда. Увеличение уклона пути на 10–12 % повышает расход электроэнергии в полтора раза, по сравнению с ровным участком той же длины. Повышение массы состава влечет за собой рост затрат энергии на преодоление подъемов и разгон. Существенное значение имеют также состояние электровоза и отклонения напряжения в контактной сети.

Наиболее управляемым фактором является режим ведения поезда. Именно он определяет возможность рационального распределения тяги, выбега и торможения. В этой связи важное значение имеют режимные карты, в которых указываются рекомендуемые точки включения тяги, перехода на выбег и начала торможения, а также расчетное время хода и расход электроэнергии. Основные направления снижения расхода электроэнергии на тягу поездов представлены на рис.

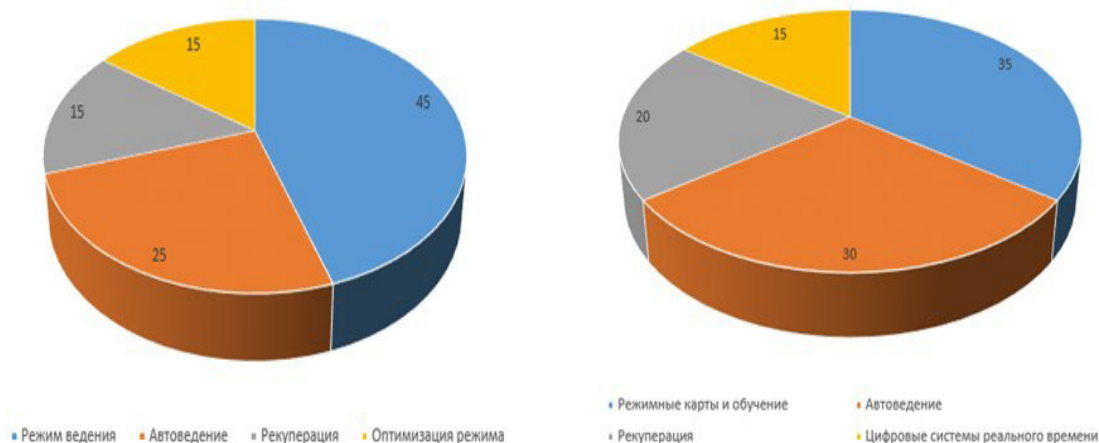


Рис. Основные направления снижения расхода электроэнергии на тягу поездов: а) по степени влияния на энергосбережение; б) по степени практической реализуемости

Режимные карты составляются на основе опыта лучших машинистов, результатов пробных поездок или компьютерного моделирования. Наиболее эффективным в современных условиях является многовариантный тяговый расчет, позволяющий определить оптимальный режим движения с учетом профиля пути и ограничений скорости. Применение режимных карт позволяет снизить перерасход электроэнергии, возникающий вследствие нерационального ведения поезда.

Одним из перспективных направлений повышения энергоэффективности является применение систем автоматического ведения поезда. На борту локомотива устанавливается

¹Устюжанин Глеб Игоревич – студент группы ПСЖД-46у, ИТСПС

²Ляшенко Виктория Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

вычислительный комплекс с цифровой картой маршрута, содержащей данные о профиле пути, ограничениях скорости и других параметрах движения. На основе введенных характеристик состава система рассчитывает оптимальный режим ведения и выдает команды исполнительным механизмам.

В России для грузовых перевозок используются системы УСАВПГ и ИСАВП-РТ, а для пригородных поездов – УСАВПП. Их информационной основой служит Единая геоинформационная система тягового подвижного состава (ЕГИС ТПС), разработанная АО «НИИАС» [2]. По данным эксплуатации, такие системы обеспечивают значительный эффект в части энергосбережения и позволяют повысить точность соблюдения графика движения.

Зарубежный опыт также подтверждает эффективность цифровых систем управления режимами движения. Во Франции используется система рекомендаций машинисту OptiConduite, а в Австралии на тяжеловесных грузовых поездах применяется система EnergyMiser, обеспечивающая автоматическое управление тягой [3]. Это свидетельствует о возможности масштабирования подобных решений на грузовые перевозки большой массы.

Важным резервом энергосбережения является рекуперативное торможение. При этом режиме тяговые электродвигатели работают как генераторы и возвращают часть кинетической энергии в контактную сеть [4]. Эффективность рекуперации зависит от наличия потребителя энергии, параметров тяговой сети и технического состояния оборудования электровоза. На линиях с интенсивным движением использование рекуперации более эффективно, чем на участках с большими интервалами между поездами.

Для повышения эффективности рекуперации рассматривается возможность применения стационарных накопителей энергии на тяговых подстанциях. Однако широкое внедрение таких решений сдерживается высокой стоимостью и неопределенной окупаемостью.

Существенное значение имеет также оптимизация скоростного режима. В теории оптимального управления движение поезда в простейшем случае рассматривается как сочетание разгона, движения с поддержанием скорости, выбега и торможения. На практике задача усложняется большим количеством ограничений, переменным профилем пути и необходимостью согласования с графиком движения. В этих условиях используются численные методы расчета, в частности динамическое программирование.

Результаты исследований показывают, что увеличение времени выбега и сокращение лишних торможений позволяют снизить расход электроэнергии. При этом наибольший эффект достигается в условиях, близких к идеальным, когда движение поезда не ограничено плотным графиком и взаимодействием с другими составами.

Перспективным направлением дальнейшего развития является переход от автономных систем автоведения к системам, учитывающим обстановку на участке в реальном времени. В качестве одного из таких направлений рассматриваются технологии типа СВТС, основанные на обмене данными между объектами инфраструктуры и подвижным составом. Для магистральных грузовых перевозок применение таких решений требует дополнительной проработки.

Дополнительным средством снижения затрат может выступать перенос части перевозок на ночное время при наличии двухставочного тарифа на электроэнергию. Такая мера не уменьшает физическое энергопотребление, но позволяет сократить финансовые расходы.

Заключение. В целом проведенный анализ показывает, что основной резерв экономии электроэнергии на тягу поездов связан не столько с разработкой новых технических решений, сколько с более полным использованием уже существующих средств: режимных карт, систем автоведения, рекуперативного торможения и методов оптимизации режима движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Проблемы и перспективы эксплуатации газотепловозов на Куйбышевской железной дороге - филиале ОАО "РЖД" / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов, С. А. Петухов, Л. С. Курманова // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 5(47). – С. 20-23.
- 2 Черемисин В. Т. Повышение энергетической эффективности перевозочного процесса на основе изменения параметров графика движения поездов: научная монография / В. Т. Черемисин, В. Л. Незевак, А. П. Ша-тохин; Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2019. 251 с.

- 3 Muratov, A. V. QMS as Tool for Improving Maintenance and Repair Processes of Traction Rolling Stock / A. V. Muratov, V. V. Lyashenko, S. A. Petukhov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) : Conference proceedings ICIE 2019, Sochi, Russia, 25–29 марта 2019 года / Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University" (national research university), Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)». – Sochi, Russia: Springer International Publishing, Switzerland AG, 2020. – P. 411-418. – DOI 10.1007/978-3-030-22063-1_44. – EDN UHQQHE. Howlett, P. G. Energy-Efficient Train Control / P. G. Howlett, P. J. Pudney. – Лондон : Springer, 2013. – 275 с.
- 4 Ляшенко, В. В. К вопросу выбора экономичных режимов вождения поездов / В. В. Ляшенко // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 72-74.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Р. В. Халдеев¹, В. В. Ляшенко²

Введение. Одним из основных потребителей электричества является транспорт, на долю которого приходится до 10 % всей электроэнергии в стране. В связи с этим вопросы эффективного использования электроэнергии стали крайне актуальны. На данный момент одним из важнейших направлений развития железнодорожных линий является электрификация. Общая длина линий с электрификацией достигает 44 тыс. км, что составляет половину от общей длины путей российских железных дорог, которая составляет 86 тыс. км. [1].

Основными способами торможения в локомотивах выступают: механическое и электрическое. Энергия, которая высвобождается при обычном торможении не может быть использована в энергосистеме, а энергия, которая образовывается при электрическом торможении, может повторно использоваться. Такой вид энергии зависит от динамики всей системы. Данная энергия может быть перенаправлена в сеть, ее можно запасти в накопителях энергии, а также преобразовать в тепловую энергию, как и делается реостатами на подвижном составе или на тяговой подстанции.

На данный момент рекуперативное торможение достаточно широко применяется в таких видах транспорта как: электровозы, электропоезда, трамваи и троллейбусы. Данная система работает по принципу того, что при торможении электродвигатели работают как электрогенераторы и энергия передается по контактной сети к другим локомотивам или же в общую энергосистему через подстанции. Сейчас большое количество подвижного состава оснащается системами не только электропневматического, но и электрического торможения.

Основная часть. Система рекуперативного торможения не изнашивается, а также может возвращать в контактную сеть, генерируемую в процессе торможения электрическую энергию. Рекуперация представляет собой дополнительный источник электрической энергии, которая способна питать тяговые системы другого подвижного состава. Рациональное применение данного вида торможения может помочь сэкономить энергетические ресурсы, а также сократить объем условных потерь. Таким образом электрическое торможение занимает очень важное место при выборе тормозного оборудования. Однако основным ограничением стало то, что контактная сеть не всегда может принять определенное количество энергии. Поэтому данная система рекуперативного торможения используется в сочетании с реостатным торможением [2].

При обычной эксплуатации использование рекуперативного и реостатного торможения считается обыкновенным решением. На рис. показана тормозная характеристика рекуперативного и реостатного торможения. Характеристика рекуперативного торможения ограничивается генерируемой мощностью тяговых электродвигателей, а реостатного-интенсивностью теплоотвода, которая выделяется тормозными реостатами [3].

¹Халдеев Родион Владимирович – студент группы ЭЖД-43, ИУЭ

²Ляшенко Виктория Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

Таким образом, чтобы обеспечить большую эффективность рекуперативного торможения нужно реже пользоваться реостатным торможением или вовсе им не пользоваться. Суть проблемы заключается в данных особенностях [4]:

1. Отсутствие поезда, подключенного к контактной сети, который смог бы использовать данную энергию.
2. Невозможность принятия энергии соседней подстанцией.
3. Перед полной остановкой падает ЭДС двигателя и напряжение рекуперации становится меньше контактного.

Возможными путями улучшения энергоэффективности рекуперативного торможения выступают данные решения:

1. Использование накопителей позволяет направить энергию в конденсаторы или аккумуляторы в случае, если во время торможения состава сеть пуста и энергию некуда передать. В результате, реостатное торможение не активируется, и энергия не расходуется попросту.
2. Синхронизация движения составов позволит энергии уходить в сеть, так как момент торможения одного состава будет совпадать с началом движения следующего.
3. Инверторные подстанции обеспечивают перенаправление энергии в сеть общего назначения, если подстанция заблокирует рекуперацию.

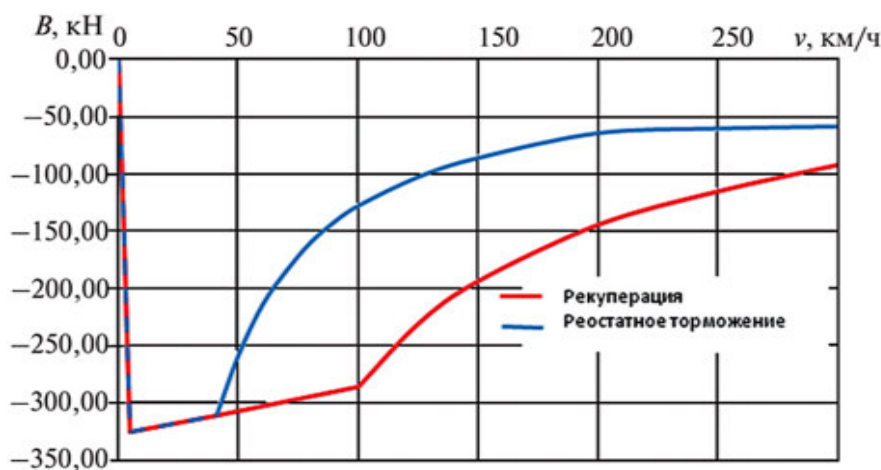


Рис. Тормозные характеристики высокоскоростного поезда

На данный момент развиваются идеи использования накопителей энергии, так как они представляются наиболее эффективной инновацией в области энергоэффективности. Суперконденсаторы обладают огромной удельной мощностью, также они способны крайне быстро принять заряд и также быстро его отдать. Это идеальное решение при частых разгонах и торможениях, что свойственно для пригородных маршрутов. Данный вид накопителей достаточно долго и успешно применяются как источники питания всевозможных устройств. Их широко используют в системах бесперебойного электропитания. Основными качествами данных накопителей являются обеспечение мгновенной мощности и функционирование в широком диапазоне температур.

На грузовых магистральных тепловозах задача состоит в помощи дизельному двигателю на затяжных подъемах, а на спусках запасать энергию. Это также позволит ставить на локомотив более экономичные дизельные двигатели.

Заключение. Таким образом, повышение энергетической эффективности железнодорожного транспорта во многом зависит от использования рекуперативного торможения. Однако эффективность рекуперации ограничена многими факторами и основным является реостатное торможение. Представлено направление для повышения эффективности рекуперации посредством внедрения накопителей энергии, в частности суперконденсаторов. Комплексный подход, сочетающий в себе совершенствование системы торможения и внедрение накопителей энергии является действенным инструментом для снижения расхода энергетических ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Самойлова, А. С. Повышение энергоэффективности работы современного отечественного электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения / А. С. Самойлова, О. В. Мельниченко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 1(77). – С. 136-143.
- 2 Валинский, О. С. Повышение энергоэффективности электрического торможения на скоростных линиях постоянного тока / О. С. Валинский, А. Н. Марикин, Н. П. Калинин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21, № 4. – С. 767-774.
- 3 Влияние рекуперативного торможения на энергоэффективность и качество электроэнергии в системах тягового электроснабжения / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, А. В. Черепанов, А. Е. Крюков // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 2(58). – С. 69-79.
- 4 Степаненко, В. П. Энергоэффективность подземной локомотивной откатки с гибридными накопителями энергии / В. П. Степаненко, Л. Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 6. – С. 135-140.

ПРЕДПОСЫЛКИ К ЦИФРОВИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА СЕРВИСНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО

Г. М. Чинков¹, М. В. Анахова²

Введение. Инструментальное хозяйство традиционно относится к числу базовых элементов производственной инфраструктуры ремонтного и сервисного локомотивного депо. Независимо от наименования структурного подразделения - инструментальный цех, инструментальный участок или участок по ремонту инструмента - его назначение остается неизменным: своевременно обеспечивать ремонтный процесс исправным инструментом, средствами измерения и специальной оснасткой. От организации этой работы напрямую зависят ритмичность ремонта, соблюдение технологической дисциплины и уровень непроизводительных потерь.

Основная часть. В научной и производственной литературе отмечается, что одним из основных потребителей инструмента выступает механозаготовительное подразделение, в котором выполняется механическая обработка деталей и изготовление отдельных элементов подвижного состава [1, 4]. В этой связи ключевой функцией инструментального хозяйства является оперативная выдача инструмента. Наряду с этим важное значение имеет обеспечение подразделений депо средствами измерения, средствами допускового контроля и специализированной оснасткой [2, 3, 4].

Анализ действующей практики показывает, что в организации инструментального хозяйства сервисного локомотивного депо сохраняется ряд устойчивых проблем.

Первая проблема связана с потерями рабочего времени при ожидании выдачи инструмента.

Вторая проблема состоит в отсутствии постоянного контроля неснижаемого запаса быстрооборачиваемого инструмента на складе, что приводит к дополнительным задержкам в ходе ремонта.

Третья проблема обусловлена применением устаревших способов учета: операции по выдаче и возврату инструмента нередко фиксируются на бумажных носителях, а это повышает вероятность ошибок, затрудняет поиск информации и снижает прозрачность складских процессов.

На рис. представлена действующая схема заказа инструмента, применяемая в сервисных локомотивных депо ООО «СТМ-Сервис» [4].

Процесс заказа инструмента включает следующие этапы:

Технолог механозаготовительного цеха подготавливает служебную записку на необходимый инструмент и направляет ее в отдел снабжения.

¹ Чинков Григорий Михайлович – студент группы ПСЖД-34, ИТСПС

² Анахова Марина Вениаминовна – к.т.н., доцент кафедры «Тяговый подвижной состав»

До 15 числа каждого месяца подразделения депо формируют заявки на следующий месяц. Специалист по снабжению сопоставляет заявленную потребность с фактическим наличием инструмента на складе и отмечает позиции, доступные к выдаче.

На основании заявок и производственных показателей составляется бюджетная заявка центра ответственности, которая проходит внутреннее согласование и передается в финансовый блок.

Для соблюдения установленного лимита затрат лимитно-заборные карты согласовываются бухгалтерией по соответствующему направлению деятельности. После выбора поставщика оформляется договор на поставку инструмента и оснастки в соответствии с действующим регламентом договорной работы. На протяжении срока действия договора осуществляется контроль исполнения договорных обязательств. Закупленные либо изготовленные сторонними организациями инструмент и оснастка поступают на инструментальный склад. Поступивший инструмент передается на склад по товарной накладной. На каждое наименование заводится карточка складского учета, а сведения о поступлении дополнительно фиксируются в книге прихода инструмента и оснастки. Данные счета-фактуры вносятся в книгу регистрации, а копии документов подшиваются в соответствующие папки.

Сведения о поступлении инструмента отражаются в журнале движения инструмента по инструментальному складу, где в дальнейшем ведется учет его выдачи подразделениям.

Приемка инструмента и оснастки на склад осуществляется кладовщиком.

Процесс выдачи инструмента и оснастки в подразделения депо в настоящее время также включает несколько последовательных действий.

Выдача производится кладовщиком по требованиям или лимитно-заборным картам, подготовленным специалистом отдела снабжения на основании заявок подразделений.

Расход инструмента и оснастки фиксируется в журнале регистрации расхода.

Выданный инструмент отражается в лицевой инструментальной карте работника.

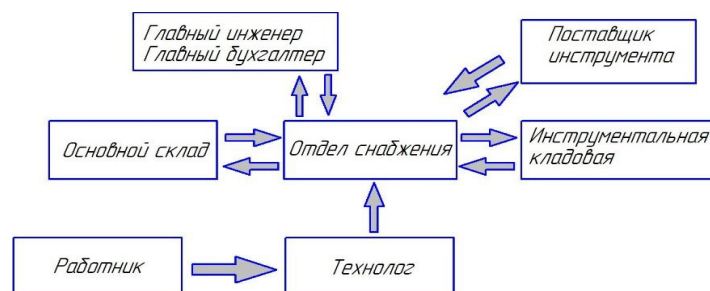


Рис. Схема покупки инструмента в сервисном локомотивном депо

Следовательно, в существующей системе значительная часть учетных операций выполняется вручную. При таком подходе возрастает риск неточностей, усложняется оперативный контроль остатков, увеличиваются затраты времени на поиск и обработку данных. В современных условиях скорость обработки информации и точность учета становятся одними из основных критериев эффективности инструментального хозяйства. Сохранение бумажных журналов и разрозненных электронных таблиц уже не обеспечивает требуемого уровня управляемости, поэтому переход к цифровым решениям следует рассматривать как объективную производственную необходимость.

Цифровизация инструментального хозяйства может быть определена как внедрение цифровых технологий и автоматизированных систем, обеспечивающих управление жизненным циклом инструмента, повышение прозрачности операций и снижение эксплуатационных затрат. Ее содержание не ограничивается только складским учетом: цифровые решения способны охватывать процессы проектирования оснастки, хранения, выдачи, возврата, мониторинга состояния и списания инструмента.

В современных автоматизированных системах могут использоваться следующие технологические решения:

- технологии штрихкодирования и RFID-идентификации, позволяющие отслеживать движение инструмента на всех стадиях его жизненного цикла;
- цифровые двойники, обеспечивающие возможность анализа состояния инструмента и прогнозирования его износа;
- интеллектуальные алгоритмы анализа данных, применяемые для предупреждения отказов и снижения вероятности брака;
- облачные сервисы, предназначенные для централизованного хранения и обработки информации с доступом для различных служб предприятия;
- промышленный интернет вещей, в рамках которого датчики на оборудовании позволяют отслеживать режимы эксплуатации и своевременно планировать обслуживание.

Цифровизация должна быть ориентирована на решение нескольких практических задач: автоматизацию управления запасами, непрерывный контроль остатков, упорядочение складских операций и повышение дисциплины учета. Организация работы склада представляет собой многозадачный процесс, который требует системности и оперативного обмена достоверными данными.

К числу основных функций автоматизированной системы инструментального склада можно отнести:

- контроль остатков в режиме реального времени с возможностью сортировки инструмента по заданным параметрам;
- одновременный анализ наличия инструмента на разных складах и учет его перемещения между складом и производственными участками;
- учет неисправного и выведенного из эксплуатации инструмента;
- доступ к актуальной информации с персонального компьютера, планшета или мобильного устройства.

Внедрение цифровой платформы позволит автоматизировать учет инструмента и оснастки, сократить влияние человеческого фактора, повысить прозрачность движения материальных ценностей, обеспечить более точное планирование пополнения запасов и упростить обмен данными с бухгалтерией и другими службами депо. Кроме того, автоматизированные системы создают условия для последующего анализа истории операций, разграничения прав доступа персонала и интеграции складского контура с ERP-, CRM- и бухгалтерскими системами предприятия.

Заключение. Таким образом, предпосылки к цифровизации инструментального хозяйства сервисного локомотивного депо имеют как организационный, так и технологический характер. Наличие ручных операций, высокая зависимость от бумажного документооборота, необходимость оперативного контроля запасов и потребность в снижении непроизводительных потерь подтверждают целесообразность перехода к автоматизированным системам управления инструментом. Выбор конкретного программного решения должен учитывать специфику депо, структуру складских процессов и требования к интеграции с действующей информационной средой предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рауба, А. А. Инструментальное обеспечение механической обработки при ремонте деталей подвижного состава / А. А. Рауба, А. Ю. Попов, Д. В. Муравьев // Национальные приоритеты России. - 2009. - № 1(1). - С. 87-94.
- 2 Пляскин, А. К. Анализ и пути совершенствования управления материально-техническим снабжением локомотивного депо / А. К. Пляскин, Н. В. Завгородняя // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке : труды Пятой международной научной конференции творческой молодежи в 6 томах, Хабаровск, 17-19 апреля 2007 года. Том 2. - Хабаровск: ДВГУПС, 2007. - С. 82-84.
- 3 Пыжьянов, Н. И. На пути к качественному сервисному обслуживанию локомотивного парка (отечественный и зарубежный опыт) / Н. И. Пыжьянов // Интернет-журнал Науковедение. - 2016. - Т. 8, № 3(34). - С. 71.
- 4 Ляшенко В. В., Сосевич Н. М. К вопросу сокращения потерь при работе сервисного локомотивного депо по ремонту локомотивов // Вестник транспорта Поволжья. - 2024. - № 4.

СЕКЦИЯ 3

Железнодорожный путь и строительство

РАБОТА ГНСС В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ РАДИОПОМЕХ

А. Ф. Исхакова¹

Введение. Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) – например, GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou – сегодня очень важны для многих областей: от транспорта и связи до финансов и служб спасения. Они помогают определять местоположение, прокладывать маршруты и получать точное время [1, 3]. Но такая повсеместная их работа принесла и новые риски. Сигналы от этих систем на Земле очень слабые (например, у ГЛОНАСС это около -161 дБм), поэтому их легко заглушить или испортить помехами.

Суть проблемы в том, что ГНСС страдают от трёх главных видов помех. Первые – это случайные помехи. Они появляются из-за того, что радиочастоты перегружены, сигналы смешиваются друг с другом, или возникает так называемое многолучевое распространение. Последнее особенно хорошо видно в городах, где много высоких зданий. Второй тип – это преднамеренные помехи, их ещё называют «глушением» или «джеммингом». Здесь кто-то специально с помощью небольших устройств создаёт сильные шумы на тех же частотах, что и ГНСС. Их часто называют «персональными глушилками», и они способны мешать работе навигации на расстоянии в сотни метров или даже несколько километров. Третий вид – это спуфинг, когда злоумышленник отправляет ложные спутниковые сигналы, из-за чего приёмник думает, что он находится в другом месте, и получает неверные данные.

Особенно тревожат новые виды спуфинга, которые работают с сигналами даже слабее, чем настоящие спутниковые [2]. Их труднее обнаружить, потому что старые способы поиска подделок смотрели только на силу сигнала. Поскольку технологии радиоэлектронной борьбы постоянно развиваются, а ещё есть доступ к программно-определяемым радиоплатформам, очень важно сделать так, чтобы ГНСС надёжно работали даже при сильных помехах.

Основная часть.

1. Пространственная и пространственно-временная обработка сигналов

Когда нужно подавить сильные помехи, часто используют специальные антенны, которые называются адаптивными антенными решётками (ААР) (рис 1).

Есть такой метод – пространственно-временная обработка сигналов (STAP). Он помогает отфильтровать помехи, беря в расчёт не только то, как расположены антенны, но и задержки во времени. Это особенно полезно для систем, где антенны разнесены (рис 2).

Очень хорошо работает и пространственно-поляризационная обработка. Если взять антенны с разной поляризацией, можно почти вдвое увеличить количество «степеней свободы», которыми мы можем управлять. Так легче бороться с большим количеством помех, что важно для устройств, которые находятся на борту чего-либо или которые можно носить с собой, ведь у них антенна обычно небольшая.

Ещё разрабатывают метод, который позволяет объединять каналы с распределённых антенн, используя пространственно-временную некогерентную комбинацию. Он состоит из трёх шагов: сначала убирают помехи, используя проекции, затем выбирают каналы, у которых одинаковая фаза, а потом все это объединяют на уровне корреляций. Это улучшает точность и помогает системе подстраиваться, при этом не нужно заранее знать, какие у сигналов параметры.

¹ Исхакова Арианна Фаниловна – студент группы СЖД-51, ИТСПС

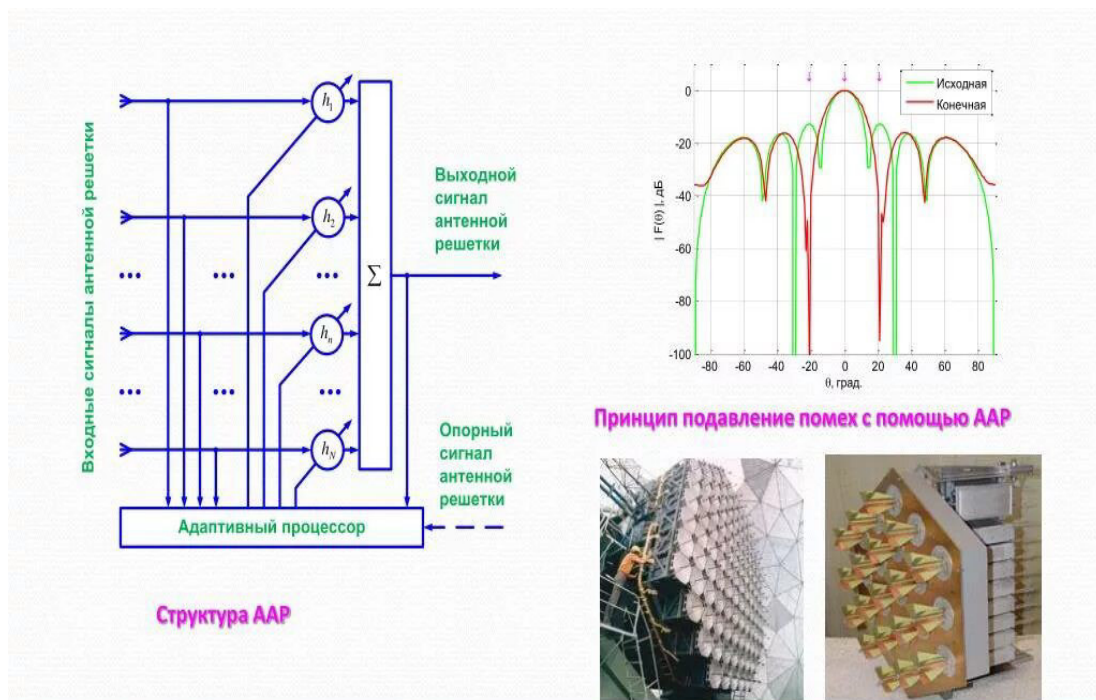


Рис. 1. Использование адаптивных антенных решеток (AAP)

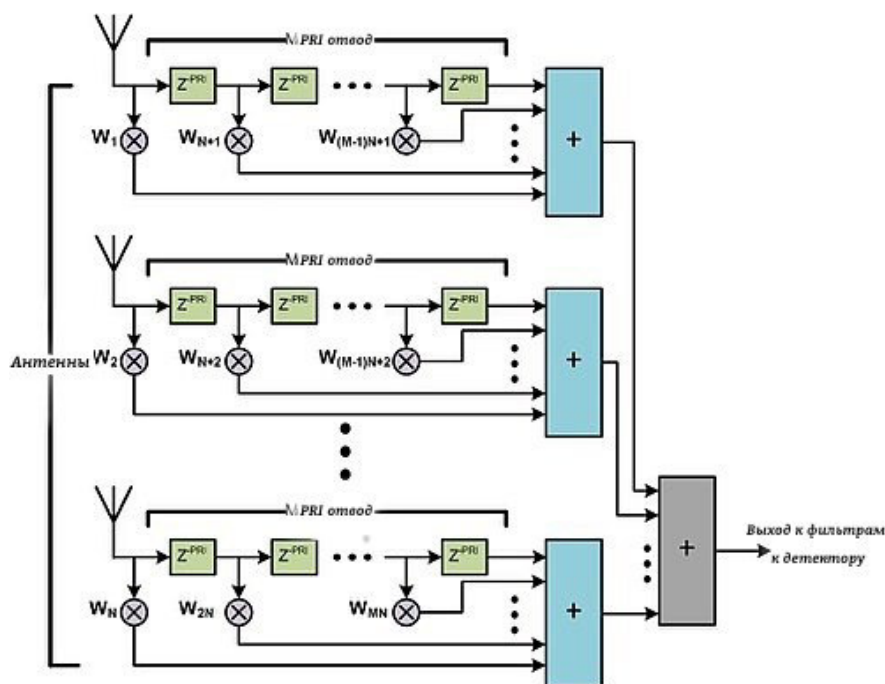


Рис. 2. Метод пространственно-временной обработки сигналов (STAP)

2. Методы подавления специфических типов помех.

Помехи типа «чирп» часто создают простые, бытовые глушилки.

Чирп – это такой сигнал, у которого частота быстро меняется по заданной схеме, причём сильно отклоняется за очень короткое время.

Отличным решением оказался комбинированный метод. Он сочетает в себе оценку параметров чирпа и их подавление, а затем идёт «обрезка импульсов» (pulse blanking). При таком подходе полезный сигнал страдает меньше всего, в отличие от обычного вырезания частот или обрезки импульсов, где вместе с помехой теряется и нужная информация (рис 3).

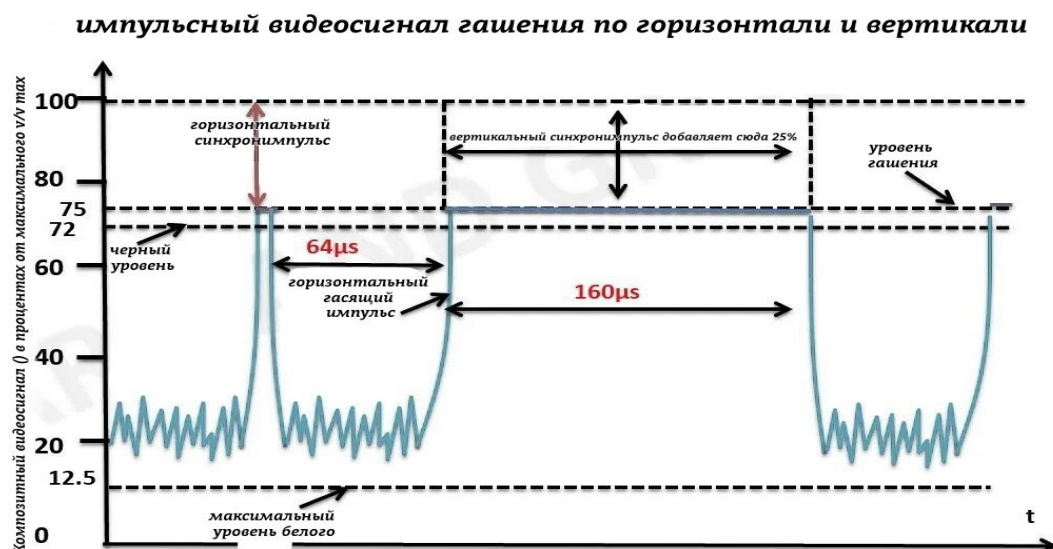


Рис. 3. Комбинированный метод

3. Методы борьбы с многолучевостью.

Многолучевость – это когда сигналы отражаются. Она особенно сильно мешает работе ГНСС в городах, потому что там сигналы отражаются от зданий и смешиваются с теми, что идут напрямую. Это искажает форму функции, по которой распознаются сигналы, и мешает точно измерить задержку кода.

Чтобы с этим бороться, применяют геометрические методы, например, узкие корреляторы с малым интервалом между ними, или двойные дельта-корреляторы. Правда, такие методы требуют больше мощности от компьютера, потому что нужна высокая частота обработки данных [3].

Более многообещающими кажутся методы, которые адаптивно оценивают параметры канала прямо на уровне корреляций. Они умеют отдельно выделять прямой сигнал и те, что отразились, а потом исправлять их искажения. Но надо понимать, что многие из них работают хорошо только в идеальных условиях – когда сигнал гораздо сильнее шума и канал связи не меняется. В реальной же жизни всё быстро меняется. Поэтому нужны такие алгоритмы, которые могут подстраиваться и работать в реальных, постоянно меняющихся условиях.

4. Машинное обучение для обнаружения и смягчения помех.

В последнее время машинное обучение всё чаще используют для борьбы с помехами ГНСС. Часто такие методы оказываются эффективнее обычных, особенно когда речь идёт о сложных атаках.

Например, чтобы найти многолучевость, применяют свёрточные нейронные сети (CNN) (рис 4).

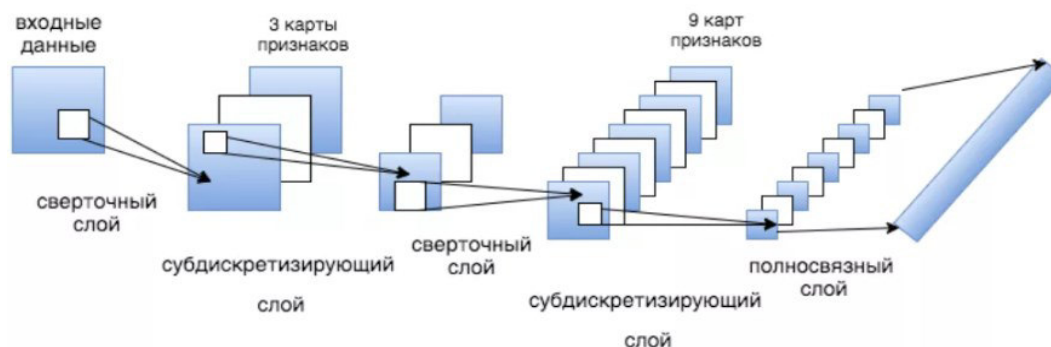


Рис. 4. Свёрточная нейронная сеть (CNN)

Сначала создаётся сетка корреляторов, затем делают двумерное преобразование Фурье, а уже потом обрабатывают данные с помощью CNN. Так результаты получаются точнее, чем при обычной обработке по времени. Тут есть два подхода: «жесткий», когда искажённые сигналы просто отбрасывают при подсчёте навигации, и «мягкий», где нейронная сеть помогает правильно оценить сигналы и уменьшить ошибки.

Чтобы найти спуфинг в группах беспилотников, предлагают использовать гибридные системы. Такие системы объединяют мемристорные нейросети (которые требуют мало ресурсов) с механизмами, которые оценивают «доверие» к сигналам, используя как бы социальные правила. Это помогает отличать настоящие атаки от обычных сбоев, связанных с задачей беспилотника, и уменьшает количество ложных тревог.

5. Интеграция с альтернативными сенсорами.

Сделать ГНСС более устойчивыми можно, если объединить их с другими датчиками. Например, с инерциальными навигационными системами, камерами, лидарами и радарами. Это помогает восполнить информацию, если спутниковые сигналы пропали или исказились, используя другие источники данных [4, 5]. Особый интерес представляют системы, которые используют векторные контуры слежения и фазированные антенные решётки. Такие приёмники, работающие по программному принципу, лучше справляются со сложными условиями сигнала. Они дают возможность получать непрерывные данные даже там, где обычные приёмники уже не работают.

Заключение. Работать с ГНСС в условиях сильных радиопомех – непростая задача, и подходить к ней нужно с разных сторон. Сейчас видно, что лучше всего работают такие подходы:

Адаптивные антенны, которые обрабатывают сигналы, учитывая и пространство, и поляризацию, очень хорошо подавляют помехи и могут работать, не зная заранее ничего о сигналах и помехах. Антенны, которые разнесены и используют пространственно-временную обработку, позволяют ставить небольшие системы даже там, где мало места.

Специальные методы, в том числе комбинированные алгоритмы для chirp-помех и адаптивная оценка параметров канала, чтобы бороться с многолучевостью, отлично справляются с тем, чтобы полезный сигнал как можно меньше искажался.

Машинное обучение даёт новые возможности для поиска сложных атак, даже когда полезный сигнал очень слабый по сравнению с шумом, но пока их сложно внедрять из-за требований к мощности компьютеров. Поэтому сейчас активно создают более лёгкие модели нейросетей.

Объединение разных датчиков и использование других сигналов (например, от сотовой связи, Wi-Fi, LoRa) – очень важный путь для поддержания стабильной навигации, особенно когда спутниковые сигналы полностью заглушены.

В будущем будет хорошо создавать такие алгоритмы, которые сами смогут подстраиваться под меняющуюся помеховую ситуацию в реальном времени, разрабатывать криптографию, устойчивую к квантовым атакам, чтобы бороться со спуфингом, и внедрять машинное обучение в устройства, у которых мало энергии и ограниченные возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Неровный В. В., Коратаев П. Д., Облов П. С., Толстых М. Ю. «Характеристики уязвимости аппаратуры потребителей глобальных навигационных спутниковых систем к спуфинг-атакам» [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/harakteristiki-uyazvimosti-apparaty-potrebiteluy-globalnyh-navigatsionnyh-sputnikovyh-sistem-k-spufing-atakam> (дата обращения: 21.04.2026).
- 2 Толстиков А. С., Ушаков А. Е. «Противодействие спуфингу и повышение помехоустойчивости аппаратуры потребителя глобальных навигационных спутниковых систем» [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/protivodeystvie-spufingu-i-povyshenie-pomehoustoychivosti-apparaty-potrebitelya-globalnyh-navigatsionnyh-sputnikovyh-sistem> (дата обращения: 21.04.2026).
- 3 Михайлов С. «Влияние многолучевости распространения радиоволн от навигационного космического аппарата на точность определения координат GPS-приемником» [Электронный ресурс] // Беспроводные технологии. – Режим доступа: <https://wireless-e.ru/gps/gnss/> (дата обращения: 21.04.2026).

- 4 Мещанкин Д. С. «Современные методы автономной навигации и их применение в различных отраслях» [Электронный ресурс] // Международный научно-практический электронный журнал «Энигма». – Режим доступа: <https://enigma-sci.ru/wp-content/uploads/2025/06/> (дата обращения: 21.04.2026).
- 5 Тишуков, С. В. Роль цифровых технологий в современной железнодорожной транспортной логистике / С. В. Тишуков, А. В. Лебедев, Д. А. Чемоданов // Дни студенческой науки: Сборник материалов 51-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 06–26 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 14-15. – EDN RBVNT0.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИКЛОТОИДНЫХ КРИВЫХ ДЛЯ ЗАДАННОГО УЧАСТКА

А. И. Жаткин¹, Т. Р. Кадыров²

Введение. Чтобы железная дорога была безопасной и удобной, нужно точно рассчитать, как будут проходить ее повороты и изгибы. Важно, чтобы движение было безопасным, комфортным и не создавало сильных толчков. Редко, но бывают случаи, когда обычные клотоиды не справляются с этой задачей. И вот тут приходят более сложные решения – использование биклотоидных кривых. Эта задача приобретает особую значимость при реконструкции уже действующих транспортных линий.

Основная часть. Биклотоидная кривая состоит из двух клотоид, объединенных таким образом, чтобы обеспечить более плавное и равномерное изменение кривизны. Биклотоида – это две переходных кривых, запроектированных «встык» без вставки «чистой» круговой кривой [1]. В то время как кривизна обычной клотоиды меняется линейно, биклотоида предлагает гораздо более гибкий контроль над законом этого изменения. Такая гибкость особенно ценна, когда длина переходного участка ограничена или когда требуется точное вписывание в существующую инфраструктуру.

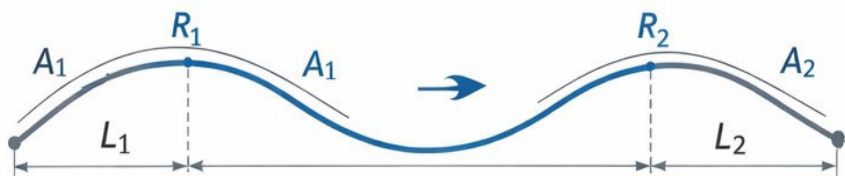


Рис. 1. Биклотоидная кривая

Смысл клотоиды в том, что крутизна ее поворота растёт ровно с пройденным расстоянием. Далее берётся наложение двух клотоид с разными парматрами. Получаемая кривая имеет более сложный вид, но при этом обеспечивает лучшие эксплуатационные характеристики. И хотя подобное усложнение не всегда требуется, но на практике дает заметный эффект.

Стоит отметить, что биклотоидные кривые применяются не так часто, поскольку их расчет и разбивка требуют большей точности. Кроме того, усложняется процесс выноса в натуру. Тем не менее, при наличии современных вычислительных средств это уже не является критическим ограничением.

Рассмотрим задачу проектирования биклотоидной кривой для заданного участка длиной L , при заданных радиусах в начале и конце участка. Пусть кривизна изменяется от k_1 до k_2 . В классическом случае клотоиды используется зависимость $k(s) = s/A^2$, однако в биклотоидной постановке вводится две функции, каждая из которых описывает свою часть кривой.

¹ Жаткин Александр Иванович – студент группы СЖД-31, ИТСПС

² Кадыров Тимур Радикович – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

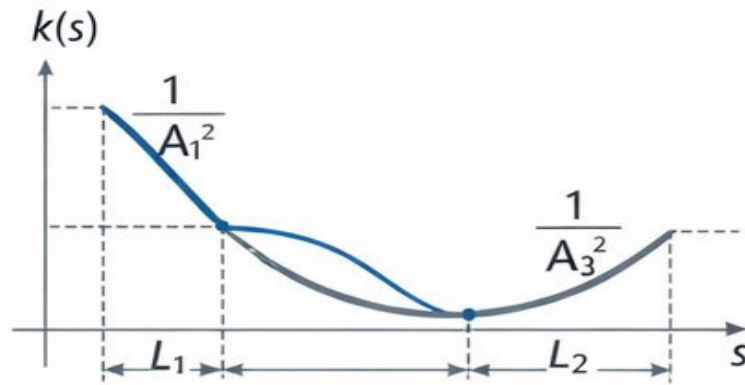


Рис. 2. Изменение кривизны вдоль биклотоидной кривой

Первая часть кривой задаётся параметром A_1 и длиной L_1 , вторая – параметром A_2 и длиной L_2 , при этом $L = L_1 + L_2$. Условием сопряжения является непрерывность кривизны и ее производной, хотя на практике иногда допускаются небольшие отклонения. Это, возможно, не совсем корректно с теоретической точки зрения, но используется в инженерных расчетах.

Для определения параметров биклотоиды можно использовать численные методы, так как аналитическое решение получается громоздким. Обычно применяются итерационные алгоритмы, в котором подбираются значения A_1 и A_2 с учетом граничных условий. Некоторые подходы включают использование аппроксимаций, но их точность может быть проблемой.

Также важно помнить о том, как быстро может разгоняться и менять скорость поезд, чтобы не превысить допустимые пределы. Это приводит к дополнительным условиям на функцию кривизны. Бывает, что нужно поправить ранее посчитанную кривую. Данные расчеты получаются громоздкими, но без этого не обойтись.

Проектирование биклотоидных кривых на практике осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения. Важно понимать саму суть метода, а не только пользоваться готовыми инструментами. Иначе возможны ошибки, которые трудно выявить.

Практическая часть работы сначала планировалась с использованием обычных расчетов, но оказалось, что это слишком долго. Для решения этой проблемы была сделана таблица в Microsoft Excel. Она позволяет автоматизировать основные вычисления. Вводятся исходные данные – длина участка, радиусы, скорость – а дальше уже формулы делают своё дело. Хотя, честно говоря, сначала пришлось несколько раз переделывать структуру, потому что результаты получались странные.

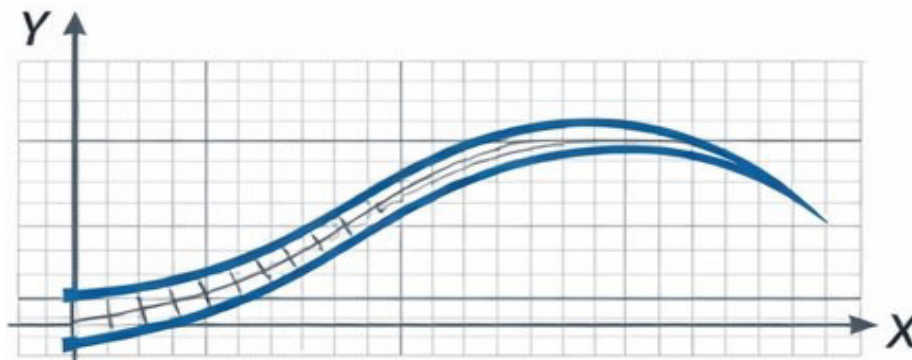


Рис. 3. План биклотоидной кривой, полученный в расчетной модели

Возвышение наружного рельса рассчитывается на основе скорости и радиуса кривой. Это вроде бы стандартный момент, но при проверке оказалось, что значения не всегда попадают в допустимые пределы. Сначала было непонятно, с чем это связано, потом стало ясно, что нужно учитывать ограничения более строго. В итоге добавлена проверка, чтобы

сразу видеть, где есть отклонения. Но всё равно остаётся ощущение, что в реальных условиях могут использоваться немного другие подходы.

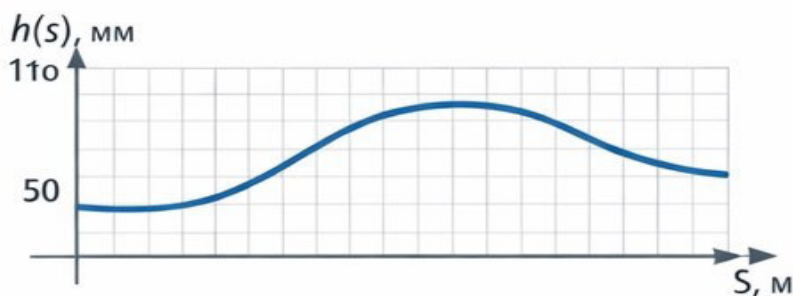


Рис. 4. Изменение возвышения наружного рельса

Интересно, что при добавлении уклона отвода возвышения возникли некоторые сложности. С одной стороны, формула простая, но при малых длинах переходной кривой значения получаются слишком большими. Пришлось вводить дополнительную проверку. Возможно, это связано с тем, что сама модель упрощена, хотя для учебной задачи этого достаточно.

Если говорить про ширину колеи, то тут ситуация получилась не совсем однозначная. Сначала предполагалось использовать только стандартное значение, но потом стало понятно, что без уширения не обойтись. В итоге был добавлен расчет уширения в зависимости от радиуса. Он реализован скорее таблично, чем строго аналитически. Не факт, что это самый точный способ, но он работает и даёт более-менее адекватные результаты.



Рис. 5. Изменение ширины колеи по длине кривой

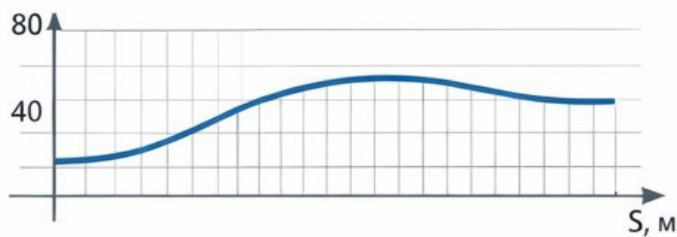


Рис. 6. Изменение ширины колеи по длине кривой

Дальше уже появилась идея добавить разбивку по пикетам. Это сделано для того, чтобы видеть изменение параметров по длине кривой. Для каждой точки рассчитываются координаты X и Y . Правда, здесь используется упрощенный метод, и, возможно, в строгом смысле он не совсем корректный. Но если смотреть на график, то форма кривой выглядит правдоподобно, поэтому было решено оставить как есть.

Пикет	X, м	Y, м	Возвышение, мм	Ширина колеи
ПК 10+00	100,00	300,00	20,4	1535
ПК 11+00	200,00	396,67	60,0	1538
ПК 12+00	300,00	419,32	85,0	1540

Рис. 7. Фрагмент расчетной таблицы

Отдельно пришлось разбираться с укороченными рельсами. Сначала вообще не было понятно, как это учитывать, но потом стало очевидно, что нужно исходить из разности длин нитей. После этого все упростилось – можно определить количество укороченных рельсов. В таблице добавлен автоматический выбор между 80 и 160 мм. Хотя, возможно, в реальной практике это делается с учетом дополнительных факторов, здесь это не учитывалось.



Рис. 8. Схема укладки укороченных рельсов

В процессе работы также стало понятно, что без блока проверки обойтись сложно. Иногда значения выглядят нормальными, но при сравнении с нормативами оказываются за пределами. Поэтому добавлена отдельная часть, где все параметры проверяются. Правда, проверки реализованы не везде одинаково подробно, где-то они скорее формальные.

В целом, если подводить итог, можно сказать, что таблица получилась рабочей. Не без недостатков, конечно. Где-то есть упрощения, где-то допущения, а некоторые моменты, возможно, требуют доработки. Но для понимания процесса проектирования биклотоидной кривой этого достаточно. И, возможно, при дальнейшем развитии эту модель можно сделать более точной, если учитывать больше факторов.

На основе выполненных расчетов можно оценить эффективность применения биклотоидных кривых. Биклотоидные кривые имеют ряд преимуществ при применении на железнодорожном транспорте, особенно на участках с повышенными требованиями к плавности движения. Основное их отличие от обычных переходных кривых заключается в более гибком законе изменении кривизны, что позволяет лучше адаптировать геометрию пути под реальные условия.

Значительным преимуществом является существенное повышение комфорта движения подвижного состава. Благодаря более плавному изменению кривизны пути, снижаются ударные нагрузки на ходовую часть и рельсы, что продлевает срок службы и улучшает эксплуатационные характеристики.

Также уменьшаются боковые силы. Это важно на участках, где поезда движутся с высокой скоростью. Когда используется биклотоидная кривая, нагрузка распределяется равномерно. Конечно, успех этого решения напрямую зависит от точности расчетов.

Ещё одним преимуществом биклотоид является их гибкость. Они обеспечивают более точное вписывание кривых в стеснённых условиях. Это позволяет реализовать проект в тех случаях, когда использование обычной клотоиды ограничено недостатком длины.

Но есть и минусы. В первую очередь – это сложность расчета. В отличие от стандартных переходных кривых, биклотоиды требуют более сложных вычислений, часто с применением численных методов. Это может усложнять проектирование без специализированного программного обеспечения. Так же вертикальные кривые нельзя выносить за переходные участки. В горах и холмах вписать биклотоиду в рельеф без нарушения норм сложно, так как у биклотоиды переходные участки суммарно в 2 раза длиннее [3].

Техническая сложность кривой приводит к усложнению ее выноса в натуру. Геодезические операции становятся более ресурсоёмкими, что может вызвать необходимость в дополнительных временных и материальных вложениях.

На практике их применяют редко. Стандартные решения устоялись, и для перехода на биклотодные кривые требуется серьёзное обоснование. Вследствие указанных причин, существует вероятность их отклонения, даже при наличии у них объективных преимуществ.

Биклотоидные кривые улучшают плавность хода, снижают износ и повышают комфорт [5]. Но использовать их стоит не везде, а там, где дорога сложная и обычные кривые уже не справляются.

Заключение. Биклотоида снимает жёсткое требование строительных норм вставлять кусок прямой дороги между двумя встречными кривыми [2] Использование биклотоидных кривых значительно оптимизирует проектирование сложных дорожных участков. Они обеспечивают более стабильное изменение кривизны, что влияет на безопасность и комфорт. Следующие шаги должны быть направлены на разработку автоматизированных систем проектирования и доработку математических моделей, так как возможности этой технологии ещё не полностью реализованы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аккерман, Г.Л. Биклотоидное проектирование криволинейных участков железной дороги / Г.Л. Аккерман, С.Г. Аккерман, О.А. Кравченко // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 10. – С. 28–30.
- 2 Специальные технические условия «Проектирование участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Екатеринбург со скоростями движения до 400 км/ч. – URL : <https://www.pgups.ru/science/science-news-in-the-field-of-transport/high-speed-transport/>
- 3 Аккерман Г. Л., Кошелев Д. А. Оценка возможности применения биклотоидного проектирования смежных кривых для движения высокоскоростных и тяжеловесных поездов имитационным моделированием // Инновационный транспорт. 2012. № 5(6). С. 3–9. ISSN 2311–164X.
- 4 Кравченко О. А. Биклотоидное проектирование криволинейных участков железных дорог : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / О. А. Кравченко. – Екатеринбург, 2012. – 147 с.
- 5 Аккерман, Г.Л., Аккерман, С.Г., Кравченко, О.А. Метод снижения затрат на содержание криволинейных участков железных дорог / УрГУПС. – Екатеринбург, 2011.
- 6 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.
- 7 Бондаренко, А. А. Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньев пути / А. А. Бондаренко, С. В. Тишуков, О. М. Васильева // Путь и путевое хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 12-16. – EDN JOKKAY.
- 8 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

ДИЛАТАНСИЯ ГРУНТОВ: НЕРЕШЁННАЯ ПРОБЛЕМА МЕХАНИКИ ГРУНТОВ

С. Е. Власова¹, А. С. Белко²

Одной из ключевых и одновременно наиболее сложных задач механики грунтов является прогнозирование их поведения под нагрузкой. Особую роль здесь играет дилатансия – способность материала изменять свой объём в процессе сдвигового деформирования. Это фундаментальное свойство, определяющее прочность, деформативность и, в конечном счёте, надёжность всего сооружения – от фундамента небоскрёба до откоса земляного полотна. Парадокс заключается в том, что, несмотря на столетие изучения, дилатансия остаётся загадкой для многих расчётных моделей, порождая разрыв между теорией и практикой.

Дилатансия проявляется двояко, в зависимости от исходного состояния грунтов:

1. **Положительный эффект (разбухание).** Характерен для плотных грунтов. При попытке сдвига жестко сцепленные частицы вынуждены «взбираться» друг на друга, требуя дополнительного пространства. Это приводит к увеличению объема, росту сопротивления и часто к хрупкому разрушению.

2. **Отрицательный эффект (контракция, уплотнение).** Наблюдается в рыхлых или мягких средах. Частицы легко занимают свободные поры, объем массива уменьшается. В водонасыщенных условиях это вызывает рост порового давления и катастрофическую потерю прочности – явление, известное как сейсмическое разжижение.

3. **Стабильное состояние (нулевая дилатансия):** Идеализированный режим течения без изменения объёма, рассматриваемый в концепции критического состояния.

Сложности в описании дилатансии носят системный характер и затрагивают несколько уровней.

Теоретический тупик классической пластичности. Традиционные модели, основанные на ассоциированном законе течения, жёстко связывают направление пластических деформаций с функцией текучести. Для грунтов это приводит к физически нереалистичным прогнозам, например, к предсказанию сильного разбухания для глин, которые в реальности уплотняются. Выходом стало использование неассоциированной пластичности, где эти направления различны. Однако такая модификация делает модели математически менее корректными, усложняет численные расчёты и требует определения дополнительных, зачастую труднонаходимых параметров.

Неточность в оценке дилатансии напрямую конвертируется в финансовые и safety-риски:

- **Завышение угла дилатансии** ведёт к перерасходу материалов (излишне мощные подпорные стены).
- **Занижение** – к риску прогрессирующей деформации или внезапного обрушения откосов, неверной оценке давления грунта на обделку тоннеля.
- **Игнорирование контракции** в рыхлых водонасыщенных песках чревато недооценкой риска разжижения при сейсмических воздействиях.

Как следствие, возникают практические инженерные проблемы:

- **Устойчивость откосов и подпорных стенок:** Расчёт давления грунта на сооружения критически зависит от угла дилатансии. Завышение этого угла ведёт к неэкономичным проектам, занижение – к риску обрушения.

- **Несущая способность фундаментов:** Дилатансия влияет на формирование зон пластического течения под фундаментом и, следовательно, на предельную нагрузку.

¹ Власова Светлана Евгеньевна – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

² Белко Анастасия Сергеевна – студент группы СЖД-31, ИТСПС

- **Поведение грунта вокруг тоннелей и выработок:** Дилатансия определяет, будет ли порода вокруг выработки разбухать (создавая дополнительное давление) или уплотняться (возможность обрушения).

- **Сейсмическая реакция и разжижение:** Отрицательная дилатансия (уплотнение) рыхлых водонасыщенных песков под циклической нагрузкой приводит к росту порового давления и потере прочности – разжижению, что является одной из главных причин разрушений при землетрясениях.

Проблема переходных состояний заключается в динамичном поведении грунта. Один и тот же материал под низким давлением может разбухать, а под высоким – уплотняться. Плотный песок после пика прочности переходит в состояние остаточной прочности, теряя дилатантные свойства. Уловить эти фазовые переходы в рамках единой конститутивной модели является задачей исключительной сложности.

Неточность прогнозов, даваемых классическими и некоторыми усовершенствованными моделями, коренится в игнорировании фундаментальных взаимосвязей и упрощении сложной нелинейной природы грунта. Основными причинами значительной погрешности являются:

1. Игнорирование зависимости от состояния.

Наиболее существенное упрощение – использование постоянных, «среднестатистических» значений параметров, таких как угол дилатансии (ψ). Использование усреднённого значения угла дилатансии ψ , который является функцией состояния грунта, главным образом определяемого двумя переменными:

- Относительной плотностью (ID) или пористостью.
- Уровнем среднего эффективного напряжения (p_z).

Упрощенные соотношения вида $\psi \approx \phi = 30^\circ$ не отражают этой изменчивости, что ведёт к радикально неверным прогнозам объёма деформации и, как следствие, прочности на разных стадиях нагружения.

2. Отрыв от концепции критического состояния.

Многие модели не связывают дилатансию с критической пористостью. Параметр, определяющий интенсивность дилатансии – коэффициент внутреннего распора ξ должен быть функцией отклонения текущей пористости (e) от критической (e_{crit}) при данном уровне напряжений. Модель лишается способности предсказывать переход от контракции к дилатансии и стремление к деформации при постоянном объёме.

3. Статистический разброс и необоснованные усреднения при расчётах приводят:

- к завышению расчётных характеристик для рыхлых или высоконапряженных зон, что создает риск внезапной прогрессирующей деформации;
- к занижению потенциала плотных грунтов, ведущему к неоправданному увеличению материалоёмкости и стоимости конструкции.

Преодоление описанных проблем лежит в развитии более совершенных концепций:

1. **Механика грунтов критического состояния (Critical State Soil Mechanics).** Эта парадигма, разработанная в Кембридже, вводит ключевое понятие критического состояния – неуловимой точки, в которой материал деформируется при постоянном объёме и постоянных напряжениях. Дилатансия в таких моделях (например, «Модифицированная Кембриджская глина») рассматривается как процесс стремления или удаления от этого состояния, что позволяет более естественно описать связь между прочностью, деформациями и изменением объёма.

2. **Продвинутые конститутивные модели.** Современные разработки, такие как Nor-Sand или модели обобщённой пластичности, явно учитывают влияние начальной плотности и уровня среднего напряжения на дилатансионные свойства, что позволяет точнее описывать поведение, как песков, так и глин.

3. **Микромеханическое моделирование (Метод дискретных элементов, DEM).** Это принципиально иной, вычислительный подход. Моделируя взаимодействие десятков тысяч виртуальных частиц, исследователи могут наблюдать зарождение дилатансии на микроуровне, то есть видеть, как происходит переупаковка зёрен, образование и разрушение силчатых цепочек.

Результаты DEM служат незаменимым инструментом для верификации и улучшения моделей, описывающих грунтовые процессы, направленные на точный учёт явления дилатансии.

Заключение и перспективы

Таким образом, проблема дилатансии не является узкоспециальной. Она представляет собой «стресс-тест» для всей теоретической базы механики грунтов, обнажая ограничения классических подходов. Её решение – это не просто академический интерес, а насущная необходимость для перехода к более экономичному и, главное, более безопасному проектированию в условиях сложных грунтов и экстремальных нагрузок.

Будущее видится в синергии трёх направлений: дальнейшее развитие парадигмы критического состояния, внедрение в практику «умных» конститутивных моделей с явной зависимостью от состояния и активное использование методов вычислительной микромеханики для раскрытия физической сути процессов, происходящих внутри грунтового массива. Только такой комплексный подход позволит окончательно разгадать проблему, связанную с дилатансией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бакушев, С.В. Модифицированная деформационная теория пластичности сыпучей среды// строительная механика и расчёт сооружений. – 2018. – № 2. С. 2–8.
- 2 Безматерных, А.В., ОФРИХТЕР, В.Г. Явление дилатансии и его влияние на характер деформирования грунтов под нагрузкой// master's journal. – 2017. – № 2. С. 85–90.
- 3 Болдырев, Г.Г., Идрисов, И.Х. Исследования анизотропного поведения грунтов в условиях сложного напряженного состояния. Состояние вопроса. Часть 2. Эффект вращения наибольшего главного напряжения на прочность грунта// геотехника, том IX. – 2017. – № 6. С. 4–18.
- 4 Бурлаков, В.Н., ТЕР-Мартirosян, А.З. Дилатансия, влияние на деформируемость грунтов// Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. С. 182–193.
- 5 Строкова, Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов// Известия томского политехнического университета. – 2008. – № 313. С. 69–74.
- 6 Султанов, Л.У., Бережной, Д.В., Карамов, А.В. Расчёт грунтовых массивов с учётом дилатансии на основе метода конечных элементов [Текст] / Султанов, Л.У., Бережной, Д.В., Карамов, А.В. // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 4. С. 3–9.

СЕТЕВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ

М. А. Лавренева¹, Т. Р. Кадыров²

Введение. В последнее время дроны стали гораздо чаще использоваться в транспортной сфере. Железнодорожный транспорт нуждается в этом в первую очередь для контроля протяженных участков пути, инженерных объектов и всей производственной инфраструктуры. Применение БПЛА позволяет сократить время обследования, повысить мобильность наблюдения и уменьшить нагрузку на персонал [4].

В то же время, эксплуатация беспилотников становится труднее. Одна из причин – ухудшение радиообстановки, из-за чего обычные способы связи и передачи данных работают с перебоями. Почему эта проблема так важна для железных дорог? Потому что их объекты часто находятся далеко друг от друга и что бы за всем уследить, приходится преодолевать огромные расстояния.

Нужно найти технические решения, которые помогут БПЛА работать без прямой связи с оператором. Один из вариантов – использовать не один беспилотник, а сразу несколько, связав их в единую сеть.

Основная часть

¹ Лавренева Марина Андреевна – студент группы СЖД-31, ИТСПС

² Кадыров Тимур Радикович – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

В обычной схеме беспилотник работает так: он постоянно связан с наземной станцией, которая им управляет. Для большинства задач этого не хватает, но на железнодорожных объектах такой способ имеет ограничения. Во-первых, маршруты часто длиннее, чем может «дотянуться» сигнал – связь становится неустойчивой. Во-вторых, если сигнал слабый, данные с беспилотника приходят с опозданием или теряются. В-третьих, в местах с плохой радиообстановкой риск срыва миссии сильно растет.

Следовательно, необходимо решить важную задачу: как обеспечить надежную связь между оператором и БПЛА при мониторинге железнодорожной инфраструктуры, если на сигнал воздействуют радиоэлектронные помехи.

На практике, чтобы сделать связь с беспилотниками надежнее ставят усиленные антенны, переключаются на другие радиочастоты, дублируют каналы связи, дают дрону часть задач выполнять самостоятельно и сохраняют данные прямо на борту. Это помогает улучшить устойчивость системы, но на длинных и удаленных маршрутах такие меры не всегда помогают [5].

Для железнодорожной отрасли особенно важны решения с распределенной сетью передачи данных. Дело в том, что наблюдаемые объекты обычно длинные и вытянутые. Поэтому связь с беспилотниками можно поддерживать не только на прямую, но и через промежуточные точки. В такой системе дроны превращаются из обычных камер в подвижные элементы сети, которые могут перестраиваться на лету.

При проектировании систем сетевого взаимодействия БПЛА для нужд железнодорожного транспорта необходимо учитывать требования действующей нормативно-технической документации. В отличие от гражданской авиации общего назначения, полеты беспилотных воздушных судов над объектами железнодорожной инфраструктуры регламентируются не только Воздушным кодексом РФ и Федеральными правилами использования воздушного пространства (ФП ИВП) [1], но и ведомственными нормативными актами ОАО «РЖД» и требованиями транспортной безопасности [2].

Использовать беспилотники как воздушные ретрансляторы можно не везде: в особых зонах нужно соблюдать специальные правила. Например, если группа дронов летит возле аэродрома, в том числе рядом с промышленными предприятиями, полеты надо согласовывать с органами организации воздушного движения (ОрВД). Для этого устанавливают временный местный режим. Из-за таких требований сложно применять эту технологию рядом с крупными узловыми станциями.

Предлагаемая концепция

Предлагается использовать группу беспилотников, при котором часть дронов обеспечивают не съемку, а поддержание связи между собой.

БПЛА-ретрансляторы. В первой схеме несколько аппаратов располагаются между наземным оператором и основным беспилотником. Каждый такой дрон работает как воздушный ретранслятор: он принимает сигнал и передает его дальше. Благодаря этому связь остается стабильной, даже если основной БПЛА улетел далеко от пункта управления (см. рис. 1) [3].

Такая схема помогает сохранить управление беспилотником, даже если прямая связь работает плохо. К тому же ее можно подстроить к профилю железнодорожного участка, особенностям местности и структуре объекта наблюдения.



Рис. 1. Схема работы БПЛА-ретрансляторов

Каскадная сеть передачи данных между БПЛА. Во второй схеме беспилотники по очереди выдвигаются вдоль маршрута и создают многоузловую сеть. Первый дрон держит связь с оператором, второй летит дальше и связывается с первым, третий со вторым и т.д. Последний в цепочке ведёт мониторинг участка (см. рис. 2).

Такой вариант удобен тем, что сеть выстраивается постепенно, по мере того, как беспилотники продвигаются к удаленному участку. Получается временная линия связи. Она позволяет управлять всеми дронами и передавать видео и служебные данные без перебоев.

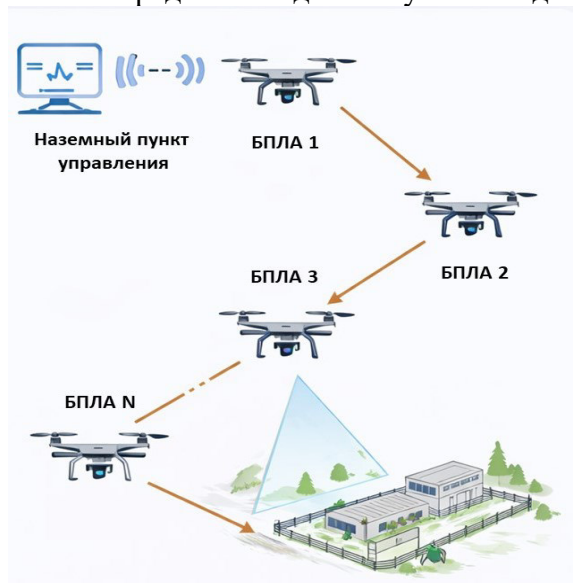


Рис. 2. Схема работы каскадной сети БПЛА

Архитектура системы

В общем виде система включает:

- 1) наземный пункт управления;
- 2) группу БПЛА связи;
- 3) один или несколько рабочих БПЛА мониторинга;
- 4) алгоритмы поддержания топологии сети и переназначения ролей.

БПЛА может менять свою роль прямо во время миссии: сначала он работает как ретранслятор сигнала, а потом переключается на наблюдение за объектом. Это повышает гибкость всей системы.

Преимущества предложенной концепции

У такого подхода есть несколько плюсов. Во-первых, БПЛА могут работать на большей территории без стационарных ретрансляторов. Во-вторых, можно следить за длинными объектами, даже если они далеко от оператора. В-третьих, сеть подстраивается под условия маршрута. В-четвертых, система не зависит от канала связи: если один путь передачи данных пропадает, используются другие.

Практическое применение на железнодорожной инфраструктуре

Предполагаемая схема подходит для решения разных типовых задач.

Например, при обследовании железнодорожного пути основной беспилотник выполняет съемку полотна, верхнего строения пути, переездов и прилегающую территорию. А другие дроны в это время помогают передавать данные.

Каскадная сеть очень удобна при мониторинге линейных объектов: перегонов, подходов к станциям или технологических участков. По мере движения группы беспилотников линия связи продвигается вместе с ними.

Если нужно патрулировать периметр объекта, сетевое взаимодействие между дронами помогает не терять связь с оператором и при этом следить за самыми удалёнными точками.

Систему можно использовать для охраны баз ПМС во время регулярных облётов территории, проверки складов, стоянок техники и площадок для хранения материалов.

Если необходимо найти нарушителей, один беспилотник отправляют в район с подозрительной активностью. Остальные дроны при этом продолжают предавать видеoinформацию и телеметрию без прерыва связи с оператором.

Заключение. Анализ показывает, что обычные способы использования БПЛА на железной дороге плохо работают, если есть сильное радиоэлектронное подавление. В таких условиях важно, чтобы группа аппаратов могла создать надёжную сеть для передачи данных.

В статье описана новая схема работы беспилотников, включающая два основных решения: часть дронов работает как воздушные ретрансляторы и построение каскадной многоузловой сети. С помощью схемы можно обследовать железнодорожные пути, следить за длинными объектами, патрулировать периметр, охранять базы ПМС от нарушителей.

Предложенный подход заключается в расширении возможностей мониторинга железной дороги с помощью дронов и делает их работу более устойчивой. В дальнейшем развить тему можно – например, математически смоделировать структуру сети. Посчитать сколько данных она может передавать, подобрать оптимальное число дронов в группе и научить систему автоматически перестраиваться прямо во время полёта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 31.07.2025) "Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации"
- 2 Федеральный закон "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" от 26.07.2017 N 187-ФЗ
- 3 Ададунов, С. Е. Оптимизация логистики и мониторинга инфраструктуры ОАО «РЖД» на основе интеллектуальной кластеризации роев БПЛА / С. Е. Ададунов, А. Б. Никитин, А. Д. Хомоненко // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2025. – № 12. – С. 35-38. – DOI 10.25791/pribor.12.2025.1638. – EDN QMIUXR.
- 4 Патент № 2444449 С1 Российская Федерация, МПК В60М 1/12. Способ и система диагностики и удаленного мониторинга контактной сети железной дороги : № 2010137656/11 : заявл. 07.09.2010 : опубл. 10.03.2012 / В. Г. Непомнящий, Г. В. Осадчий, Д. Н. Пристенский [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Мостовое бюро". – EDN YUDBOL.
- 5 Моисеев, В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов : монография / В. С. Моисеев. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. – 444 с.
- 6 Тишуков, С. В. Роль цифровых технологий в современной железнодорожной транспортной логистике / С. В. Тишуков, А. В. Лебедев, Д. А. Чемоданов // Дни студенческой науки : Сборник материалов 51-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 06–26 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 14-15. – EDN RBVNT0.

ИСТОРИЯ И РАЗВИТИЕ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Д. М. Хрисанов¹

Введение. Аэрофотосъёмка в настоящее время занимает важное место в системе дистанционного зондирования Земли [1]. Она широко применяется в картографии, геодезии, строительстве, сельском хозяйстве и мониторинге природных ресурсов [3].

Актуальность темы обусловлена тем, что современные методы съёмки позволяют получать высокоточные данные о поверхности Земли с минимальными временными затратами. При этом развитие аэрофотосъёмки происходило постепенно и тесно связано с развитием технических средств - от простейших носителей до сложных цифровых комплексов [2].

Целью данной статьи является обзор истории развития аэрофотосъёмки и анализ её современного состояния.

Основная часть. Первые попытки получения изображений земной поверхности с высоты относятся к середине XIX века. Одним из пионеров в этой области считается французский фотограф Гаспар-Феликс Турнашон (Надар), который в 1858 году выполнил съёмку с воздушного шара [4] (см.рис.1).

Данный этап характеризуется экспериментальным подходом и поиском технических решений. Использование воздушных шаров позволило впервые получить изображения местности с высоты, однако такие методы имели существенные ограничения: зависимость от погодных условий, сложность управления и высокая стоимость [4].

В дальнейшем подобные эксперименты проводились и в других странах. Например, в США Джеймс Уоллес Блэк в 1860 году получил снимки города Бостон. В России аналогичные работы были выполнены в 1886 году под руководством А.М. Кованько.



Рис.1. Надар и аэросъёмка деревни Петер-Бешетр

В конце XIX века начался поиск более доступных способов подъёма фотокамер. В качестве носителей использовались воздушные змеи [4].

Использование воздушных змеев позволило снизить стоимость съёмки и упростить процесс подъёма оборудования (см. рис. 2). В частности, французский исследователь Артур Батут в 1888 году получил фотографии с использованием автоматического спуска затвора.

Отдельным направлением развития стало применение голубиной почты (см. рис. 3). Немецкий изобретатель Юлиус Нойброннер разработал компактные камеры, закрепляемые на птицах [4]. Несмотря на ограниченную управляемость, данный метод нашёл применение в военной разведке.

Данный этап можно охарактеризовать как период активного поиска технологических решений.

¹ Хрисанов Дмитрий максимович – студент группы СЖД-54, ИТСПС



Рис. 2. Съёмка с воздушного змея в наше время

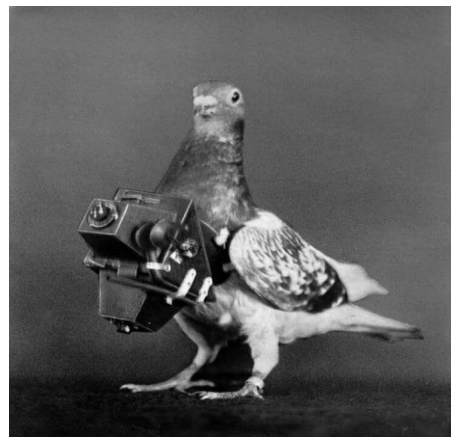


Рис. 3. Голубь с миниатюрной камерой

Существенный прорыв в развитии аэрофотосъёмки произошёл после появления самолётов. Уже в начале XX века стало возможным выполнять съёмку с управляемых летательных аппаратов.

Особое значение аэрофотосъёмка приобрела в годы Первой мировой войны. Она стала важным инструментом разведки, позволив получать оперативную информацию о расположении войск и укреплений противника (см. рис. 4).

В этот период активно развивались методы интерпретации снимков и формировались основы фотограмметрии [3]. Появились специализированные аэрофотоаппараты, адаптированные для работы в сложных условиях.



Рис. 4. Разведывательная съёмка с самолёта

На современном этапе аэрофотосъёмка представляет собой высокотехнологичный процесс, основанный на использовании цифровых систем [1].

Основными носителями являются самолёты и беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Последние получили широкое распространение благодаря своей мобильности и экономической эффективности [2]. (см. рис. 5)

Современные комплексы аэрофотосъёмки включают: цифровые камеры высокого разрешения; системы глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС); инерциальные навигационные системы; лазерные сканеры (лидары) [1].

Использование лидарных технологий позволяет получать трёхмерные модели местности с высокой точностью. Это особенно важно при проектировании инфраструктуры и мониторинге территорий.

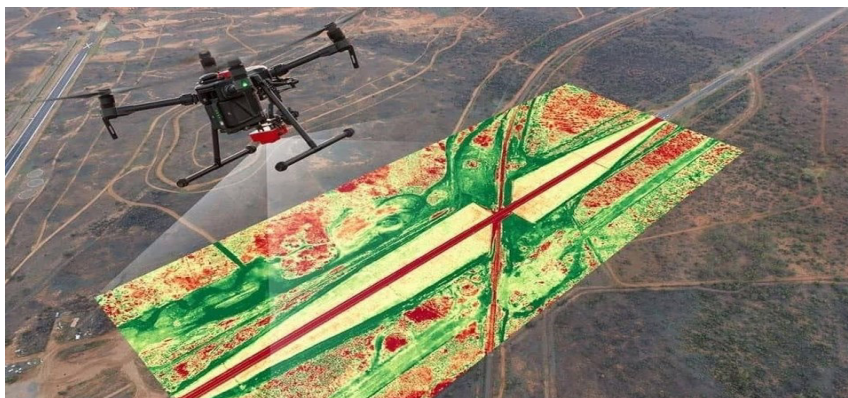


Рис. 5. Применение лидара при съёмке с БПЛА

Аэрофотосъёмка применяется в различных сферах: картография и геодезия - создание топографических планов и карт, строительство - контроль за строительными объектами, сельское хозяйство - мониторинг состояния посевов, экология - наблюдение за природными процессами, транспортная инфраструктура - обследование железных дорог, мостов и тоннелей.

Особое значение технология имеет в задачах мониторинга труднодоступных территорий.

Дальнейшее развитие аэрофотосъёмки связано с цифровизацией и автоматизацией процессов обработки данных [2].

Ожидается:

Повышение разрешающей способности оборудования, развитие искусственного интеллекта для обработки изображений, интеграция с геоинформационными системами (ГИС), расширение применения БПЛА.

Таким образом, аэрофотосъёмка продолжит играть важную роль в научных и прикладных исследованиях.

Вывод. Аэрофотосъёмка прошла значительный путь развития - от простых экспериментов с воздушными шарами до современных цифровых систем.

На каждом этапе её развитие определялось уровнем технического прогресса. Сегодня она является важным инструментом получения пространственной информации.

Современные технологии позволяют существенно повысить точность и оперативность съёмки, что делает аэрофотосъёмку незаменимой в различных отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Писарева, О. А. Аэрофотосъёмка и дистанционное зондирование земли / О. А. Писарева, Д. И. Скокова // Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры: Сборник научных трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 10–11 декабря 2019 года. Том 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 157-161. – EDN APMPRM.
- 2 Обзор современных достижений в фотограмметрии и аэрофотосъёмке / И. А. Хабарова, Д. А. Хабаров, И. Д. Яворская, И. Н. Иванов // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2019. – № 4-2. – С. 2. – EDN OHXVHK.
- 3 Фотограмметрия и дистанционное зондирование территории. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – 149 с. – ISBN 978-5-98346-146-8. – EDN JBETXJ.
- 4 Салемгараева, Л. Р. История развития аэрофотосъёмки в России / Л. Р. Салемгараева // Актуальные проблемы геодезии, картографии, геоинформатики и кадастра: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Уфа, 08 апреля 2016 года. – Уфа: Башкирский государственный университет, 2016. – С. 170-172. – EDN WLTCRZ.
- 5 Тишуков, С. В. Роль цифровых технологий в современной железнодорожной транспортной логистике / С. В. Тишуков, А. В. Лебедев, Д. А. Чемоданов // Дни студенческой науки : Сборник материалов 51-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 06–26 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 14-15. – EDN RBVNTQ.
- 6 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC

ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ТАХЕОМЕТРОВ

Д. Ф. Фахрутдинов¹

Введение. Появление тахеометров стало логичным этапом в истории развития геодезических приборов. Практическая необходимость в геодезических измерениях сформировалась на ранних этапах развития цивилизации, что привело к постепенному усовершенствованию инструментов для определения углов, расстояния и высоты.

1. Для чего были нужны геодезические приборы и какими они были.

Потребность в геодезических измерениях появились на заре развития человечества. Строительство ирригационных каналов в Древнем Египте, Вавилоне и Китае (XIII–XII вв. до н. э.), раздел земельных участков, возведение храмов и крепостей требовали точных измерений. Первыми приборами были простейшие средства: мерные верёвки и бечевы, линейки, угольники и отвесы.

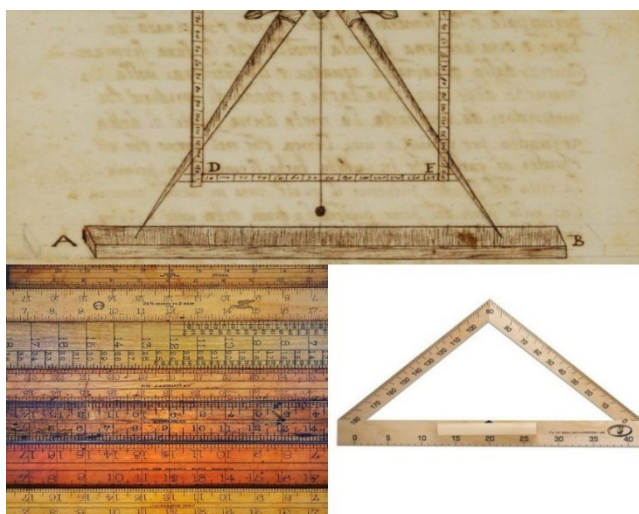


Рис. 1. Простейшие геодезические инструменты древности

Со временем инструменты усложнились, а их точность росла. В античности древнегреческий астроном Гиппарх Никейский, создал астролябию – угломерный прибор, ставший прообразом для теодолита. Она предназначалась в основном для измерения высоты звёзд над горизонтом, что позволяло определять широту местности, а также для измерения горизонтальных углов между объектами. Другими важными инструментами того времени были диоптра, гномон и римский землемерный крест.



Рис. 2. Геодезические приборы античного периода

¹Фахрутдинов Дамир Фархадович – студент группы СЖД-53, ИТСПС

В средние века скачком в развитии геодезических приборов стало изобретение зрительной трубы Галилеем в 1609 году и сетки нитей в ней Кеплером в 1611 году. Это позволяло визировать на удалённые объекты с высокой точностью. В 1576 году немецкий механик Иоганн Габермель создал угломерный прибор, действовавший по принципу теодолита.

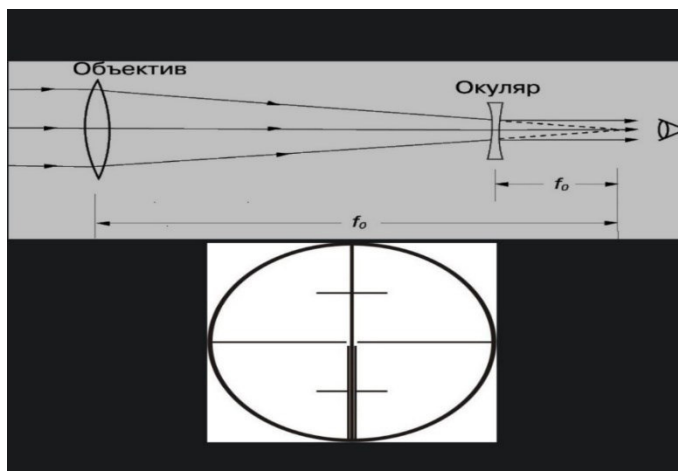


Рис. 3. Принцип визирования с использованием зрительной трубы

В 1725 году английский механик Джонатан Сиссон создал первый Теодолит, конструкция которого, с изменениями Джесси Рамсдени в 1785 году, легла в основу современных приборов.



Рис. 4. Один из первых теодолитов

2. Причины появления первых тахеометров.

К XIX веку геодезисты использовали два отдельных прибора: теодолит – для углов, и мерную ленту или дальномер – для расстояний. Это делало работу медленной и трудоёмкой. Назрела необходимость в более эффективном инструменте.

В 1888-х годах Венгерский геодезист Игнац Тихи разработал метод тахеометрии (от греч. «быстрое измерение»). Его суть заключена в одновременном определении пространственных координат точек местности - их планового положения и высоты, что было гораздо быстрее традиционных способов.

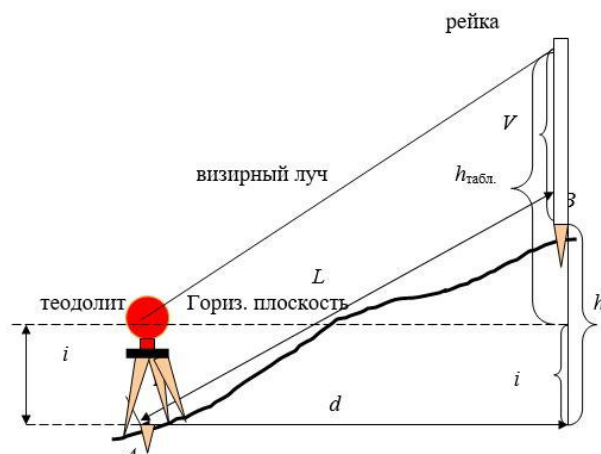


Рис. 5. Принцип тахеометрических измерений

Решающим стало появление в середине XX века электронных дальномеров. Они способны точно измерить расстояние с помощью светового луча. Объединение теодолита с таким дальномером и стало прообразом тахеометра.

Ранние модели тахеометров появились в 1970-х годах. По сути, это был оптический теодолит, на который сверху устанавливался громоздкий светодальномер. Они работали независимо и требовали от геодезиста большой аккуратности и внимательности. К ранним серийным моделям можно отнести SM-41 и ЕОТ-2000. Эти приборы могли вычислять в полевых условиях превышения и горизонтальные проложения, но всё ещё не обеспечивали полной автоматизации и значительного ускорения работ.



Рис. 6. Ранние модели тахеометров

Настоящая революция произошла позже, когда оптическая система отсчёта углов была заменена на электронную. Первым таким прибором стал шведский АГА-136. Это открыло путь к созданию современных электронных тахеометров, которыми мы пользуемся сегодня.



Рис. 7. Один из первых электронных тахеометров

Заключение. Развитие тахеометров представляет собой последовательный переход от простейших измерительных средств к высокоточным цифровым системам, обеспечивающим автоматизацию геодезических работ.



Рис. 8. Современный электронный тахеометр

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кудабасев, М. Д. История и пути развития электронных тахеометров / М. Д. Кудабасев, Л. Б. Бердигулова, А. М. Мейкинова // Наука и инновационные технологии. – 2019. – № 2(11). – С. 29-35. – DOI 10.33942/sit11.06. – EDN IWMMCE.
- 2 Назаров, Л. С. Тахеометр: эволюция прибора / Л. С. Назаров, Д. С. Соломенникова // Главный метролог. – 2023. – № 4(133). – С. 48-59. – DOI 10.32446/2587-9677gm.2023-4-48-59. – EDN LYUKYW.
- 3 Якушенков, Ю. Г. Обобщенная схема оптико-электронной системы и ее использование в расчетах геодезических приборов / Ю. Г. Якушенков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1995. – № 1. – С. 138-144. – EDN WJUAZX.
- 4 Зайченко, В. П. Геодезические приборы на международной выставке "Оптика 92" / В. П. Зайченко, А. В. Шулепников // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1992. – № 3. – С. 191-192. – EDN WWKOZL.
- 5 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорта. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ: НОВЫЕ МЕМБРАНЫ И САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕСЯ МАТЕРИАЛЫ

А. С. Баранов¹, Б. Б. Бокиев²

Введение. Подземные сооружения - тоннели, переходы, коллекторы - постоянно находятся в зоне повышенного риска из-за воздействия грунтовых вод. По статистике, до 80 % аварийных ситуаций, связанных с подземными сооружениями, так или иначе вызваны проблемами с водозащитой. Вода проникает через швы, трещины в бетоне, стыки между конструкциями, вызывая коррозию арматуры, разрушение бетона, появление плесени и, в конечном счете, снижение несущей способности обделки. Традиционные методы гидроизоляции - битумные составы, рулонные материалы на основе ПВХ или полиэтилена - имеют ряд существенных недостатков: они подвержены старению, теряют эластичность при низких температурах, а главное - образуют множество швов, которые становятся потенциальными путями протечек. Ремонт поврежденных участков традиционной гидроизоляции чрезвычайно сложен, часто требует полного вскрытия конструкции. В последние годы активно развиваются два перспективных направления: напыляемые полимерные мембраны, создающие бесшовный защитный слой, и самовосстанавливающиеся материалы, способные самостоятельно залечивать возникающие трещины. Цель настоящей статьи - проанализировать современное состояние этих технологий, их преимущества, ограничения и перспективы применения в тоннелестроении.

Основная часть.

Опыт эксплуатации тоннелей показывает, что традиционные рулонные гидроизоляционные системы на основе ПВХ и полиэтилена высокой плотности имеют ряд критических недостатков. Во-первых, это многошовность конструкции. Даже при идеальной сварке, каждый шов - потенциальная зона протечки. В процессе эксплуатации под воздействием динамических нагрузок и температурных деформаций швы могут расходиться, создавая скрытые пути миграции воды. Во-вторых, традиционные мембраны имеют слабую адгезию к бетонному основанию. Между первичной обделкой и гидроизоляционным слоем образуются полости, в которых может накапливаться вода. При повышении гидростатического давления происходит локальное отслоение, и вода начинает циркулировать за мембраной, что крайне сложно диагностировать и устранить. В-третьих, традиционные материалы имеют ограниченный ресурс. Битумные составы стареют под действием ультрафиолета и перепадов температур; полимерные мембраны могут терять пластификаторы, становясь хрупкими. Срок службы таких систем редко превышает 25-30 лет, тогда как сам тоннель проектируется на 100 и более лет. Кроме того, ремонт поврежденных участков традиционной гидроизоляции требует полного обнажения дефектного места, что в условиях эксплуатируемого тоннеля крайне затруднительно и часто невозможно без остановки движения.

Напыляемые полимерные мембраны. Одним из наиболее перспективных решений является технология напыляемых полимерных мембран. В отличие от рулонных материалов, они наносятся методом распыления непосредственно на бетонную поверхность, формируя бесшовный слой с высокой адгезией к основанию. Современные напыляемые мембраны классифицируются по типу полимерной основы: акрилатные, полиуретановые, полимочевинные, метилметакрилатные (ММА) и цементно-полимерные композиции. Полиуретановые и полимочевинные системы обладают высокой эластичностью (удлинение до 400-700 %), отличной адгезией к бетону и устойчивостью к агрессивным средам. Они способны перекрывать трещины раскрытием до 3-5 мм без потери герметичности. ММА мембраны характеризуются высокой скоростью отверждения - полимеризация происходит за 15-30 минут даже при низких температурах. Они демонстрируют отличную адгезию к бетону и устойчивость к химическим воздействиям. Испытания показывают, что ММА-мембраны сохраняют герметичность при

¹ Баранов Александр Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

² Бокиев Бехзод Бехрузович – студент группы СЖД-42, ИТСПС

гидростатическом давлении до 0,5 МПа в течение 24 часов. Акрилатные и цементно-полимерные системы чаще используются в качестве проникающей гидроизоляции. Активные компоненты проникают в поровую структуру бетона, кристаллизуются и блокируют капиллярные пути миграции воды. Ключевое преимущество напыляемых мембран - их способность работать в композитной системе с бетонной обделкой. Исследования показывают, что мембрана и бетон деформируются совместно, без расслоения. Однако, как отмечается в работе, эффективность такого взаимодействия критически зависит от параметров мембраны: ее толщины, содержания полимера и шероховатости подложки. Увеличение толщины мембраны снижает прочность сцепления, но повышает энергоемкость разрушения; оптимальный диапазон толщин составляет 3-7 мм в зависимости от условий эксплуатации.

Самовосстанавливающиеся бетоны. Еще более радикальное решение - использование бетона, способного самостоятельно залечивать возникающие трещины. Эта технология особенно актуальна для монолитных обделок, где трещинообразование неизбежно из-за усадки и температурных напряжений. Механизм самовосстановления может быть различным. Один из наиболее изученных подходов - использование цементных составов с кристаллизующимися добавками (Cementitious Capillary Crystalline Waterproofing, CCCW). Эти добавки содержат активные химические компоненты, которые при контакте с водой активируются, вступают в реакцию со свободной известью (Ca^{2+}) в бетоне и образуют нерастворимые кристаллические структуры - преимущественно эттрингит и гидросиликаты кальция. Кристаллы заполняют поры и микротрещины, блокируя пути миграции воды. Экспериментальные исследования, проведенные с использованием методологии поверхности отклика, позволили определить оптимальные составы самовосстанавливающегося бетона. В исследовании Li et al (2024) было изучено совместное влияние трёх компонентов: цементной кристаллизующейся добавки (CCCW), золы-уноса (FA) и полипропиленового волокна (PF). Оптимальные параметры, обеспечивающие максимальное восстановление свойств, были определены следующим образом: содержание золы-уноса - 19,6 %, CCCW - 2,4 %, полипропиленового волокна - 1,5 кг/м³ (объемная доля около 0,16 %). При таком составе образцы продемонстрировали впечатляющие результаты - восстановление прочности на сжатие и на растяжение достигло 88,2 % и 88,5 % соответственно, водонепроницаемость (испытания показали давление 1,5 МПа) оказалась в 2,14 раза выше, чем у контрольного состава, а степень самовосстановления водонепроницаемости составила 93 % [2]. Микроструктурный анализ показал, что в самовосстанавливающемся бетоне формируется разветвленная сеть кристаллов игольчатой и ветвистой морфологии. Эти кристаллы эффективно перекрывают трещины, уплотняют структуру и восстанавливают водонепроницаемость даже при сохранении макроскопических дефектов. Важно отметить, что самовосстановление происходит не мгновенно, а в течение определенного периода при наличии воды. В полевых испытаниях, проведенных в реальном тоннеле, трещины глубиной до 342 мм уменьшились до 254 мм за 30 дней выдерживания во влажных условиях [5].

Самовосстанавливающиеся мембраны и геокомпозиты. Помимо бетонов, разрабатываются самовосстанавливающиеся полимерные мембраны. В состав таких материалов вводятся микрокапсулы с восстанавливающим агентом (например, изоцианатами или силиконовыми маслами). При возникновении трещины капсулы разрушаются, восстанавливающий агент высвобождается, полимеризуется при контакте с влагой или катализатором и герметизирует повреждение. Самовосстанавливающиеся геокомпозиты содержат встроенные микрокапсульные восстанавливающие агенты, обеспечивающие регулярное восстановление небольших трещин. Такие материалы особенно перспективны для применения в зонах с высокими динамическими нагрузками и в сложных гидрогеологических условиях. Композитные системы, сочетающие геомембрану с дренажными слоями, также демонстрируют повышенную надежность. Например, структура «две ткани - одна мембрана» обеспечивает как гидроизоляционные, так и дренажные функции, предотвращая накопление воды за обделкой.

Заключение. Современные исследования показывают, что наиболее надежным решением является комплексная система гидрозащиты, объединяющая три ключевых элемента: напыляемую полимерную мембрану на первичной обделке, которая создает бесшовный

гидроизоляционный слой и способна деформироваться совместно с конструкцией; самовосстанавливающийся бетон для монолитной отделки, обеспечивающий автоматическое зализывание усадочных и эксплуатационных трещин; а также дренажную систему для организованного отвода просачивающейся воды и снижения гидростатического давления на конструкцию. Такой подход позволяет минимизировать риски протечек на весь срок службы тоннеля, существенно сократить эксплуатационные затраты и повысить общий уровень безопасности сооружения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию методов испытаний и разработку нормативной базы для широкого внедрения этих технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ли Х., Ву Ю., Чжоу А. и др. Экспериментальное исследование самовосстанавливающихся свойств бетона тоннельной отделки на основе методологии поверхности отклика / Х. Ли, Ю. Ву, А. Чжоу, Ч. Чжао, Л. Дэн, Ф. Лу // *Construction and Building Materials*. - 2024. - Т. 428.
- 2 Юань Ч., Фэн С., Пэн К. и др. Экспериментальное исследование механического поведения интерфейса между гидроизоляционной мембраной и основанием в композитной тоннельной отделке / Ч. Юань, С. Фэн, К. Пэн, С. Чжан, Х. Чжан, С. Ян // *Construction and Building Materials*. - 2026. - Т. 458.
- 3 Тешаев У.Р. Обоснование эффективных технологий водоотведения в высокогорных тоннелях (на примере тоннеля «Истиклол»): дис. ... канд. техн. наук / У.Р. Тешаев. - Душанбе, 2019. - 145 с.
- 4 Яо Ш., Ван С., Чжан П. и др. Обзор технологии напыляемой гидроизоляции для тоннелей, сооруженных буровзрывным способом / Ш. Яо, С. Ван, П. Чжан, Ц. Ли, С. Линь // *Modern Tunnelling Technology*. - 2025. - Т. 62, № 4. - С. 1-14.
- 5 Гидроизоляция подземных переходов и пешеходных тоннелей / Кальматрон. - 2025.
- 6 Зюзин, Д. О. Усиление железобетонных балочных пролетных строений композитным материалом / Д. О. Зюзин, А. С. Баранов, С. В. Тишуков // *Вестник транспорта Поволжья*. - 2024. - № 6(108). - С. 51-54. - EDN AJYQTD.
- 7 Соколова, С. В. Получение легких теплоизоляционных жаростойких бетонов на основе глин Никольского месторождения Самарской области и отходов промышленных производств / С. В. Соколова, С. В. Тишуков // *Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ"*. - 2026. - № 1. - С. 172-182. - DOI 10.26297/2312-9409.2026.1.13. - EDN NQNQBE.
- 8 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // *Наука и образование транспорту*. - 2023. - № 2. - С. 120-122. - EDN WPHDLC.

БАЛЛАСТНЫЕ И БЕЗБАЛЛАСТНЫЕ ПУТИ НА МОСТАХ: ВЛИЯНИЕ НА УСТАЛОСТЬ, КОМФОРТ И СТОИМОСТЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Б. Б. Бокиев¹, В. Н. Новикова²

Введение. Развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) предъявляет принципиально новые требования к конструкции пути на искусственных сооружениях. Классические балластные системы, успешно эксплуатируемые на линиях со скоростями до 160 км/ч, при переходе к скоростям 250-400 км/ч сталкиваются с рядом ограничений: интенсивное дробление щебня, потеря стабильности геометрии, повышенные динамические воздействия на пролетные строения [1, 2]. Альтернативой выступают безбалластные конструкции, интегрирующие путь и мост в единую систему. Цель настоящей работы - количественная оценка влияния типа ВСП на три ключевых параметра: усталостный ресурс элементов моста, виброакустический комфорт пассажиров и совокупную стоимость владения. Исходными данными служат результаты численного моделирования, выполненного с использованием верифицированных конечно-разностных моделей, а также эксплуатационные данные зарубежных ВСМ.

Основная часть

Динамическое поведение системы «мост-путь» определяется соотношением частот вынуждающих воздействий и собственных частот пролетных строений. Для разрезных балочных мостов, применяемых в отечественных проектах ВСМ, расчетные параметры приведены в (табл. 1).

¹ Бокиев Бехзод Бехрузович – студент группы СЖД-42, ИТСПС

² Новикова Вера Николаевна – к.т.н., доцент кафедры «Механика и инженерная графика»

Таблица 1

Динамические характеристики типовых пролетных строений

Полная длина, м	Расчетный пролет, м	Момент инерции $J, \times 10^{11} \text{ мм}^4$	Погонная масса, т/м	Частота первого тона f_1 , Гц
23,6	22,5	1,104	9,98	9,55
34,2	33,1	1,162	10,48	4,60
50,0	48,9	2,963	10,42	3,35

Критическая скорость, при которой наступает резонанс первого тона, определяется длиной вагона (для пассажирских составов ВСМ она составляет 24,8 м). Для пролетов 34,2 м и 50,0 м критические скорости равны 391 и 280 км/ч соответственно, что попадает в эксплуатационный диапазон современных ВСМ (до 400 км/ч) [3]. Для пролета 23,6 м критическая скорость составляет 853 км/ч, что находится за пределами реальных режимов движения. При проходе состава с критической скоростью динамический коэффициент (отношение максимального динамического прогиба к статическому) достигает значений 1,7-2,2 для балластного пути и 1,3-1,5 для безбалластного. Численное моделирование прохода 10-вагонного состава по пролету 34,2 м показывает, что при скорости 390 км/ч максимальный прогиб балки с балластным путем составляет 4,2 мм, с безбалластным - 2,8 мм. Таким образом, безбалластная конструкция снижает резонансные амплитуды на 33 % [4].

Влияние на усталостную долговечность. Усталостное повреждение металла пролетных строений и рельсов определяется размахом переменных напряжений. Для балластного пути характерна более высокая амплитуда динамических добавок из-за нестабильности щебеночного слоя и накопления остаточных деформаций. Численное моделирование пролета 34,2 м при скорости 300 км/ч (дорезонансный режим) показало, что максимальный прогиб балки с балластным путем составляет 3,36 мм, тогда как для безбалластной конструкции этот показатель снижается до 2,41 мм (на 28 %). Прогиб рельса под колесом уменьшается с 3,92 мм до 3,12 мм (на 20 %). Динамические напряжения в балке при этом падают с 12,8 до 9,4 МПа, а контактные усилия в системе «колесо-рельс» - со 142,5 до 116,8 кН (снижение на 18 %) [5].

С использованием линейной гипотезы накопления повреждений выполнена оценка относительного усталостного ресурса. Принимая ресурс при балластном пути за 1,0, для безбалластного пути получены следующие значения:

- для пролетного строения: 1,25-1,35;
- для рельсов: 1,40-1,60;
- для узлов промежуточных скреплений: 1,50-1,70.

Увеличение ресурса рельсов объясняется снижением контактных напряжений в системе «колесо-рельс». Для безбалластного пути максимальные контактные усилия на 18-22 % ниже, чем для балластного при равных скоростях движения.

Виброакустический комфорт пассажиров. Согласно Еврокоду EN 1991-2, уровень комфорта пассажиров оценивается по вертикальным ускорениям кузова вагона: менее 1,0 м/с² соответствует оценке «отлично», 1,0-1,3 м/с² - «хорошо», 1,3-2,0 м/с² - «приемлемо». Измерения на действующих высокоскоростных линиях показывают существенное различие балластных и безбалластных систем (табл. 2).

Таблица 2

Виброускорения кузова при различных типах пути на мостах

Линия, страна	Тип пути	Скорость, км/ч	a_y , м/с ²	Уровень комфорта
Токайдо-Синкансен, Япония	Безбалластный	285	0,62	Отлично
Санье, Китай	Безбалластный	300	0,58	Отлично
Париж-Лион, Франция	Балластный	270	1,05	Хорошо
Мадрид-Барселона, Испания	Балластный	300	1,28	Хорошо

Разница в уровнях вибрации достигает 15-22 дБ. Это обусловлено двумя факторами: отсутствием микросмещений балластного слоя (амплитуда которых под нагрузкой достигает 0,3-0,5 мм) и более высоким конструкционным демпфированием монолитной плиты.

При проходе резонансной скорости виброускорения кузова возрастают. Для пролета 34,2 м при скорости 390 км/ч численное моделирование дает:

1. балластный путь: $a_y = 1,45 \text{ м/с}^2$ (приемлемо, близко к дискомфорту);
2. безбалластный путь: $a_y = 0,95 \text{ м/с}^2$ (отлично).

Таким образом, безбалластная система сохраняет высокий уровень комфорта даже в оклорезонансных режимах.

Стоимость жизненного цикла (LCC). Капитальные затраты на устройство безбалластного пути на мосту в 2,0-2,2 раза превышают затраты на балластную конструкцию (62 против 28-30 млн руб./км в ценах 2024 г.). Однако эксплуатационные расходы для безбалластного пути ниже на порядок: 0,25-0,3 млн руб./км в год против 2,5 млн руб./км в год для балластного, что обусловлено отсутствием необходимости в регулярной выправке, очистке и замене щебня. Дисконтирование затрат по методологии LCC с нормой 5 % показывает, что, несмотря на высокие первоначальные вложения, безбалластный путь достигает экономической безубыточности на 18-м году эксплуатации. Для линий с более высокой интенсивностью (80-100 млн т/год) этот срок сокращается до 12-14 лет. Критическим фактором для ВСМ является стоимость простоев при ремонтах. Один час простоя на высокоскоростной линии оценивается в 200-350 тыс. руб. (потеря выручки и штрафные санкции). Частота внеплановых ремонтов для балластного пути составляет 2-3 случая в год (средняя продолжительность 4-6 ч), для безбалластного - не более 1 случая в 2-3 года. С учетом этого фактора экономический эффект безбалластного пути возрастает дополнительно на 15-20 %.

Заключение

Проведенное количественное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

Для типовых железобетонных пролетных строений длиной 34-50 м критические скорости резонанса (280-391 км/ч) совпадают с эксплуатационным диапазоном ВСМ. Безбалластные системы снижают резонансные прогибы на 30-35 % по сравнению с балластными. Переход на безбалластную конструкцию увеличивает ресурс пролетных строений в 1,25-1,35 раза, рельсов - в 1,4-1,6 раза за счет снижения динамических добавок к напряжениям на 20-30 % и уменьшения контактных усилий в системе «колесо-рельс» на 18-22 %. Безбалластный путь обеспечивает уровень виброускорений кузова 0,5-0,7 м/с², что соответствует категории «отлично» по Еврокоду. Превышение над балластными системами составляет 15-22 дБ. Несмотря на более высокие капитальные затраты (62 против 28 млн руб./км), безбалластный путь становится экономически предпочтительным на горизонте 18 лет эксплуатации. С учетом стоимости простоев - на 12-14 годах. Для высокоскоростных линий с проектной скоростью более 250 км/ч и грузонапряженностью свыше 50 млн т/год применение безбалластного мостового полотна является технически и экономически обоснованным решением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Савин, А.В. Выбор конструкции пути для высокоскоростного движения / А.В. Савин // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2014. - № 1. - С. 55-59.
- 2 Савин, А.В. Критерии выбора конструкции безбалластного пути / А.В. Савин // Путь и путевое хозяйство. - 2014. - № 2. - С. 2-8.
- 3 Поляков, В.Ю. Безопасность движения и динамические свойства мостового полотна на ВСМ / В.Ю. Поляков, - 2018. - № 6. - С. 357-367.
- 4 Поляков, В.Ю. Взаимодействие подвижного состава с элементами мостового перехода при высокоскоростном движении: дис. ... д-ра техн. наук / В.Ю. Поляков. - М., 1994. - 395 с.
- 5 Поляков, В.Ю. Ударное взаимодействие колеса и рельса на мостах высокоскоростных магистралей / В.Ю. Поляков, Данг Нгок Тхань // Транспортные сооружения. - 2019. - № 1.
- 6 Зюзин, Д. О. Усиление железобетонных балочных пролетных строений композитным материалом / Д. О. Зюзин, А. С. Баранов, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. - 2024. - № 6(108). - С. 51-54. - EDN AJYQTD.
- 7 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорта. - 2023. - № 2. - С. 120-122. - EDN WPHDLC.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ФИЗИКО-ТЕРМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

А. И. Жданова¹, С. В. Соколова²

Введение. Жаростойкие бетоны – это ключевой материал при строительстве печей, дымоходов и защитных покрытий в металлургической и энергетической промышленности. Без них невозможно обойтись, когда речь заходит об объектах, где огнестойкость стоит на первом месте. Однако, проверенные временем рецептуры на основе портландцемента нередко подводят, не обеспечивают требуемого набора прочностных характеристик, термостабильности и, в конечном счёте, долговечности. Причина кроется в том, что при температуре выше 600 °С, при воздействии нагрузки, в бетоне начинают образовываться трещины.

Основная часть. Жаростойкие бетоны представляют собой композитные материалы, предназначенные для работы в условиях высоких температур и механических нагрузок при сохранении физико-термических характеристик. При температурах свыше 600 °С в портландцементных составах происходит дегидратация, расширение и образование трещин, что приводит к снижению прочности на сжатие и потери термостабильности.

В состав жаростойких бетонов входит: вяжущие вещество- портландцемент, глинозёмистый цемент и жидкое стекло; техногенное сырьё- отработанный катализатор ИМ-2201, керамзитовая пыль и шамот; модификаторы- ортофосфорная кислота, фосфаты. При их оптимальном процентном соотношении друг к другу повышает долговечность и огнестойкость бетонов.

Для создания жаростойких бетонов с высокими эксплуатационными свойствами обеспечивают плавный переход от гидратных связей к керамическим при высоких температурах. В состав добавляют активные минеральные добавки, молотый шамот, что позволяет образовать новые прочные силикатные или алюмосиликатные соединения и снижает потерю прочности после нагрева. Также при добавлении в бетонную смесь молотую негашёную известь, то это активируются химические процессы, что поспособствует образованию фосфатов кальция и упрочнению структуры.

Таблица

Физико-термические характеристики жаростойких бетонов

№ п/п	Составы бетонов, кг/м ³		Средняя плотность, кг/м ³ в сухом состоянии	Предел прочности при сжатии, МПа	
				После обжига при рабочей температуре	После пропитки H ₃ PO ₄ и обжига
I	Портландцемент, ПЦ-400-Д2,	-150	1220	5,65 (лаб. печь) 5,5 (пром. печь)	9,1 (лаб. печь) 8,8 (пром. печь)
	Керамзитовая пыль Фр. 0,14-1,25	-150			
	Шамотный щебень Фр. 5-10	-150			
	Вода	-250			
II	Отработанный алюмохромистый катализатор	-300	2060	26,5	42,6
	Глинозёмистый цемент	-100			
	Шамотный щебень Фр. 5-10	-650			
	Шамотный песок Фр. 0,14-5				
	Жидкое стекло	-750			
	(плотн. 1,36 г/см ³)	-350			

¹ Жданова Анастасия Ивановна – студент группы СЖД-34, ИТСПС

² Соколова Светлана Владимировна – доцент кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

Для повышения физико-термических характеристик материала в современной науке используют несколько путей:

1. Модификация вяжущего состава – замена портландцемента тонкомолотыми добавками, что снизит деструктивное расширение.
2. Оптимизация зернового состава заполнителя, что позволит уменьшить пористость бетона, снижение внутренних напряжений при нагреве.

Модификация жаростойких бетонов оцениваться путём сравнения состава и его работы при различных температурах (таб.).

Из таблицы 1 становится понятно, что при пропитки ортофосфорной кислотой в 1,6 раза повышается эксплуатационная прочность бетона, а также с использованием химического связывающие совместно с глинозёмистыми компонентами образует высокоогнеупорное соединение, которое обеспечивает прочность материала до температуры 1700 °С. Также стоит заметить, что использование металлических шлаков и шламов позволяет снизить себестоимость бетонной смеси без потерь физико-термических характеристик. Для работы в температурах при 700-800 °С целесообразно использовать портландцемент с тонкомолотыми минеральными добавками, например, молотый шамот, и заполнитель-базальт, диабаз или доменные шлаки, что снизит деструктивные процессы. В высоких температурах (1000-1400 °С) добавлять глинозёмистые вещества и шамот, они обеспечивают высокую осадочную прочность и низкую усадку. В пределах же 1400-1800 °С целесообразнее использовать фосфаты с муллитокорундовыми заполнителями -вырастает огнеупорность [4]. Долговечность жаростойких бетонов обеспечивают заполнители, стойкие к высоким температурам. Они снижают общую пористость смеси и минимизируют внутренние напряжения. Таким образом повышение свойств жаростойких бетонов представляет собой научно-техническую задачу, для рашения которой необходимо сочетать специализированные вяжущие, термостойкие заполнители и активные добавки.

Заключение. Повышение долговечности и физико-термических свойств жаростойких бетонов достигается за счёт модификации состава бетонной смеси, то есть в неё добавляют минеральные добавки, специализированные вяжущие и термостойкий заполнитель. Использование техногенного сырья позволяет увеличить срок эксплуатации и обеспечивает переход от гидратных связей к керамическим, а добавление промышленных отходов позволяет снизить стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волков, В. Р. Способ повышения физико-механических характеристик бетона / В. Р. Волков // Научно-исследовательский центр "Technical Innovations". – 2022. – № 9-1. – С. 289-292. – EDN VLLYHK.
- 2 Рыжков, П. В. Исследование свойств жаростойких бетонов / П. В. Рыжков // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 2. – С. 216-219. – EDN AWTSGW.
- 3 Соколова, С. В. Структурная модификация бетонов специального назначения с целью повышения их долговечности / С. В. Соколова // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 2. – С. 225-229. – EDN NZFVRV.
- 4 Вторичное использование глинозёмсодержащих отходов промышленности для синтеза жаростойких бетонов / С. В. Соколова, М. Н. Баранова, Д. И. Васильева, Ю. А. Холопов // Строительные материалы. – 2023. – № 4. – С. 20-23. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-812-4-20-23. – EDN UHFMWF.
- 5 Соколова, С. В. Получение эффективных материалов на основе отходов сернокислотной промышленности / С. В. Соколова, Ю. В. Сидоренко // Вестник НИЦ Строительство. – 2024. – № 2(41). – С. 131-147. – DOI 10.37538/2224-9494-2024-2(41)-131-147. – EDN YCCZKZ.
- 6 Получение прогрессивных и эффективных огнеупорных футеровочных материалов / А. И. Хлыстов, А. В. Божко, С. В. Соколова, Р. Т. Рязов // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2003 : Сборник трудов секции научных работ аспирантов и студентов в рамках первой международной научно-технической конференции, Тольятти, 11–14 сентября 2003 года / Васильев Андрей Витальевич, научный руководитель конференции. – Тольятти: Издательство Тольяттинского государственного университета, 2003. – С. 186-189. – EDN BCFZEI.
- 7 Соколова, С. В. Получение легких теплоизоляционных жаростойких бетонов на основе глины Никольского месторождения Самарской области и отходов промышленных производств / С. В. Соколова, С. В. Тишуков // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2026. – № 1. – С. 172-182. – DOI 10.26297/2312-9409.2026.1.13. – EDN NQNQBE.
- 8 Зюзин, Д. О. Усиление железобетонных балочных пролетных строений композитным материалом / Д. О. Зюзин, А. С. Баранов, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 6(108). – С. 51-54. – EDN AJYQTD.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА В КРИВОЙ

С. Р. Кузнецова¹, Т. Р. Кадыров²

Введение. Чтобы поезда ходили безопасно, а железная дорога служила долго, очень важно, чтобы путь был в хорошем состоянии. Даже небольшие неровности или смещения в пути могут вызвать большие проблемы: усилить удары по поезду, быстрее износить детали дороги и ухудшить сцепление колес с рельсами.

На кривых участках пути возвышение наружного рельса играет важную роль. Это делается для того, чтобы противодействовать центробежной силе, возникающей при прохождении поездом поворота. Такая мера снижает боковое давление на рельсы и колеса, уменьшая их износ. Кроме того, это значительно повышает комфорт пассажиров в пути.

Со временем возвышение рельса может меняться под воздействием разных причин: балласт может деформироваться, земляное полотно проседать, поезда создают динамические нагрузки, температура меняется или сам рельс изнашивается неравномерно. Вот поэтому постоянный контроль этого параметра является обязательным, чтобы понимать, в каком состоянии путь.

Современные способы измерений, основанные с помощью путеизмерительных вагонов, специализированных тележек или геодезических приборов, характеризуются высокой точностью, но на это уходит много сил и времени [3]. К тому же, предоставляют данные только время от времени, а не постоянно, что не позволяет следить за ситуацией непрерывно.

Следовательно, требуется автоматизация непрерывного измерения геометрических параметров жд пути.

Теоретические основы формирования возвышения наружного рельса

На поворотах центробежная сила давит на поезд в сторону наружного рельса, увеличивая нагрузку на пути.

Для частичной компенсации этой силы наружный рельс поднимается относительно внутреннего рельса.

Величина равновесного возвышения может быть определена на основе зависимости между скоростью движения поезда, радиусом кривой и расстоянием между рельсовыми нитями.

Равновесное возвышение наружного рельса определяется выражением:

$$h = \frac{v^2}{gR} \cdot S,$$

где h – возвышение наружного рельса, м;

v – скорость движения поезда, м/с;

R – радиус кривой, м;

S – расстояние между осями рельсов;

g – ускорение свободного падения [1].

Если возвышение выбрано правильно, то центробежная сила частично компенсируется и воздействие на путь, становится более равномерным. На практике же, полная компенсация не достигается. В результате возникает так называемое непогашенное поперечное ускорение.

Данное непогашенное ускорение определяется выражением:

$$a_n = \frac{v^2}{R} - \frac{gh}{S},$$

где a_n – непогашенное поперечное ускорение.

Именно это ускорение во многом определяет условия взаимодействия колеса и рельса при прохождении кривых участков пути.

При увеличении скорости движения поезда центробежная сила возрастает.

¹ Кузнецова Софья Романовна – студент группы СЖД-31, ИТСПС

² Кадыров Тимур Радикович – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

Центробежная сила, действующая на подвижной состав при движении по кривой, определяется выражением:

$$F_c = Rmv^2 ,$$

где F_c – центробежная сила;
 m – масса подвижного состава;
 v – скорость движения поезда;
 R – радиус кривой [2].

Соответственно увеличиваются боковые нагрузки на рельсы и элементы ВСП. Если фактическая величина возвышения наружного рельса отличается от расчетной, то это может привести к ускоренному износу рельсов, росту динамических воздействий и ухудшению условий безопасности движения.

В связи с этим, поддержание нормативного значения возвышения является важной задачей текущего содержания ж.-д. пути.

Устройство автоматизированного контроля возвышения рельса

Предлагаемое устройство предназначено для автоматизированного определения разности уровней рельсовых нитей на кривых участках ж.-д. пути.

В состав устройства входят измерительная рама, датчики расстояния, микроконтроллер, блок обработки сигналов и модуль передачи данных.

Датчики устанавливаются над головками рельсов и фиксируют расстояние до их поверхности. Полученные значения передаются на микроконтроллер. Далее выполняются обработка измерительной информации. Затем вычисляется величина возвышения наружного рельса.

Структурно система включает в себя измерительный модуль, блок обработки данных, модуль хранения информации, а также канал для передачи результатов в систему мониторинга жд инфраструктуры.

Для обеспечения точности измерения датчики закрепляются на измерительной раме, стабильное положение датчиков и защиту измерительных элементов от внешних воздействий. Также предусматривается возможность калибровки измерительной системы.

В качестве измерительных элементов могут применяться лазерные или ультразвуковые датчики расстояния, обеспечивающие требуемую точность измерений. Структурная схема устройства представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема устройства автоматизированного контроля возвышения рельса

Математическая модель определения возвышения

Возвышение наружного рельса определяется как разность уровней головок рельсов:

$$h = z_2 - z_1 \quad (3)$$

где

z_1 – уровень внутреннего рельса;
 z_2 – уровень наружного рельса;

При использовании датчиков расстояния уровни рельсов определяются выражением:

$$z_1 = L - d_1 \quad (4)$$

$$z_2 = L - d_2 \quad (5)$$

где

L – высота установки датчиков;

d_1 – расстояние до внутреннего рельса;

d_2 – расстояние до наружного рельса.

Тогда возвышение наружного рельса определяется выражением:

$$h = d_1 - d_2 \quad (6)$$

Схема расположения датчиков относительно рельсовых нитей представлена на рисунке 2.

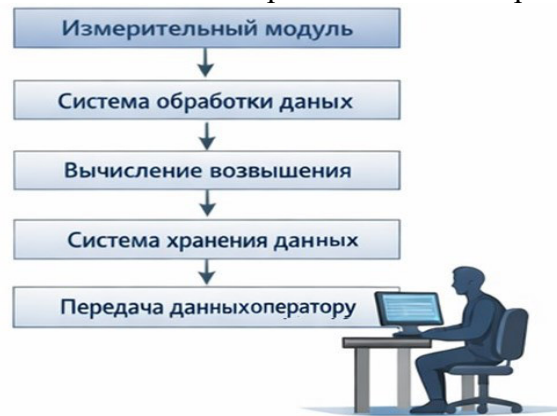


Рис. 2. Схема расположения датчиков на рельсах

Оценка погрешностей измерений

Точность определения возвышения наружного рельса зависит от точности применяемых датчиков.

Суммарную погрешность измерений можно определить выражением:

$$\Delta h = \sqrt{(\Delta d_1)^2 + (\Delta d_2)^2} \quad (7)$$

где

Δd_1 – погрешность измерения первого датчика;

Δd_2 – погрешность измерения второго датчика [3].

Алгоритм работы устройства автоматизированного контроля возвышения наружного рельса

Работа устройства основано на измерении расстояний до поверхностей головок рельсов с последующим определением разности их уровней. Процесс функционирования системы можно представить как последовательность этапов обработки измерительной информации.

На начальном этапе выполняется запуск измерительной системы. Включаются датчики расстояния, микроконтроллер и модуль передачи данных, после чего проводится проверка работоспособности основных элементов устройства.

Далее выполняется измерение расстояний до поверхности катания рельсов. Один датчик фиксирует расстояние до внутреннего рельса, второй – до наружного. Полученные значения обозначаются как d_1 и d_2 .

Микроконтроллер обрабатывает поступающие данные измерений выполняя их фильтрацию от шумов, проверку на корректность и усреднение.

Затем, возвышение наружного рельса определяется вычитанием расстояния до него из расстояния до внутреннего рельса:

$$h = d_1 - d_2 \quad (8)$$

где

h – величина возвышения наружного рельса;

d_1 – расстояние до внутреннего рельса;

d_2 – расстояние до наружного рельса.

Значение сравнивается с нормой, определяемого радиусом кривой и скоростью поездов.

Результаты измерений передаются в систему мониторинга жд инфраструктуры для анализа состояния пути и планирования ремонтов.

Чтобы получить более точные данные, мы берем среднее из нескольких измерений:

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1} d_i \quad (9)$$

где

d_i – результат одного измерения;

n – общее число измерений.

Этот способ помогает избежать проблем из-за случайных сбоев, и работает более стабильнее.

Алгоритм автоматически определяет возвышение наружного рельса, он отлично подойдет для системы диагностики жд пути [4].

Структура системы обработки показана на рис. 3.



Рис. 3. Структура системы обработки

Заключение. В статье описана разработка автоматического устройства для контроля возвышения наружного рельса на кривых. Проведен анализ существующих методов измерения геометрии пути и их недостатки. Создана специальная модель, которая позволяет определять возвышение рельса, просто измеряя расстояние до поверхности рельса. Это решение может быть использовано для создания систем, которые будут автоматически следить за состоянием и диагностировать жд пути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Методика определения возвышения наружного рельса в кривых участках пути : прил. к указанию МПС России от 17.03.1997 № С-333у. – М. : МПС России, 1997.
- 2 Бельтюков В. П., Андреев А. В. Оптимизация возвышения наружного рельса в железнодорожных кривых на основе стоимости межремонтного цикла // Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – Вып. 3. – С. 34–43. – DOI: 10.20295/2223-9987-2021-3-34-43.
- 3 Ниязгулов Ф. Х., Кривоус А. В. Исследование точности определения пространственного положения железнодорожного пути путеизмерительной тележкой Gedo // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 124–137. – DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-5-124-137.
- 4 Бурченков В. В. Автоматизированные системы контроля технического состояния подвижного состава и пути // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2020. – № 1 (50). – С. 13–25. (или аналогичная работа по автоматизированным системам диагностики).
- 5 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.
- 6 Бондаренко, А. А. Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньев пути / А. А. Бондаренко, С. В. Тишуков, О. М. Васильева // Путь и путевое хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 12-16. – EDN JOKKAY.
- 7 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорта. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УГОНА РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

А. С. Белко¹

Введение. Железнодорожный транспорт, являясь одной из ключевых составляющих транспортной системы страны, обеспечивает перевозку больших объёмов грузов и пассажиров, следовательно повышение безопасности движения поездов, равно как и надёжность инфраструктуры, представляет собой главную задачу, стоящую перед отраслью в развитии её [1].

Важнейшим элементом инфраструктуры выступает бесстыковой путь, обладающий рядом неспорных преимуществ в сравнении со стыковым. Повышение плавности хода подвижного состава, снижение динамических нагрузок, а также уменьшение затрат, которые направляются на текущее содержание пути, всё это входит в преимущества бесстыкового пути. Вместе с тем эксплуатация бесстыкового пути связана с возникновением ряда проблем, одной из которых выступает угон рельсовых плетей, представляющих собой их продольное перемещение, которое происходит относительно шпал и балластного основания [3].

Угон рельсовых плетей приводит к изменению температуры их закрепления и способен вызвать возникновение опасных напряжений – как растягивающих, так и сжимающих. Во время летнего периода подобное явление вызывает потерю устойчивости пути, может дойти даже до так называемого температурного выброса, а в зимний период, наоборот, может обернуться разрушением самих рельсовых плетей.

Исходя из этого своевременный контроль продольных перемещений рельсовых плетей приобретает особое значение, так как должного обеспечения обеспечения в рамках существующих методов диагностики практически нет. Данное обстоятельство, в свою очередь, диктует необходимости разработки современных автоматизированных средств, предназначенных для мониторинга состояния железнодорожного пути.

Основная часть

Анализ существующих методов контроля угона рельсовых плетей

В настоящее время контроль угона рельсовых плетей осуществляется следующими основными способами – визуальный контроль состояния пути (следы клемм на подошве рельсов, смещение подкладок по шпалам, перекося и раскантировки шпал, взбугривания балласта); контроль по створам, выполняемый при проведении генеральных осмотров пути; контроль по смещению контрольных сечений рельсовых плетей относительно «маячных» шпал [2, 3].

При использовании последнего метода на рельсовой плети и шпале наносятся контрольные риски, позволяющие фиксировать продольные перемещения рельсов. При обнаружении смещений до 5 мм выполняются мероприятия по проверке состояния креплений и их подтягиванию. При больших значениях смещения проводится расчёт изменения температуры закрепления рельсовой плети [2].

Изменение температуры закрепления может быть определено по выражению:

$$\Delta t = 85 \cdot \Delta L - L, \quad (1)$$

где ΔL – фактическое удлинение или укорочение рельсовой плети;

L – расстояние между «маячными» шпалами.

Фактическая температура закрепления определяется по формуле:

$$t_{ф.з.} = t_3 + \Delta t, \quad (2)$$

где t_3 – первоначальная температура закрепления рельсовой плети.

Несмотря на распространённость данного метода, он обладает рядом существующих недостатков – высокая трудоёмкость проведения измерений; зависимость результатов от

¹ Белко Анастасия Сергеевна – студент группы СЖД-31, ИТСПС

квалификации персонала; вероятность ошибок при нанесении рисок; невозможность непрерывного мониторинга состояния пути.

Кроме того, нанесение и обновление рисок требует нахождения работников непосредственно на железнодорожном пути, что увеличивает риск травматизма (рис.1).

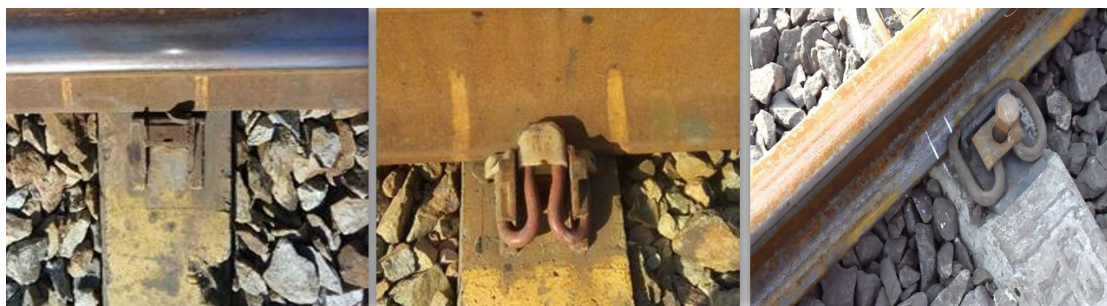


Рис. 1. Примеры нерегламентированного нанесения контрольных меток на рельсовую плетть

Концепция автоматизированного устройства контроля угона пути

Для устранения указанных недостатков предлагается разработка устройства автоматизированного контроля продольного перемещения рельсовых плетей, основанного на применении макромеханических (MEMS) инерциальных датчиков [4]. Акселерометр, входящий в состав такого датчика, представляет собой измерительный прибор, предназначенный для регистрации ускорений и способности определять изменения положения объекта в пространстве. Современные ёмкостные акселерометры позволяют измерять ускорения одновременно по трём осям координат и могут использоваться для регистрации как динамических, так и квазистатических перемещений. Применение указанных датчиков обеспечивает возможность регистрации малых перемещений элементов рельсошпальной решётки. В предлагаемой концепции устройство реализуется на базе современной элементной базы, включающей, микроконтроллер, комбинированные датчик (гироскоп+акселерометр), модули памяти, передачи данных и автономного питания с подзарядкой от солнечной панели [4].

Конструкция предлагаемого устройства

В основе работы устройства лежит микропроцессорный модуль (на базе Arduino Mini Pro с микроконтроллером ATmega328p или ATmega328pe) он осуществляет первичную обработку, фильтрацию и координацию периферии. Сигнал поступает с комбинированного датчика ((гироскоп+акселерометр) GY-521 на базе MPU-6050), измеряющего ускорение и угловую скорость по трём осям, что позволяет разделить гравитационную и динамическую составляющие для точного определения относительных перемещений рельса и шпалы. Для локального хранения предусмотрен модуль энергонезависимой памяти (на базе microSD). Передача информации на сервер происходит через модуль сотовой связи (GSM/GPRS), тип определяется от условий эксплуатации. Питание устройства совершается от автономного аккумуляторного блока с напряжением 5В, так же устройство имеет возможность подзарядки от солнечной панели через контроллер заряда, что позволяет минимизировать периодичность обслуживания [4].

Вышеперечисленные компоненты размещаются в защитном корпусе со степенью защиты не ниже IP-65, что обеспечивает работоспособность электронной аппаратуры в условиях повышенной влажности, перепадов температур, воздействия пыли и вибрации.

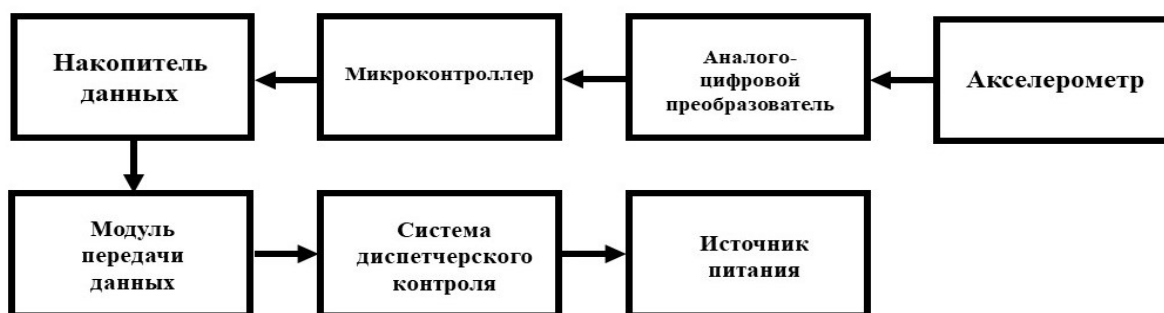


Рис. 2. Структурная схема устройства контроля угона пути

Установка двух комбинированных датчиков GY-521 (MPU-6050) производится непосредственно на элементы железнодорожного пути (рис. 3) – на шейку рельса (с внутренней либо внешней стороны колеи) и на откос шпалы (на удалении от рельсового скрепления) [4].

Это расположение датчиков обеспечивает фиксацию относительных продольных перемещений рельсов относительно шпал и анализ возникающих деформаций. Применение двух датчиков позволяет исключить влияние высокочастотных вибраций, создаваемых подвижным составом, и выделить низкочастотную составляющую сигнала, соответствующую продольному перемещению рельсовой плети.

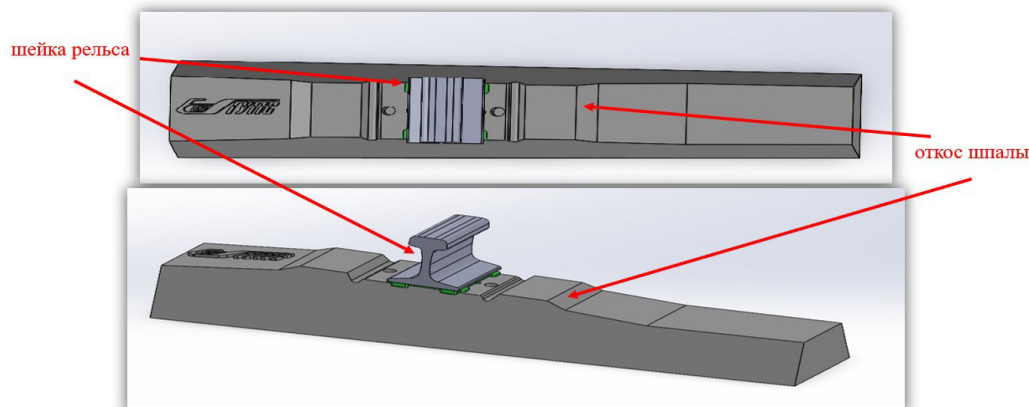


Рис. 3. Схема размещения устройства на элементах верхнего строения пути 1 – шейка рельса; 2 – откос шпалы

Алгоритм функционирования системы мониторинга

Комбинированные датчики GY-521 (MPU-6050), установленные на рельсе и шпале, непрерывно фиксируют изменения ускорения и угловой скорости по трём осям, опрашиваемые микроконтроллером Arduino Mini Pro с заданной частотой дискретизации. Полученные сигналы поступают на микроконтроллер для первичной обработки, фильтрации и компенсации шумов, после чего специализированное программное обеспечение (с реализацией алгоритмов инерциальной навигации, например комплементарного фильтра и фильтра Калмана) вычисляет ориентацию датчиков в пространстве и параметры их относительного продольного перемещения. Результаты измерений записываются во внешний модуль памяти для архивирования и одновременно подируются через модуль сотовой связи информационную систему управления инфраструктурой (технический отдел дистанции пути, табельную линейного участка, диспетчерский аппарат). На сервере полученные данные сравниваются с нормативными значениями, установленными действующей инструкцией; при превышении допустимых значений (более 5 мм) система формирует сигнал о возможном уgone рельсовой плети. Информация о выявленных отклонениях заносится в систему учёта состояния инфраструктуры (например, ЕКАСУИ) для назначения сроков устранения неисправности и планирования работ. Питание всех компонентов осуществляется от аккумуляторной батареи (5В), ёмкость

которой поддерживается за счёт подзарядки от солнечной панели, обеспечивая круглогодичную автономность устройства.

Преимущества предлагаемого решения

Разработка и внедрение автоматизированного устройства контроля угона пути обладает рядом преимуществ – повышение точности измерений продольных перемещений рельсов; раннее выявление дефектов бесстыкового пути; непрерывный мониторинг состояния пути; снижение трудоёмкости контроля; повышение безопасности работников., исключая необходимость частого нахождения на пути.

Кроме того, использование цифровых технологий мониторинга позволяет интегрировать систему в существующие комплексы управления инфраструктурой железных дорог.

Заключение

Контроль продольных перемещений рельсовых плетей бесстыкового пути, являясь одной из ключевых задач обеспечения безопасности движения поездов, представляет собой проблему, требующую комплексного подхода [1, 2]. Существующие применения контрольных рисков, характеризуются рядом недостатков, сопряжённых с высокой трудоёмкостью, а также невысокой точностью получаемых измерений.

Предлагаемая разработка – автоматизированное устройство контроля угона рельсовых плетей, функционирующее на основе измерения относительных смещений. Применение двухточечной системы установки «рельс-шпала» с использованием комбинированных датчиков, позволяет обеспечить более высокий уровень диагностики состояния железнодорожного пути. Исключение влияния человеческого фактора, автономность измерений, а также предсказуемость изменений температурного режима закрепления рельсовых плетей существенно повысят эффективность контроля.

Ввод данного устройства в работу обеспечивает непрерывное отслеживание продольных перемещений рельсов и позволяет своевременно выявлять опасные изменения температурного режима закрепления. Применяемые на основе полученных данных меры способствуют эффективному предотвращению аварийных ситуаций [5].

Таким образом, разработка интеллектуальных систем отслеживания состояния железнодорожного пути представляет собой перспективное направление развития путевого хозяйства и способствует повышению безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта, что является одним из ключевых факторов обеспечения надёжности перевозочного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363–р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».
- 2 Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2544/р.
- 3 Распоряжение ОАО «РЖД» от 29 декабря 2012 г. № 2788р «Об утверждении и введении в действие «Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути».
- 4 Васиуллина, В. Е. Разработка устройства контроля угона бесстыкового пути / В. Е. Васиуллина, Т. Р. Кадыров // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 138-141. – EDN OPACYL.
- 5 Покацкий, В. А. Угон бесстыкового пути в условиях обращения длинносоставных поездов и разработка предложений по его предотвращению: специальность 05.22.06 "Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Покацкий Владимир Афанасьевич. – Москва, 1990. – 24 с. – EDN VXVMVL.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ

В. В. Атапин¹, Е. Р. Синдюков²

Введение. Железная дорога в эксплуатации постоянно, от подвижного состава. При этом железнодорожный путь должен быть безопасным и долговечным. Но путь не может быть стабильным. Проблемами этому служат многие факторы. Большое количество поездов, которые изнашивают конструкцию верхнего строения пути. К тому же, балласт имеет свойство становиться загрязненным или слабо уплотненным. И ключевым фактором, который может допустить человек, несвоевременное обслуживание пути. Также воздействует погода, а точнее температура на бесстыковую рельсовую плеть. А именно, теплая погода вызывает расширение рельсов и может происходить смещение или угон пути. Холодная же, сжатие рельсов, и он становится более хрупким, что вызывает излом рельса. Поэтому, для обеспечения безопасности и надежности железнодорожного пути, при выполнении работ по укладке и закреплении рельсовых плетей, нужно учитывать температурные изменения и напряжения [1, 2, 3, 4, 5]. И от данной проблемы появляется сложность, которая является актуальной.

Приведем условный пример. Летом происходит укладка плети. Фактическая температура рельса составляет 10 градусов. Так как погода облачная, рельс поэтому, составляет такую температуру. Из-за этого приходится применять принудительный нагрев рельсовых плетей, чтобы достичь оптимальный температурный интервал. То есть использовать нагревательную установку «Прибор Зубова» и другие.

В настоящее время существует затруднение по нагреву рельсовых плетей, потому что большая часть рельсовых плетей вводится при температуре, не соответствующей оптимальной. Оптимальная температура закрепления плетей по дирекциям инфраструктуры прописана в «Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути», утверждённая Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 №2544р [6]. Также показано на рисунке 1.

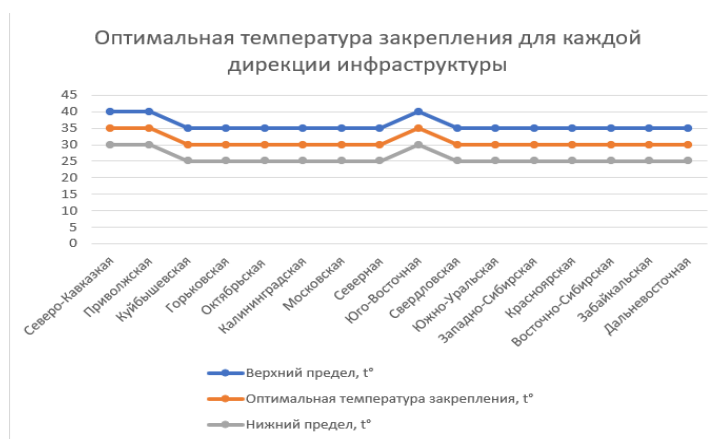


Рис. 1. Оптимальная температура закрепления для каждой дирекции инфраструктуры

Основная часть. Анализ показывает, что нагревательная установка инженера Зубова имеет распространенное применение на железной дороге. Она применяется чтобы решить задачу. Если работы происходят при низких температурах, то установка нагревает рельсовую плеть до оптимальной температуры закрепления. А также справляется с длинными рельсовыми плетями. Работает установка следующим образом. Железнодорожная платформа (рисунок 2) с нагревательной установкой, опускают на рельс горелки. Горючая смесь подается к форсункам и воспламеняется. Платформу начинают по не многу двигать для равномерного прогрева рельса.

¹ Атапин Виталий Владимирович – к.т.н., доцент, зав. кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

² Синдюков Ержан Ринатович – аспирант, ИТСПС



Рис. 2. Железнодорожная платформа с нагревательной установкой «Прибор Зубова»

Но у каждого устройства есть достоинства, именно у данного прибора является: работа в холодную погоду, тем самым надежная в применении; справляется с длинными плетями; равномерно нагревает рельс; удобно перемещать к месту работы, так как оснащается на обычную железнодорожную платформу или можно самодельную металлическую раму (рисунок 3). Недостатками служит: большой расход топлива; повреждения элементов промежуточных креплений; погода влияет на эффективность нагрева рельса; тоннели (металлический корпус, образуется как вакуум) не всегда выдерживают большие температуры и портится.



Рис. 3. Самодельная металлическая рама с нагревательной установкой «Прибор Зубова»

Также, еще существует более новая, это установка нагревательная для рельса, показана на рисунке 4 (УНР). Цель работы данного прибора такая же, нагреть рельсовую плетью до оптимальной температуры закрепления. Чтобы выполнить путевые работы. Но отличительным свойством является от прибора Зубова, что обслуживает один человек и используется для подачи горения пропан. Также, используется уже 4 горелки, а у установки Зубова 2 штуки.

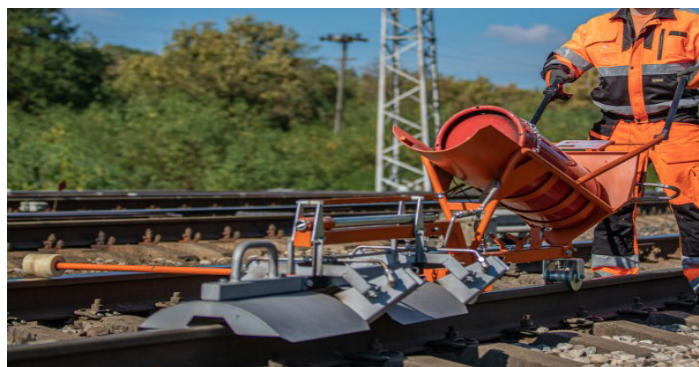


Рис. 4. Установка нагревательная для рельса (УНР)

Недостатками служит у установки нагревательной для рельса: нужно часто пополнять запасы пропана, так как емкость не большая. Нагревает только одну рельсовую нить. Также зависит от погоды, что может ухудшить нагрев рельса. Вес имеет 95 кг, что является тяжелым для переноса вручную. Нужно следить и делать проверку над устройством, могут возникнуть утечки газа.

Достоинства: регулируется высота горелок, что значительно повлияет на быстроту нагрева. За устройством находится один человек. Экономичное потребление газа: 1 горелка – 5 кг/ч.

Заключение. Однако, рассмотрев оба устройства, наблюдаем, что упираются на время нагрева, так как они не эффективны. Они зависимы от погоды (ветер, дождь, холод), это делает их работу долгой и продолжительной. Поэтому нужно решать с продуктивностью, а именно предложение следующее. Разработать специальную примесь для более правильной и безопасной работы и чтоб увеличило интенсивность нагрева рельса. Впоследствии чего привело меньшему расходу горючего топлива или газа. Тем самым технологический процесс уменьшится, где есть применение устройства для нагрева рельсовых плетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Атапин, В. В. Алгоритм определения участков пути, требующих проведения разрядки температурных напряжений / В. В. Атапин // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 2. – С. 79-84. – EDN GWJIVZ.
- 2 Ершов, В. В. О выборе температуры закрепления рельсовых плетей / В. В. Ершов, В. В. Атапин // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 18-21. – EDN UCAOKX.
- 3 Скутина, М. А. Влияние изменения температуры по поверхности и сечению рельса на устойчивость бесстыкового пути / М. А. Скутина // Транспорт Урала. – 2017. – № 1(52). – С. 81-85. – DOI 10.20291/1815-9400-2017-1-81-85. – EDN YIADBD.
- 4 Патент № 2687852 С1 Российская Федерация, МПК G01L 1/22, B61K 9/08, E01B 35/00. способ определения выброса плетей бесстыкового железнодорожного пути: № 2018125408: заявл. 10.07.2018: опубл. 16.05.2019 / Г. Л. Аккерман, М. А. Мыльникова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный университет путей сообщения" (УрГУПС). – EDN XYLJBQ.
- 5 Романов, А. В. Температурная работа плетей бесстыкового пути на участках обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов / А. В. Романов, А. А. Киселев, А. Н. Зубков // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2022. – № 3(59). – С. 58-65. – EDN YIVDHJ.
- 6 Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утверждённая Распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 №2544р.
- 7 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.
- 8 Бондаренко, А. А. Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньев пути / А. А. Бондаренко, С. В. Тишуков, О. М. Васильева // Путь и путевое хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 12-16. – EDN JOKKAY.
- 9 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШТУЧНЫХ ШАМОТНЫХ ОГНЕУПОРОВ

П. В. Рыжков¹, С. В. Соколова²

Введение. Повышение долговечности футеровок тепловых агрегатов является одной из приоритетных задач современного промышленного производства. Штучные керамические огнеупоры, в частности шамотные изделия, остаются наиболее распространенным материалом для футеровки благодаря доступности сырья и отработанной технологии производства. Однако в условиях эксплуатации при высоких температурах, циклических тепловых нагрузках и воздействии агрессивных сред шамотные огнеупоры подвергаются деструктивным процессам, приводящим к преждевременному выходу из строя футеровочных конструкций [1, 2].

Особую проблему представляет служба огнеупоров в промышленности строительных материалов, например, во вращающихся печах для обжига керамзита, где материал футеровки контактирует с силикатными расплавами, образующимися при частичном плавлении сырья.

¹ Рыжков Павел Вячеславович – аспирант, ИТСПС

² Соколова Светлана Владимировна – доцент кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

Проникновение расплава в поровую структуру огнеупора приводит к формированию зонального строения с различным коэффициентом термического расширения, следствием чего является отслоение и растрескивание рабочей поверхности [3]. Аналогичные проблемы характерны для футеровок вагонеток туннельных печей, подвергающихся интенсивному термоциклированию.

Одним из перспективных направлений повышения стойкости керамических огнеупоров является их структурно-химическая модификация путем пропитки активными химическими реагентами. В качестве модифицирующего агента особый интерес представляет ортофосфорная кислота (H_3PO_4), которая при взаимодействии с оксидами алюминия, кремния и железа, входящими в состав шамотных изделий, образует тугоплавкие фосфатные соединения (AlPO_4 , FePO_4 , SiP_2O_7 и др.), упрочняющие структуру материала и повышающие его термические характеристики [4-6].

Особый интерес представляет модификация не только плотных, но и пористых огнеупорных материалов, таких как пеношамот, используемый в качестве теплоизоляционных слоев футеровки. Высокая открытая пористость таких материалов создает предпосылки для глубокой пропитки и, соответственно, более существенного изменения свойств.

Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния пропитки ортофосфорной кислотой на физико-механические свойства плотных (шамот класса ШБ) и пористых (пеношамот марки 600) алюмосиликатных огнеупоров при различных температурах термообработки, а также выявление закономерностей изменения прочностных характеристик и плотности модифицированных материалов.

Основная часть. Исследование влияния пропитки алюмосиликатных огнеупоров и поризованных керамических материалов ортофосфорной кислотой на их физико-механические характеристики проводилось на образцах кубической формы размером $50 \times 50 \times 50$ мм. Образцы изготавливались путем выпиливания из шамотного кирпича класса ШБ (ГОСТ 390-96) и теплоизоляционного пеношамота марки 600, являющегося репрезентативной моделью высокопористой керамической структуры.

Пропитку образцов осуществляли в стеклянных емкостях с использованием ортофосфорной кислоты 70 %-ной концентрации в течение 24 часов в условиях естественной среды. По завершении процесса пропитки образцы выдерживались на воздухе в течение 15 минут, после чего подвергались термической обработке в интервале температур 200, 500, 800, 1000, 1200 и 1500 °С с изотермической выдержкой при максимальной температуре в течение 2 часов. Для каждого температурного режима определяли среднюю плотность и предел прочности при сжатии.

Результаты экспериментальных исследований, представленные в таблице, свидетельствуют о положительном влиянии пропитки как на плотные, так и на пористые разновидности шамотных материалов. Установлено, что предел прочности при сжатии пропитанных образцов плотного шамота после высокотемпературного нагрева возрастает в 1,5–2,0 раза по сравнению с исходными значениями, при этом наблюдается незначительное снижение средней плотности (на 1,0–1,5 %), обусловленное, вероятно, частичной возгонкой фосфорного ангидрида (P_2O_5) при высоких температурах.

Аналогичная закономерность зафиксирована для образцов пеношамота (рис.). После термообработки в диапазоне 200–500 °С прочностные характеристики возрастают также в 1,5–2,0 раза. Отличительной особенностью является существенное увеличение средней плотности (в 1,3–1,4 раза), что объясняется высокой открытой пористостью материала, обусловившей поглощение значительно большего количества кислотного модификатора по сравнению с плотным шамотом.

Примечательно, что ортофосфорная кислота не только повышает прочностные показатели шамотного огнеупора, но и способствует увеличению его огнеупорности и, соответственно, расширению температурного интервала эксплуатации. Пеношамот, несмотря на исходную высокую пористость, после модифицирующей пропитки также демонстрирует повышение огнеупорности до 1200 °С.

Влияние пропитки ортофосфорной кислотой и последующего нагрева алюмосиликатных огнеупоров на их физико-механические свойства

Тип огнеупора	Средняя плотность, г/см ³ в числителе и предел прочности при сжатии, МПа в знаменателе образцов огнеупоров после пропитки и последующего нагрева до температуры, °С.					
	200	500	800	1000	1200	1500
Шамот ША, не подвергнутый пропитке	1,82/18,4	1,92/19,5	1,93/19,5	2,06/19,5	2,02/19,3	образцы деформировались
Шамот ША, пропитанный Н ₃ РО ₄	2,07/44,9	2,17/42,4	2,07/37,9	2,04/36,9	2,06/39,7	2,05/41,5
Пеношамот ШЛБ-06, не подвергнутый пропитке	0,57/2,32	0,54/2,43	0,56/2,24	0,563/2,19	0,568/2,12	-
Пеношамот ШЛБ-06, подвергнутый пропитке	0,614/2,7	0,619/2,44	0,628/2,37	0,615/2,33	0,617/2,29	0,614/2,23

Рост прочностных характеристик модифицированных образцов обусловлен формированием в поровом пространстве при термообработке высокопрочных фосфатных соединений, таких как алюмофосфаты (AlPO₄), феррофосфаты (FePO₄) и кремнефосфаты (SiP₂O₇).

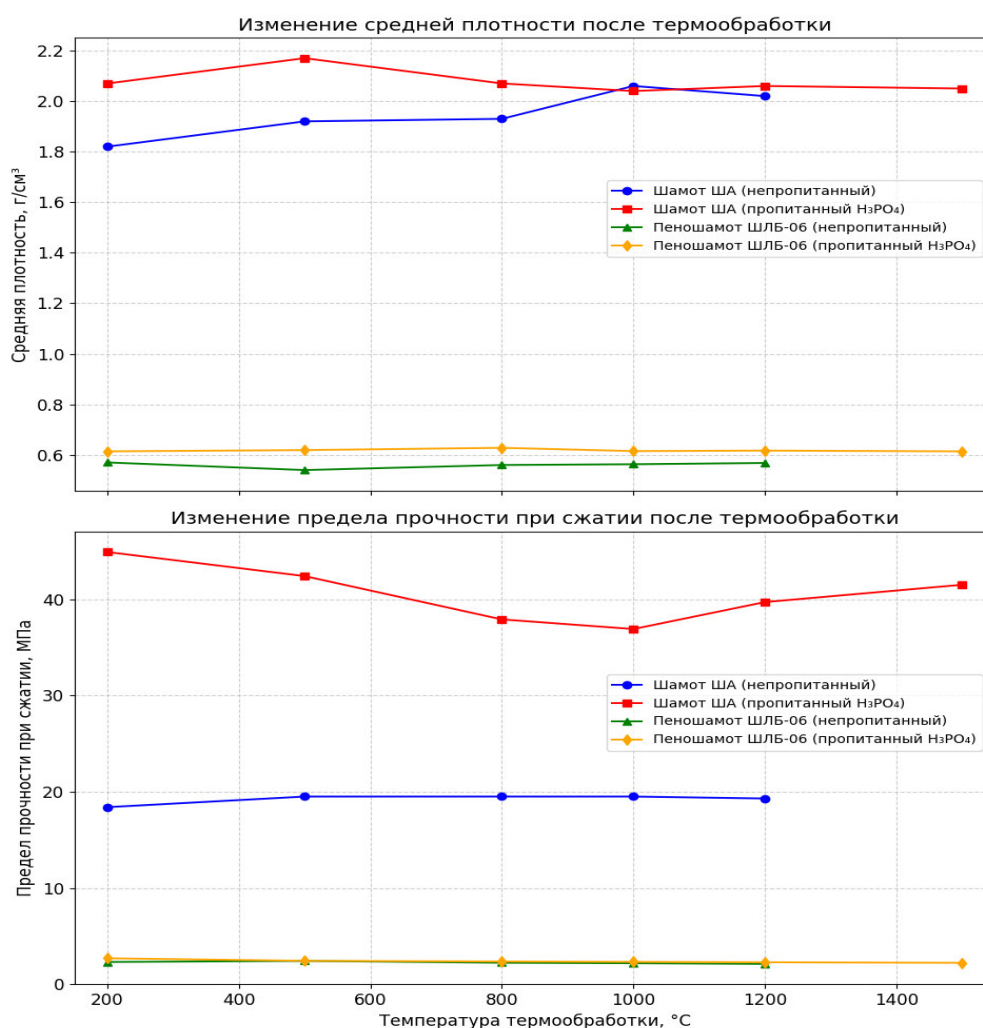


Рис. График влияние пропитки ортофосфорной кислотой и последующего нагрева алюмосиликатных огнеупоров на их физико-механические свойства

Данное предположение подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа. Физико-химические исследования модифицированных керамических огнеупоров и жаростойких бетонов на основе синтезированных композиционных вяжущих проводились с использованием комплекса современных методов анализа: рентгеноструктурного, дифференциально-термического, петрографического, а также электронной микроскопии.

Заключение. Совокупность проведенных лабораторных исследований позволяет заключить, что применение химически активных растворов для структурной модификации огнеупорных композитов (как штучных изделий, так и жаростойких бетонов) является эффективным способом повышения их физико-термических характеристик и, как следствие, долговечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хлыстов А.И., Соколова С.В. О службе шамотных огнеупоров в футеровке керамзитообжигательных печей / Огнеупоры и техническая керамика. 2007. № 5. С. 41-44.
- 2 Хлыстов А.И., Соколова С.В., Баранова М.Н., Коннов М.В., Широков В.А. Совершенствование технологии применения пропиточно-обмазочных составов и структурно-химической модификации алюмосиликатных огнеупоров / Огнеупоры и техническая керамика. 2015. № 10. С. 48-55.
- 3 Соколова С.В., Ченарева К.О. Использование структурно-химической модификации керамических огнеупоров с целью ремонта футеровок тепловых агрегатов / Технические науки – от теории к практике. 2016. № 10.
- 4 Хлыстов А.И., Соколова С.В., Коннов М.В. Направленная структурно-химическая модификация - один из путей повышения физико-термических характеристик алюмосиликатных и высокоглиноземистых огнеупоров / Огнеупоры и техническая керамика. 2010. № 11-12. С. 35-39.
- 5 Соколова С.В. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Исследование процессов структурной модификации жаростойких композитов растворами фосфатов / Самарская государственная архитектурно-строительная академия. Самара, 2006.
- 6 Соколова С.В. Изменения физико-механических характеристик штучных шамотных огнеупоров при проведении структурно-химической модификации. / Наука и образование транспорту. 2023. № 2. С. 239-242.
- 7 Зюзин, Д. О. Усиление железобетонных балочных пролетных строений композитным материалом / Д. О. Зюзин, А. С. Баранов, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 6(108). – С. 51-54. – EDN AJYQTD.
- 8 Соколова, С. В. Получение легких теплоизоляционных жаростойких бетонов на основе глин Никольского месторождения Самарской области и отходов промышленных производств / С. В. Соколова, С. В. Тишуков // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2026. – № 1. – С. 172-182. – DOI 10.26297/2312-9409.2026.1.13. – EDN NQNQBE.
- 9 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Д. В. Коновалов¹, А. С. Баранов²

Введение. На данный момент имеются различные виды наблюдения за искусственными сооружениями, которые позволяют обнаруживать дефекты, различные отклонения от плана объекта, наблюдение за определёнными движениями на искусственных сооружениях. Наблюдение за техническим состоянием объектов осуществляется ревизорами, главными инженерами, для этого производят геодезический контроль с помощью высокоточных теодолитов, нивелиров и тахеометров, также и по сей день присутствует визуальный осмотр, при котором в основном и выявляется повреждение конструкции. Теперь уже появилось новое понятие – цифровой двойник.

Цифровой двойник – это цифровая копия искусственного сооружения, которая позволяет воспроизвести различные ситуационные моменты на искусственных сооружениях или

¹ Коновалов Данил Викторович – студент группы СЖД-16, ИТСПС

² Баранов Александр Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

сымитировать реальные условия. Это позволяет еще с момента проектирования выявлять малые упущения и улучшать конструктив сооружения [1].

Основная часть.

В ходе анализа нескольких научно-исследовательских работ было выявлено, что создание цифровых двойников – это эволюционный метод мониторинга и прогнозирования состояния искусственных сооружений. Цифровой двойник оптимизирует множество показателей, таких как сроки строительства на 15–25 % благодаря четкому планированию, снижение затрат на 15–20 % за счет оптимизации закупок и контролю исполнения работ, уменьшение трудозатрат на 25 % за счет своевременного нахождения метода решения проблем. Что касается самой технологии, была выявлена успешная синхронизация виртуальной копии объекта, которая воспроизводит форму и действия оригинала (DT), с цифровой информационной моделью (BIM) и системой цифрового мониторинга (SHM), а также внедрение искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) для прогнозирования и решения ситуационных проблем. Также не обошлось и без ограничений: это отсутствие единых стандартов обмена данными DT, BIM и IoT-устройств, высокая стоимость внедрения и дефицит квалифицированных кадров [2-8].

Создание цифровых двойников происходит со сбора данных об объекте и сбора интернет вещей с IoT-устройств, географическом положении, геологической местности, виде эксплуатации, также различные данные собираются с датчиков (тензометры, акселерометры, датчики температуры, влажности, коррозии и т. д.). Собранные данные импортируются в определённую систему, где хранятся и обрабатываются для дальнейшего наблюдения или визуализации условий на объекте. Например, при сборе данных по температуре и колебанию ветра можно будет определить эти внешние воздействия на сооружение и принять необходимые меры для защиты от данных воздействий. Данные датчики остаются активными на протяжении эксплуатации объекта для возможности мониторинга в любое время. Что позволяет преждевременно реагировать на неожиданные изменения в сооружениях.



Рис. 1. Сеть физических устройств, которые оснащены датчиками.

Если искусственное сооружение на этапе проектирования, создается цифровая модель с нуля, в случае уже эксплуатируемого объекта создается цифровая копия, для быстрого моделирования используются несколько видов сканируемых технологий: цифровая фотограмметрия и лазерное моделирование.

Данные технологии объединяют возможность создания облака точек и способность привязки к местности. Фотограмметрия – это создание 3D-модели, за счет заснятых на записывающее устройство наборов изображений или разделения видео на секвенции. Данные изображения необходимо загрузить в специализированные программные обеспечения (ПО), такие как Autodesk ReCap Pro, Agisoft Metashape, RealityCapture и т. д., а уже в данных программных обеспечениях по изображениям создается облако точек. Если использовать

специализированные камеры с высоким разрешением, такие как DJI ZENMUSE P1, и специальные квадрокоптеры DJI M300 RTK (рис.2.), с данной технологией возможно за кратчайшие сроки сделать модель большой местности [9]. Данная технология отлично подойдет для бюджетного метода создания модели с плана.



Рис. 2. Фотограмметрическая камера DJI ZENMUSE P1 и квадрокоптер DJI M300 RTK

Лазерное сканирование – это же технология создания облака точек за счет выпуска большого пучка лазеров (точек), данная съемочная система позволяет вычислить расстояние от сканера до поверхности объекта и таким образом фиксирует точки на данных расстояниях. Данную технологию лучше использовать с новой системой GOSLAM RS300 (рис. 3.) для мобильного сканирования, что позволяет лучше фиксировать точки в пространстве за счет большого пучка точек в 640 000 точек/с и дальностью измерения в 300 м [10-11].



Рис. 3. Мобильный лазерный 3D Сканер GOSLAM RS300

Для сканирования искусственных сооружений, таких как мосты, методом фотограмметрии будет один недостаток: в полученном облаке точек не будет отображения подмостового габарита, это можно будет исправить за счет объединения технологий фотограмметрии и лазерного сканирования, необходимо проделать съемку лазерным сканером под мостовым габаритом и наложить полученные облака точек, таким образом мы получим полноценную 3D-модель. Созданная 3D-модель по облакам точек является всего лишь оболочкой, для дальнейшего создания цифровой информационной модели можно использовать программное обеспечение Autodesk Revit [12].

После создания цифровой информационной модели ее необходимо загрузить в одну из цифровых платформ для создания цифрового двойника, одна из таких платформ Bentley iTwin – цифровая платформа для визуализации (рис. 4.) и анализа цифровых двойников инфраструктурных проектов, позволяет также интеграции с BIM и ИТ-системами, возможность работать

с цифровыми моделями искусственных сооружений, связывать эксплуатационные процессы с проектной документацией и многое другое. Платформа может быть интегрирована с системами Bentley AssetWise ALIM которая подходит для полного наблюдения за объектом, она включает в себя такие функции, как техническое обслуживание и ремонты, которые включают планирование ППР, график работ, учет трудозатрат и материалов [13].



Рис. 4. Изображение предоставлено компанией Bentley Systems

Заключение

В ходе выполнения научно-исследовательской работы получен ряд результатов, имеющих теоретическую и практическую значимость для задач мониторинга и управления техническим состоянием искусственных сооружений транспортной инфраструктуры.

Систематизировано развитие методов наблюдения за искусственными сооружениями – от традиционных визуальных и геодезических обследований до современных цифровых технологий. Показано, что цифровой двойник является логическим этапом эволюции инженерного мониторинга, обеспечивающим переход от разрозненных измерений к непрерывной цифровой модели объекта, интегрированной с процессами эксплуатации и принятия решений.

Сформулирована структура цифрового двойника искусственного сооружения, включающая геометрическую 3D-модель, информационную (BIM) модель, данные мониторинга от IoT-датчиков и аналитический модуль. Установлено, что наибольший эффект достигается при объединении цифрового двойника с системами мониторинга (SHM) и инструментами анализа данных, включая элементы прогнозирования.

Обоснована целесообразность комбинированного применения фотограмметрии и лазерного сканирования для создания цифровых копий существующих искусственных сооружений. Выявлено, что фотограмметрия является эффективным и экономически целесообразным методом для моделирования протяжённых и открытых участков, тогда как лазерное сканирование обеспечивает высокую полноту и детализацию данных, включая труднодоступные зоны (подмостовые габариты, нижние поверхности конструкций). Совмещение облаков точек позволяет получить целостную и геометрически корректную 3D-модель объекта.

Определена последовательность создания цифрового двойника для эксплуатируемых сооружений, включающая сбор геометрических и эксплуатационных данных, формирование облака точек, построение цифровой информационной модели и её интеграцию в специализированную цифровую платформу. Показано, что данная последовательность обеспечивает оперативное формирование цифрового представления объекта без вмешательства в процесс его эксплуатации.

Проанализированы возможности использования цифровых платформ для эксплуатации цифровых двойников, в том числе для визуализации, анализа состояния и планирования технического обслуживания. Установлено, что применение таких платформ позволяет связать проектную документацию, результаты обследований и эксплуатационные данные в едином цифровом пространстве, повышая обоснованность управленческих решений.

Выявлены ключевые преимущества внедрения цифровых двойников, выражающиеся в сокращении сроков проектирования и обследования, снижении эксплуатационных затрат, повышении безопасности и возможности прогнозирования развития дефектов. Отмечено, что цифровой двойник позволяет перейти от реактивного обслуживания к превентивному и предиктивному управлению состоянием сооружений.

Определены основные ограничения и проблемы внедрения технологии, включая отсутствие единых стандартов обмена данными между BIM, цифровыми двойниками и IoT-системами, высокую стоимость внедрения и дефицит квалифицированных специалистов. Указано, что данные факторы носят в основном организационно-нормативный характер и могут быть устранены при дальнейшем развитии цифровых технологий и методической базы.

В совокупности полученные результаты подтверждают целесообразность применения цифровых двойников для искусственных сооружений и формируют основу для дальнейших прикладных исследований, направленных на разработку методик, стандартов и практических решений в области цифровой эксплуатации транспортной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Селин Н. А., Минкин Д. А., Блудовский А. Д. Цифровые двойники // Материалы XIII Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАИ 2020), Москва, 6–13 сентября 2020 года / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – 2020. – С. 660–662.
- 2 Li T. Digital Twin for Intelligent Tunnel Construction – A Review / T. Li // Automation in Construction. – 2024. – Т. 158. – Ст. 105210.
- 3 Weil, C., Bibri, S. E., Longchamp, R., Golay, F., Alahi, A. Urban Digital Twin Challenges: A Systematic Review and Research Agenda / C. Weil, S. E. Bibri, R. Longchamp, F. Golay, A. Alahi // Sustainable Cities and Society. – 2023. – Т. 99. – Ст. 104862.
- 4 Mazzetto, C. A Review of Urban Digital Twins Integration, Challenges, and Future Directions in Smart City Development / C. Mazzetto // Sustainability. – 2024. – Т. 16, № 19. – Ст. 8337.
- 5 Michael, J., Smith, A., Johnson, B., Lee, C., Patel, R. Integrating models of civil structures in digital twins: state-of-the-art and challenges / J. Michael, A. Smith, B. Johnson, C. Lee, R. Patel // Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience. – 2024. – Т. 3, № 3. – Ст. 100100.
- 6 Buuveibaatar, M., Shin, S., Lee, W. Digital Twin Framework for Road Infrastructure Management / M. Buuveibaatar, S. Shin, W. Lee // Applied Sciences. – 2025. – Т. 15, № 10. – Ст. 5765.
- 7 Azanaw, G. M. Digital Twins, BIM, and AI Applications in Construction / G. M. Azanaw // Indian Journal of Structure Engineering. – 2024. – Т. 4, № 2.
- 8 Bornholdt, M., Herbrand, M., Smarsly, K., Zehetmaier, G. Digital-Twin-Based Structural Health Monitoring of Dikes / M. Bornholdt, M. Herbrand, K. Smarsly, G. Zehetmaier // CivilEng. – 2025. – Т. 6, № 3. – Ст. 39.
- 9 DJI UAV : каталог / LLC «ГСИ» ; [Электронный ресурс]. – URL: https://www.gsi.ru/catalog/bpla_dji (дата обращения: 18.12.2025).
- 10 Солодунов А. А., Пшидаток С. К., Лукьянова М. С., Сарксян Л. Д. Виды лазерного сканирования // OLLOQUIUM JOURNAL. – 2019. – № 27 (2), 51. – С. 83–86.
- 11 Лазерный сканер Goslam RS300 / ООО «ГСИ». [Электронный ресурс]. URL: https://www.gsi.ru/catalog/laser_scanner/goslam_rs300 (дата обращения: 18.12.2025)
- 12 Бородин Д. Д. Виды программных комплексов для информационного моделирования зданий и сооружений // Инновационная наука. – 2019. – № 3. – С. 32–34.
- 13 ITwin Digital Twins / Bentley Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://irinvest.ru/products/bentley-systems/itwin-digital-twins> (дата обращения: 18.12.2025).
- 14 СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, № 2, № 3, № 4, № 5) / Минстрой России. – М.: Стандартинформ, 2019.
- 15 Тишуков, С. В. Роль цифровых технологий в современной железнодорожной транспортной логистике / С. В. Тишуков, А. В. Лебедев, Д. А. Чемоданов // Дни студенческой науки : Сборник материалов 51-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 06–26 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 14-15. – EDN RBVNT0.

ОБСЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПОДВОДНЫХ ЧАСТЕЙ ОПОР

А. А. Жвавая¹, А. С. Баранов²

Введение. Подводные части опор – это элементы конструкций, которые находятся ниже отметки наивысшего уровня воды, включая фундамент и часть тела опоры, а также грунт дна в непосредственной близости от неё. Они подвержены интенсивному воздействию водной среды. Это ускоряет развитие: коррозии арматуры, гидроабразивного износа, размывы дна и так далее. Качественное обследование в нужное время этих частей необходимо – своевременное обследование обеспечит безопасность движения, продления срока службы искусственного сооружения и, естественно, предотвращение аварий. В настоящее время внедряются ОАО «РЖД» современные технологии – ТНПА («Телеуправляемые подводные данные и аппараты») Стоит учесть, что также внедряются и геофизические методы. Благодаря ТНПА и методам, появляется возможность повысить актуализацию данных и понизить трудоёмкость. При обследовании подводных опор решается ряд определённых задач. К этим задачам можно соотнести установление соответствия искусственных сооружений проектам, проверка качества во время строительства и ремонта, и определения состояния данного сооружения. В их способности должно входить противостояние высоким водам, ледоходу, влияние внешней среды и тому подобное.

Цель работы – провести алгоритм комплексного обследования подводных частей опор у искусственных сооружений, которые должны производить безопасность при движении транспорта.

Основная часть. Стоит сразу же начать изучение с ключевых данных у ОАО «РЖД». Одним из таких является «Инструкция по охране труда для работ по обследованию искусственных сооружений – объектов инфраструктуры ОАО «РЖД»». Либо же кратко – ИОТ-РЖД-4100612-ЦДИ-325-2024. Он был утверждён ОАО «РЖД» от 25 октября 2024 года. Введён с работы с 1 января 2025 года. Последняя редакция была произведена 15 октября 2025 года (распоряжение ОАО «РЖД» №2174/р). Данная инструкция устанавливает требования по безопасности во время работ на искусственных сооружениях (на мостах), рубках, путепроводах и тому подобное. В инструкции присутствуют разделы: общие требования охраны труда, требования охраны труда перед началом работы, требования охраны труда во время работы, требования охраны труда в аварийных ситуациях, и требования охраны труда по окончанию работы.

Перейдём к ГОСТу (Межгосударственный стандарт). К данной сфере относится ГОСТ Р 59617–2021 – Национальный стандарт Российской Федерации, под названием «Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Правила обследования фундаментов опор. Был введён 1 января 2022 года и действует по настоящее время.

При проведении необходимых обследований надо строго соблюдать вышенаписанных инструкции и ГОСТа. Это позволит обеспечить единый подход к оценке состояний искусственных сооружений, а также принятие обоснованных решений для дальнейшей эксплуатации.

Перед тем, как поговорить о подводной части и её нюансах, стоит учесть, что обследование и проверка искусственных сооружений проводится с надводной части (суша). Применяются целый визуальный и инструментальный комплекс контроля.

С помощью визуального комплекса возможно сразу же увидеть различные видимые дефекты: трещины, оголение арматуры, следы коррозии и тому подобное.

Инструментальный комплекс контроля включает в себя определение геометрических параметров, прочности бетона неразрушающими методами контроля, диаметра арматуры в конструкции и тому подобное.

Эти нюансы дают полную картину технического состояния искусственных сооружений с надводной части. Позволят сделать прогноз на её долговечность без разборки

¹ Жвавая Анна Алексеевна – студент группы СЖД-34, ИТСПС

² Баранов Александр Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

сооружения. Ниже будет представлена таблица с этапами обследования надводной части опор искусственных сооружений (табл.1):

Таблица 1

Этапы обследования надводной части опор искусственных сооружений

Этап	«Что делают?»	«Чем?»	Результат
Визуальное обследование	Происходит поиск: трещин, скол, коррозии, протечек и так далее.	Используют: Глаза, лупа, линейка, молоток и так далее.	Получают: фотофиксацию, дефектную ведомость с привязкой повреждений.
Инструментальное обследование	Замеряют: геометрию, прочность бетона, арматуры и так далее.	Используют: нивелир, тахеометр, лазер, ультразвук и так далее.	Получают: фактические значения прочности, положения арматуры и глубины карбонизации.

Ранее говорились об ТНПА. Данный аппарат является ключевым прибором для обследования подводных частей сооружений. ТНПА связан с носителем с помощью кабеля-троса, через который передаются сигналы управления, электропитания и так далее (рис.1)



Рис. 5. Пример ТНПА. Модель: ТНПА Марлин-350.

Аппарат ТНПА способны передавать информацию в реальном времени. Есть способность перемещаться, проводя детальный осмотр конструкций искусственных сооружений без присутствия специализированных людей – водолазов. Стоит отметить разнообразие видов ТНПА:

1. ГНОМ-микро – применяется в дайвинге, рыбном хозяйстве. Максимальная его глубина – 50 метром, скорость – до 2 узлом (1 узел = 1,85 км/ч).
2. ГНОМ-стандарт – необходим в осмотре судов, строительных работах, в поисково-спасательных работах и так далее. Рабочая глубина = 120 метром, скорость – до 2 узлом.
3. ГНОМ-супер – применяется в АЭС и нефтедобывающих отраслях. Модернизированный вариант работает на глубине до 300 метров.

Таблица 2

Сравнительный анализ модификаций видом НТПА-ГНОМ

Модификация/Параметр	Глубина	Скорость	Кол-во двигателей	Длина кабеля	Датчик глубины	Вес модуля	Вес системы
ГНОМ-микро	50 метров	До 2 узлом	3	75 метров	нет	1,55 килограммов	11 килограмм
ГНОМ-стандарт	120–150 метров	До 2 узлом	4	До 200 метров	есть	3 килограмма	18 килограмм
ГНОМ-гигант	150–300 метров	До 3 узлом	4	До 200 метров	есть	4 килограмма	25 килограмм

Дальнейшая речь пойдёт, как раз-таки, ГНОМ. Данное устройство было разработано российскими учёными из океанологического института имени П. П. Ширшова: Лев Утяков (автор идеи аппарата) и Борис Яковлевич Розман (руководитель группы разработчиков. Директор ООО «Индэл-Партнёр»). Прибор был предназначен для обследования подводных частей сооружений в морских и внутренних водах. Также его использовании для осмотра полостей резервуаров и гидротехнических сооружений.

Для проверки искусственных сооружений используются различные ГНОМы. Ниже будет представлена таблица с характеристиками аппаратов (табл.2):

Однако этот метод и аппарат достаточно трудоёмки. Они требуют дополнительных мероприятий по подготовки не всегда работает. Происходит это из-за плохой видимости и сильного течения. Поэтому придумали другие методы: георадиолокацию (производится: проверка и изучение дна и донных отложений; обнаружение затоплений; обследование подводных частей железобетонных конструкций), сейсмоакустический (используются: для мониторинга состояния трубопроводов под водой и контроля состояния гидротехнических сооружений) и сейсморазведки (используются: изучение строения морских осадков и разрезов; обнаружение опасных объектов; оценка несущей способности). Можно подвести, что эти три метода способны определить тип фундамента и глубину заложения. В их способность входит фиксация скрытых элементов конструкции. Чтобы получить с помощью них точные данные стоит использовать одновременно не менее двух методов. Это позволит сравнивать результаты, чтобы были достоверные данные. Если надо провести локальный контроль дефектов - тут необходим использовать ультразвуковые дефектоскопы. В их работу входит определения глубин трещин в любом материале (например, бетон).

Помимо ТНПА и трёх методов используется и другой метод, не относящийся к вышеперечисленным. Метод – тензовибродиагностики, активно внедряющийся в ОАО «РЖД». Он производит оценку технического состояния объектов, основываясь на деформациях так далее. По этому методу используется измерительный комплекс – «Тензор МС». Производителем комплекса является ООО «Лаборатория неразрушающего контроля». В него входят: датчики температуры и тензодатчики – устанавливаются на металлические столы. Они смонтированы на специальной опоре, находящейся выше или ниже уровня воды. Полученные данные с помощью комплекса передаются на телефон работника и способны обрабатываться с помощью мобильного приложения.

Использование ТНПА и данного метода одновременно способны показывать полную картину данных, чем используя их по отдельности. Обследование опор с помощью ТНПА выполняется по частям. Для начала аппарат погружают до уровня грунта. Там производится оценка дна и, естественно, подошвы фундамента искусственных сооружений. Потом включают видеозапись и поднимают с помощью управления ТНПА, проверяя на сооружениях дефекты, коррозии и тому подобное. Как только ТНПА находит дефект, то аппарат останавливают и фиксируют п, осматривают строго под углом 90 градусов. Это делается для точности измерений. Размеры дефектов определяют с помощью лазерным дальномером ТНПА. Полученные результаты заносят/записывают в журнал.

Даже с такими аппаратами и методиками – всё равно невозможно отказаться от человеческого труда. Например, в России существуют водолазные станции, занимающиеся обследованием подводных частей. Использование ТНПА может быть ограничено из-за ряда причин: плохой видимости, высокая скорость течения и сложного рельефа дна. И как раз с этими проблемами способны справиться водолазы, которые могут тактично оценить поверхности, обнаружить дефекты и так далее. Поэтому можно выделить комбинированный подход. Сначала используется визуальное обследование вместе с инструментальным. Туда входит и геодезия, и контроль прочности, и армирование. Дальше же идёт обследование подводной части с помощью ТНПА во время благоприятных условиях, иначе - применяется работа водолазов.

Заключение. Современные технологии: ТНПА, геофизика и метод тензовибродиагностики, способны повысить качество, точность и достоверность данных. Также снизить трудоёмкость и обеспечить инфраструктуру ОАО «РЖД». Комбинирование данных методов даёт возможность

комплексно воспроизводить мониторинг опор. При строгом соблюдении документов ИОТ-РЖД-4100612-ЦДИ-325-2024 и ГОСТ Р 59617–2021 можно получить полную гарантию подходов к оценке состояния и решения эксплуатации и ремонту искусственных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Алексей Алексеевич Бондаренко, Алексей Алексеевич Рословец, Ольга Михайловна Васильева Особенности обследования подводной части опор мостов и русел водотоков современными диагностическими комплексами // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. №4 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-obsledovaniya-podvodnoy-chasti-opor-mostov-i-rusel-vodotokov-sovremennymi-diagnosticheskimi-kompleksami>
- 2 Распоряжение Минтранса России (Министерство транспорта РФ) от 16 ноября 2021 г. №ВТ-235-р "Об утверждении Методических рекомендаций по содержанию искусственных сооружений в области железнодорожного транспорта"
- 3 СП 79.13330.2012 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86 (с изменением № 1)
- 4 Зюзин, Д. О. Усиление железобетонных балочных пролетных строений композитным материалом / Д. О. Зюзин, А. С. Баранов, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 6(108). – С. 51-54. – EDN AJYQTD.
- 5 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БОКОВЫХ СИЛ В УСЛОВИЯХ НЕСОБЛЮДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА В КРИВОЙ

А. С. Нечушкин¹, Д. В. Грекова², Е. С. Трегубова³

Введение. При движении подвижного состава в кривом участке пути возникает центробежная сила, направленная от центра кривой и стремящаяся выбросить экипаж наружу. Для компенсации этого воздействия, а также обеспечения безопасности и плавности хода, наружную рельсовую нить укладывают выше внутренней. Вводится понятие – возвышение, экипаж наклоняется внутрь кривой, что приводит к появлению центростремительной силы, направленной в противоположную центробежной силе сторону. Возникшая центростремительная сила прижимает гребни колес к внутренней рельсовой нити, что позволяет компенсировать воздействие центробежной силы на подвижной состав.

Для создания возвышения рельсошпальную решётку наклоняют – как правило используется дополнительный балластный материал, подсыпaeмый под внешние концы шпал. В основном, применяется на криволинейных участках пути радиусом 4000 метров и менее, конкретная величина определяется радиусом кривой и скоростью. Согласно действующим нормативам, максимальное возвышение наружного рельса в кривой с учетом допусков на содержание пути не должно превышать 150 мм. При этом дополнительно контролируется параметр непогашенного ускорения, который рассчитывается на основе фактических значений кривизны пути, возвышения и скорости движения на участке пути. Норматив непогашенного ускорения дифференцируется: для пассажирских поездов это значение составляет 0,7 м/с², для грузовых поездов этот показатель не должен превышать 0,3 м/с² (условие предотвращения опрокидывания и износа пути).

¹ Нечушкин Александр Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

² Грекова Дарья Васильевна – студент группы СЖД-21, ИТСПС

³ Трегубова Елизавета Сергеевна – студент группы СЖД-21, ИТСПС

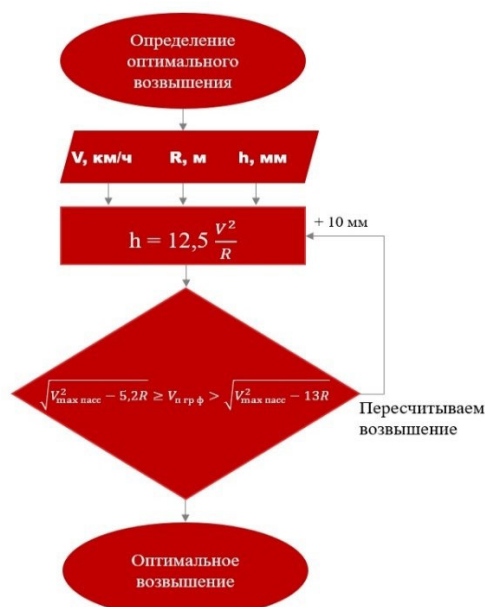


Рис. 1. Алгоритм определения оптимального возвышения

Описание математической модели

В рамках работы, было проведено имитационное моделирование в программном комплексе «Универсальный механизм». В качестве объекта исследования был выбран грузовой вагон с тележкой модели 18-100. Расчётный эксперимент производился для четырёх радиусов: 350; 600; 900; 1200 метров, что позволило охватить диапазон от кривых малого радиуса до пологих. Учитывались такие параметры как:

- скорость движения (25км/ч, 50 км/ч, 75 км/ч, 100 км/ч),
- возвышение наружного рельса (от 0 до 150 мм, с шагом в 10 мм).

Таблица 1 - Величина боковых сил в кривой радиусом 350 м					Таблица 2 - Величина боковых сил в кривой радиусом 600 м				
Наружный рельс					Наружный рельс				
Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч				Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч			
	25	50	75	100		25	50	75	100
0	41318	46843	59212	77179	0	33156	36241	41727	47414
10	40396	46219	58183	71987	10	32833	35725	41764	45816
20	37999	45781	56933	72763	20	31217	35020	39112	46396
30	37865	43749	56163	71898	30	30975	33578	39056	45621
40	36654	43366	54486	69363	40	29790	33054	38056	44166
50	35749	44032	54054	68256	50	28793	31670	37201	41893
60	34256	42585	53405	71452	60	26864	30239	37032	41624
70	33666	39309	52265	70974	70	26059	29638	35401	40802
80	33005	39906	50984	66541	80	24686	28725	34082	39777
90	31902	40834	50311	65275	90	24858	26937	33153	41195
100	30366	36793	48452	65223	100	23604	26566	33128	38087
110	28265	38142	49953	65275	110	22953	25964	31260	38894
120	28308	36632	49002	63215	120	21631	24773	32310	40494
130	26723	35702	48867	66109	130	21365	23220	30225	37455
140	26005	32680	48323	61162	140	20857	23926	29058	38198
150	24798	33412	46871	60838	150	19459	22758	28800	38438

Внутренний рельс					Внутренний рельс				
Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч				Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч			
	25	50	75	100		25	50	75	100
0	31479	29413	24816	17722	0	26328	25133	21377	15072
10	32109	29842	24869	18432	10	26854	24997	22632	16451
20	32775	30177	25285	18588	20	28209	25338	23298	18113
30	33261	30548	25639	18748	30	28055	26011	23047	17861
40	33974	31177	26026	20100	40	28841	26307	23856	18381
50	34273	31270	26403	20293	50	29495	26820	24523	17741
60	34713	31762	27059	21470	60	30057	27372	24910	18660
70	35321	32357	27221	21600	70	30387	28035	24684	19252
80	35489	32754	27900	21276	80	31076	28612	25353	19695
90	35993	33772	27974	21595	90	31751	28982	26001	21856
100	36207	33907	28278	22829	100	32259	29937	26194	20404
110	36520	33893	28915	24236	110	33972	30296	26316	21718
120	37154	34226	29031	23284	120	33854	31264	28017	22290
130	37174	34367	29845	24539	130	34461	31415	27645	22177
140	37688	34789	30332	24500	140	35065	32032	29262	23985
150	38505	35283	30767	24858	150	35816	32883	28829	24636

Рис. 2. Сопоставление боковых сил и допустимого значения непогашенного ускорения для радиусов 350 м и 600 м

Выходными параметрами модели для каждой из величин боковых сил определены фиксируемые значения, действующие на наружную и внутреннюю рельсовые нити. Далее в работе проводился сравнительный анализ полученных значений боковых сил, действующих на наружную и внутреннюю рельсовые нити. Установленные значения уравнивания центробежной и центростремительной силы выделены красным. Также в работе было рассчитано непогашенное ускорение для всех сочетаний входных параметров. Затем определено сопоставление полученных значений с нормативным ограничением $0,7 \text{ м/с}^2$, что позволило рассмотреть вопрос оптимального возвышения с двух сторон, со стороны силового воздействия в системе «колесо-рельс», так и по официальной методике определения возвышения на основе определения непогашенного ускорения.

Таблица 3 - Величина боковых сил в кривой радиусом 900 м					Таблица 4 - Величина боковых сил в кривой радиусом 1200 м				
Наружный рельс					Наружный рельс				
Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч				Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч			
	25	50	75	100		25	50	75	100
0	24756	26246	27874	31361	0	18609	19912	22593	23590
10	23544	24524	28306	30245	10	17726	18895	21222	22501
20	22162	23671	27166	28695	20	15947	18259	18837	23271
30	21576	23496	25309	29987	30	14634	16265	18588	22220
40	19515	21067	24124	30085	40	13859	15815	19130	20840
50	18870	20800	25516	28436	50	13089	14533	18231	21001
60	17855	20225	23868	27033	60	12755	12608	16893	20745
70	17045	18829	23662	28083	70	10754	12897	15438	20128
80	15438	18187	20617	27412	80	10586	11043	15350	19032
90	16423	17944	21133	26266	90	10409	11895	14265	17263
100	14158	16282	19787	25344	100	10155	11164	12386	16316
110	14625	16580	18951	24629	110	9131	10332	12580	16631
120	14389	16339	18534	23443	120	9220	10211	10831	17163
130	13314	14902	18135	24382	130	7365	8578	12132	16169
140	13629	14962	16604	23551	140	8118	9264	10269	15545
150	11192	13836	17261	23353	150	6843	8000	11487	14253
Внутренний рельс					Внутренний рельс				
Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч				Возвышение наружного рельса, мм	Скорость движения грузового вагона, км/ч			
	25	50	75	100		25	50	75	100
0	20569	18845	15578	11487	0	16529	15169	13322	9922
10	21129	19193	16593	12283	10	17273	15812	13955	10453
20	21500	19630	17089	12443	20	17513	16331	14136	11463
30	22314	20587	17829	13762	30	17862	16603	14746	11948
40	22472	20781	18194	14586	40	18565	17334	15692	12594
50	23501	22004	19089	14940	50	19213	17906	16106	13549
60	23953	22297	19907	15451	60	19963	18361	16801	14029
70	24701	22759	20339	16669	70	20540	18940	17038	15972
80	25316	23530	20391	17180	80	21456	19456	17823	15246
90	26391	24361	21357	17881	90	22302	20902	18407	15371
100	26516	24992	21882	18394	100	23288	21510	18488	16637
110	27695	25863	22753	19932	110	23947	22202	19557	17169
120	28666	26806	23029	19408	120	24669	23012	20566	17223
130	29334	27211	24547	20529	130	25306	23534	21088	18007
140	30051	28111	24668	21490	140	26291	24704	21735	18457
150	30544	28447	25571	21517	150	27007	25188	23024	19155

Рис. 3. Сопоставление боковых сил и допустимого значения непогашенного ускорения для радиусов 900 м и 1200 м

Вывод

В ходе имитационного моделирования выявлен оптимальный диапазон возвышения наружного рельса в кривых участках пути. Для проверки математической модели на адекватность требуется провести регрессионный анализ. Затем необходимо выполнить натурный эксперимент по методу Шлюмппа, что позволит всесторонне верифицировать рекомендуемый диапазон и подтвердить практическую применимость полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденная распоряжением ОАО "РЖД" № 2288р от 14.11.2016.
- 2 Программный комплекс "Универсальный механизм" [Электронный ресурс]. URL: <https://umlab.ru>.
- 3 Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути, утвержденная распоряжением ОАО "РЖД" от 14.12.2016 N 2544р.
- 4 Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов, утвержденная распоряжением ОАО "РЖД" от 28.02.2020 N 436/р (ред. от 09.11.2020).
- 5 ГОСТ 34759-2021 «Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний».

- 6 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.
- 7 Бондаренко, А. А. Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньев пути / А. А. Бондаренко, С. В. Тишуков, О. М. Васильева // Путь и путевое хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 12-16. – EDN JOKKAY.
- 8 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

ВЛИЯНИЕ ОТСТУПЛЕНИЙ В ГЕОМЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ НА СИЛОВЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»

В. В. Атапин¹, К. М. Пестов²

Введение. Геометрия рельсовой колеи играет ключевую роль в формировании характера взаимодействия системы «колесо–рельс». Особое значение имеет ширина колеи: отклонения от нормативных значений вызывают изменения силовых параметров системы. Это приводит к ускоренному износу как пути, так и подвижного состава, а также создаёт угрозу безопасности движения.

Важным фактором также выступает соотношение различных видов напряжений в рельсе. Контактные напряжения в системе «колесо–рельс» существенно превосходят изгибные. Это напрямую определяет долговечность рельса. Очаги усталостных повреждений возникают именно в зоне контакта колеса с головкой рельса, задавая предельный ресурс рельсовой нити.

В связи с этим особую актуальность приобретает исследование влияния уширения колеи. При изменении ширины колеи происходит изменение геометрии пятна контакта колеса и рельса. Это, в свою очередь, меняет распределение локальных нагрузок и может стать инструментом для оптимизации взаимодействия системы «колесо–рельс».

Не менее значимым фактором, влияющим на взаимодействие системы «колесо–рельс» в кривых участках пути, является возвышение наружного рельса над внутренним. Оптимальное возвышение представляет собой расчётную величину, при которой достигается баланс между:

- погашением центробежной силы за счёт горизонтальной составляющей веса подвижного состава;
- равномерным распределением вертикальной нагрузки на обе рельсовые нити (что критически важно для предотвращения ускоренного износа наружного рельса);
- обеспечением допустимого уровня непогашенного ускорения (не более 0,7 м/с² для пассажирских поездов), гарантирующего безопасность и комфорт движения.

Величина оптимального возвышения рассчитывается по формуле

$$h = \frac{12.5 \cdot v^2}{R},$$

где V – скорость движения, а R – радиус кривой. Несоблюдение этого баланса приводит к негативным последствиям: при недостаточном возвышении возрастает боковая нагрузка и сопротивление движению, а при избыточном – ухудшается плавность хода и ускоряется износ внутренней нити.

Начальные условия имитационного моделирования

Для проведения комплексного исследования динамики взаимодействия подвижного состава с рельсовой колеёй в условиях уширения пути был выбран специализированный программный комплекс «Универсальный механизм». Данный инструмент позволяет создавать детальные расчётные схемы механических систем, моделировать их кинематику и динамику, а также анализировать силовые воздействия и контактные напряжения в узлах взаимодействия.

¹ Атапин Виталий Владимирович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Железнодорожный путь и строительство»

² Пестов Кирилл Михайлович – аспирант, ИТСПС

Объектом моделирования выступил типовой четырёхосный грузовой вагон, оснащённый двухосными тележками модели 18-100.

Условия моделирования включали следующие ключевые параметры:

1. Радиусы кривых участков пути. Анализ проводился для четырёх характерных значений радиуса: 350, 600, 900 и 1200 м.
2. Скоростной режим. Движение вагона моделировалось в широком диапазоне скоростей – от 25 до 100 км/ч с фиксированным шагом дискретизации 5 км/ч.
3. Уширение рельсовой колеи. В рамках исследования были заданы отклонения рельсовой колеи от номинального положения. Величина отклонения варьировалась от 1 степени до 4.
4. Возвышение наружного рельса. Для каждого сочетания скорости и радиуса кривой было подобрано значение возвышения наружного рельса. Расчёты проводились в строгом соответствии с положениями Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути [4]. Это позволило смоделировать условия, максимально приближённые к реальным эксплуатационным, с учётом требований безопасности и комфортабельности движения.

Результаты имитационного моделирования приведены в таблице 1-4.

Таблица 1

Зависимость боковых сил от степени отклонение ширины колеи при радиусе кривого участка пути 350 метров

R=350 м	Степени отступлений по ширине колеи			
Скорость вагона км/ч	1 степень	2 степень	3 степень	4 степень
25	37.10	36.09	35.60	35.84
30	37.85	37.68	36.32	37.08
35	39.15	38.92	36.47	38.88
40	39.97	40.64	40.78	39.61
45	41.27	42.55	41.13	41.17
50	43.03	42.44	42.82	42.26
55	45.09	45.63	44.83	44.11
60	47.30	47.79	45.38	46.95
65	49.66	48.10	50.51	50.10
70	53.66	52.19	53.84	51.20
75	53.17	51.79	50.66	51.62
80	57.02	56.16	56.30	55.68
85	60.31	58.89	58.45	57.32
90	62.70	60.54	60.74	63.71
95	65.41	65.36	63.72	64.69
100	67.57	69.87	67.80	70.03

Таблица 2

Зависимость боковых сил от степени отклонение ширины колеи при радиусе кривого участка пути 600 метров

R=600 м	Степени отступлений по ширине колеи			
Скорость вагона км/ч	1 степень	2 степень	3 степень	4 степень
25	25.58	24.80	24.70	24.70
30	25.06	25.97	26.32	25.28
35	26.15	26.22	25.73	25.98
40	26.00	26.94	26.43	26.32
45	26.19	26.44	27.70	27.12
50	27.13	28.36	26.89	28.42
55	27.48	28.98	28.55	28.24
60	28.17	28.72	29.61	28.25
65	30.18	28.93	30.50	30.51
70	53.66	52.19	53.84	51.08

75	53.17	51.79	50.66	52.13
80	57.02	56.16	56.30	55.93
85	60.31	58.89	58.45	58.38
90	62.70	60.54	60.74	61.75
95	65.41	65.36	63.72	65.56
100	67.57	69.87	67.80	68.16

Таблица 3

Зависимость боковых сил от степени отклонение ширины колеи при радиусе кривого участка пути 900 метров

R=900 м	Степени отступлений по ширине колеи			
Скорость вагона км/ч	1 степень	2 степень	3 степень	4 степень
25	16.22	16.93	18.02	17.87
30	16.54	16.21	16.96	17.54
35	15.53	15.85	17.38	16.09
40	14.99	16.13	16.69	18.51
45	15.07	14.47	17.79	16.86
50	15.47	16.57	18.04	18.46
55	16.57	18.35	20.08	18.75
60	16.22	17.00	19.29	18.89
65	15.88	16.75	18.64	18.21
70	18.20	19.16	19.27	19.79
75	17.34	18.00	16.58	16.08
80	20.41	20.00	21.74	19.66
85	19.69	20.98	23.11	24.52
90	22.57	23.09	21.84	22.43
95	23.54	22.83	22.45	22.19
100	24.83	23.46	22.85	22.84

Таблица 4

Зависимость боковых сил от степени отклонение ширины колеи при радиусе кривого участка пути 1200 метров

R=1200 м	Степени отступлений по ширине колеи			
Скорость вагона км/ч	1 степень	2 степень	3 степень	4 степень
25	12.56	13.70	12.91	12.83
30	12.97	12.81	13.64	13.08
35	12.23	12.63	12.65	12.27
40	11.32	12.24	12.44	12.23
45	11.29	12.37	12.38	12.22
50	11.03	11.07	12.17	11.23
55	10.59	11.60	12.03	11.75
60	11.65	12.70	11.96	10.45
65	12.51	11.62	12.51	10.49
70	12.80	13.33	12.87	10.36
75	11.17	13.81	10.66	10.07
80	11.88	13.82	14.40	11.29
85	13.33	13.52	12.66	11.74
90	13.33	15.28	13.17	12.81
95	15.00	15.06	12.82	13.01
100	16.30	16.24	16.63	14.59

Из полученных таблиц видно, что с увеличением радиуса кривой боковые силы уменьшаются. Это объясняется снижением угла набегания колеса на рельс и уменьшением центробежной силы:

1. Радиус 350 м – самые высокие значения боковых сил (например, до 70.03 при IV степени отклонения и скорости 100 км/ч).
2. Радиус 600 м – силы снижаются, но не сильно (максимум 68.16 при тех же условиях).

3. Радиус 900 м – боковая сила значительно снижается (максимум 24.83).

4. Радиус 1200 м – минимальные значения среди рассмотренных (максимум 16.63).

Увеличение радиуса кривой существенно снижает нагрузку на путь и подвижной состав.

Проведённый анализ подтвердил, что боковые силы в кривых зависят от радиуса кривой, степени отклонения пути при уширении и скорости движения. Максимальные значения сил зафиксированы в кривых радиусом 350 м при IV степени отклонения и скорости 100 км/ч, минимальные – в кривых 1200 м при I степени отклонения и скорости 25 км/ч.

Закключение

Анализ показывает прямую зависимость между радиусом кривой и скоростью, при которой уширение колеи становится критическим фактором:

Чем меньше радиус (350 м), тем раньше (с меньших скоростей) проявляется негативное влияние уширения.

С увеличением радиуса (до 1200 м) «опасная» зона смещается в сторону более высоких скоростей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 «Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. приказом Минтранса России от 23 июня 2022 г. № 250
- 2 Распоряжение ОАО «РЖД» от 28 февраля 2020 г. № 436/р Об утверждении Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов.
- 3 Универсальный механизм [Электронный ресурс] / UMLAB. – URL: umlab.ru (дата обращения: 25.12.2025 г.).
- 4 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути утверждена распоряжением ОАО "РЖД" от 14.11.2016 г. № 2288р
- 5 ГОСТ 34759-2021 ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний
- 6 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.
- 7 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.
- 8 Бондаренко, А. А. Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньев пути / А. А. Бондаренко, С. В. Тишуков, О. М. Васильева // Путь и путевое хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 12-16. – EDN JOKKAY.

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КРАСНОУФИМСКОГО РАЗЛОМА

А. А. Жвавая¹, С. Е. Власова²

Введение. Непосредственное влияние Красноуфимского разлома (КР) на Транссибирскую магистраль минимально из-за удалённости трассы от его линии. Основные эксплуатационные сложности на этом участке обусловлены сложной геологией и суровыми климатическими условиями. При этом разломы данного типа являются потенциальными источниками сейсмической опасности. Вопросы о строении, динамике и текущей активности Красноуфимского разлома, несмотря на множество исследований Урала, всё ещё остаются открытыми.

Целью исследовательской работы является восполнение этого пробела путём комплексного анализа геолого-геофизических данных и сейсмического режима для оценки тектонической роли разлома и его вклада в современную геодинамику региона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Установить связь между строением Верхнекамского месторождения калийных солей и разломной тектоникой Красноуфимского разлома.

2. Выявить особенности геологического строения и кинематики разлома на разных этапах геологической истории.

3. Оценить современную сейсмическую активность и вертикальные движения блоков.

Уральские горы представляют собой сложную геологическую структуру, в формировании которой значительную роль играют разломные зоны. Одной из таких ключевых структур является Красноуфимский разлом, протяжённая субмеридиональная структура, расположенная на границе Русской платформы и Уральского орогена.

Красноуфимский глубинный разлом (КР) является значимым фактором геологической истории Верхнекамского месторождения, расположенного в Пермском крае на территории г. Соликамска и г. Березники, главным образом, на левом берегу р. Камы. Исследование геологического строения нижних слоев земной коры невозможно без привлечения комплекса геофизических методов. Для характеристики глубинного строения Красноуфимского разлома были привлечены данные, полученные методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ).

Красноуфимский разлом, располагающийся в пределах Среднего и Южного Урала, представляет собой крупную тектоническую структуру глубинного заложения, проникающую на глубину до 50 км и характеризующуюся интенсивной раздробленностью пород в зоне шириной 8–15 км. Согласно интерпретации материалов ГСЗ и сейсмических профилей, кинематика разлома имеет характер правостороннего сдвига, осложнённого сбросовыми смещениями. Проявляясь в современной тектонической активности, разлом оказывает значительное влияние на геологическую среду: он контролирует расположение структур, размещение Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей и развитие солянокупольной тектоники, а также служит каналом для фильтрации флюидов, определяя особенности гидрогеологического режима [3].

Геофизические исследования выявляют наиболее активный участок КР по аномалиям в гравитационном и магнитном полях [1] в районе Соликамской впадины, где фиксируются очаги землетрясений (рис.1)

¹ Жвавая Анна Алексеевна – студент группы СЖД-34, ИТСПС

² Власова Светлана Евгеньевна – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

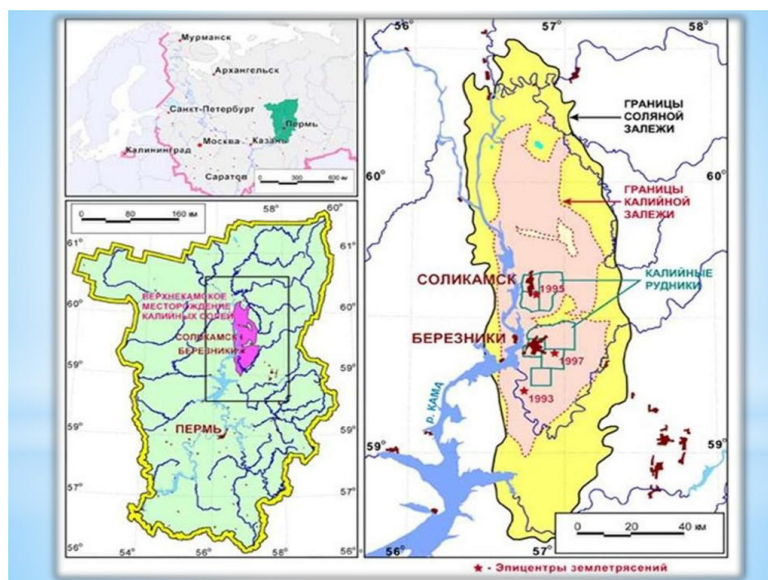


Рис. 1. Карта расположения эпицентров землетрясения на границах соляных и калийных залежей в районе Соликамской впадины

Зафиксированные скорости современных вертикальных перемещений блоков в при-разломной зоне КР доходят до 6 мм/год. Этот факт является индикатором незавершенных тектонических процессов и служит основанием для обязательного учета данных движений при проектировании и эксплуатации инженерных сооружений, включая объекты Транссибирской магистрали. Главный Уральский разлом представлен двумя параллельными надвигами, сложенными глубоководными ордовикско-девонскими кремнисто-сланцевыми отложениями с прослоями песчаников и локально развитыми базальтами девона (рис. 2).

По имеющимся данным, началом надвига является конец силура и начало девона – около 419 млн лет назад. Тектоническое движение земной коры и формирование разлома завершились на границе девона и перми – около 298 млн лет назад [2].

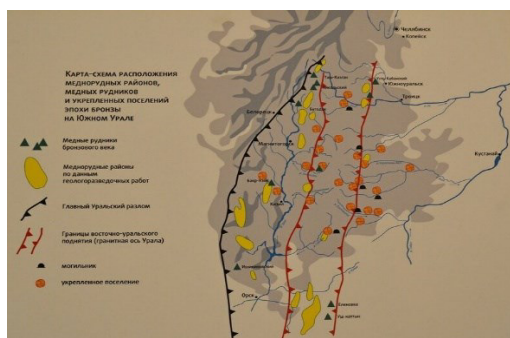


Рис. 2. Карта субпараллельных разломов Урала:



Главный Уральский разлом ,  – надвиги

Дислокации типа сброс-надвиг произошли в пермский период (290–260 млн лет назад), а тектоническая активизация стимулировала формирование соляных структур. В мезозойскую и кайнозойскую эру разлом продолжал проявлять сейсмическую активность, претерпевая смену кинематики от сбросов к правостороннему сдвигу в Западно-Уральской и Средне-Уральской зоне складчатости. Комплекс девонских и пермских горных пород, Рисунок 2 – Карта субпараллельных разломов Урала: Главный Уральский разлом; надвиги залегающий под поверхностью надвига, не испытали значительных горизонтальных перемещений, но были смяты в складки. Характерной особенностью Западно-Уральской зоны складчатости является отсутствие магматизма.

В Урало-Поволжье в период альпийского тектонического цикла проявляются блоковые перемещения, происходящие как по унаследованным, так и по вновь сформированным разломам. Красноуфимский разлом (КР), имеющий сложную многоэтапную историю, был заложен в раннем рифее (1,6–1,2 млрд лет назад) [2]. Этот региональный структурный шов, разделяющий Предуральский краевой прогиб и Восточно-Европейскую платформу, прослеживается вглубь до протерозойских породовых комплексов на расстоянии до трёх километров от поверхности (рис. 3).

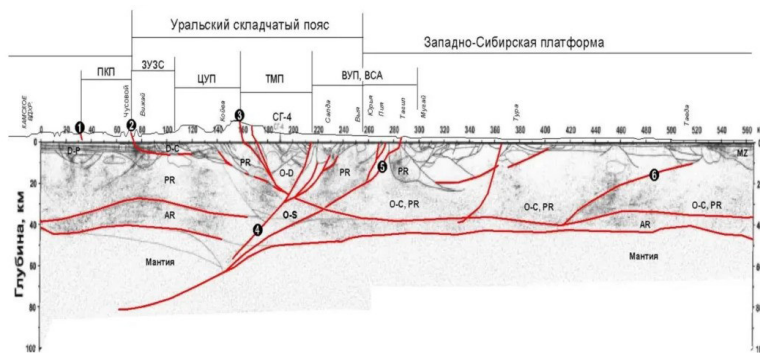


Рис. 3. Глубинный сейсмический разрез геологической структуры по Средне-Уральскому профилю с главными разломами

В современную эпоху разлом является источником микросейсмичности, которая служит механизмом формирования локальных солянокупольных структур (рис. 4).

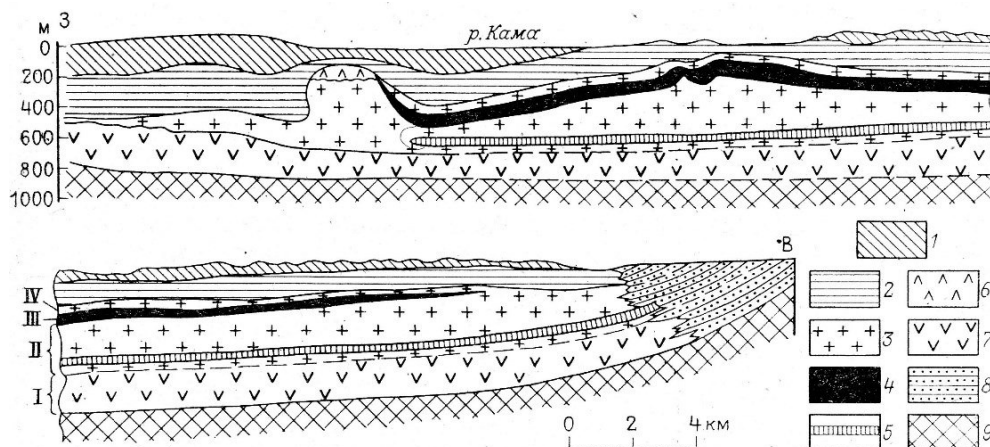


Рис. 4. Схема геологического разреза отложений пермской системы в южной части Соликамской впадины: 1 — песчаники, алевролиты-аргиллиты; 2 — известняк, песчаные, и глинистые породы; 3 — покровная и подстилающая каменная соль; 4 — калийная соль (сильвинит); 5 — соляная пачка с ангидритом и мергелями; 6 — гипсовая шляпа; 7 — соленосная толща с прослоями ангидрита, глины и доломита; 8 — конгломераты, песчаники; 9 — конгломераты, песчаники, ангидриты и карбонатные породы

В гравитационном поле точное определение границ КР затруднено. Гравитационные аномалии в районе Красноуфимского разлома (КР) образуют цепочку отрицательных локальных минимумов, которая коррелирует с его осью. Происхождение этих аномалий объясняется влиянием антиклинальных складок, сформированных соляными структурами. Установленная связь служит прямым подтверждением генетической обусловленности соляного диапиризма активными тектоническими процессами в зоне разлома, что свидетельствует о его современной геодинамической активности.

Значения магнитных аномалий, определённых по результатам наземных и спутниковых магнитных съёмки, и представленных в виде карт изолиний аномального магнитного поля с

амплитудой около 30 нТл, соответствуют осевой линии зоны КР. При этом образовался Красновишерский вал в результате движений блоков земной коры вдоль КР. Под воздействием давления вышележащих горных пород соль перешла в динамически неустойчивое, пластическое состояние, устремилась вверх, деформируя перекрывающую толщу.

Анализ детальной гравиметрической съёмки указывает на наличие также горизонтальных движений блоков вдоль разломной зоны. Подтверждением служит кулисообразная система локальных отрицательных аномалий опускания и поднятий земной коры.

Совместное рассмотрение гравитационных и топографических аномалий свидетельствует о смене кинематического типа КР в новейшее время со сброса на правосторонний горизонтальный сдвиг шириной до 5 км. В связи с этим, следует отметить повышенную сейсмическую активность участка КР, граничащего с Соликамской впадиной, со множеством соляных антиклиналей и гравитационных аномалий, располагающихся с периодичностью примерно 5,8 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ тектонофизических аномалий на Соликамском участке Красноуфимского разлома продемонстрировал потенциал комплексной интерпретации гравитационных и магнитных полей для расшифровки геологического строения и предположительной реконструкции механизма образования разломов в зонах развития соленосных толщ. Результаты гравиметрических и аэромагнитных исследований позволили определить параметры разломной зоны (шириной 8–12 км), идентифицировать в осадочном чехле три разрывных нарушения и установить наличие кулисообразной системы локальных структур, сформированных латеральными перемещениями блоков.

Красноуфимский глубинный разлом рассматривается как ключевая тектоническая структура Предуралья прогиба, контролирующая размещение месторождений (калийные соли, гипс) и современные геодинамические процессы. Таким образом, его исследование критически важно для реконструкции геологической эволюции Урала, оценки сейсмических рисков (включая зону Транссибирской магистрали) и разработки стратегий рационального природопользования в регионе.

Выбор наиболее эффективной методики изучения такого разлома зависит от ряда факторов, прежде всего от глубины его заложения и индивидуальных характеристик. Поскольку глубинные геологические объекты недоступны для прямого наблюдения, основную информацию о них обеспечивают геофизические методы. Полевые морфотектонические исследования на больших площадях часто не позволяют достичь равномерной детализации, а традиционные подходы могут быть недостаточно эффективны для картирования вертикальных и глубоко погруженных геологических тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кассин Г. Г., Филатов В. В. Красноуфимский разлом: строение и история развития по геофизическим данным // Известия УГГУ. 2003. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/krasnoufimskiy-razlom-stroenie-i-istoriya-razvitiya-po-geofizicheskim-dannym>
- 2 Пучков В. Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: ГИЛЕМ, 2000. 146с. URL: <http://ig.ufaras.ru/File/PubTxt/books/Puchkov2000.pdf>
- 3 Сборник научных работ. Красноуфимск: Красноуфимский краеведческий музей. 2013. 61 с. Илл. URL: <http://www.ginras.ru/materials/files/RAS.pdf>
- 4 Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / С. Н. Кашубин [и др.] ; отв. ред. В. И. Уткин ; РАН, УрО, Ин-т геофизики. - Екатеринбург, 2001. - 126 с.
- 5 Степанов В. В., Годзиковская А. А., Ломакин В. С. и др. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
- 6 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.
- 7 Зюзин, Д. О. Усиление железобетонных балочных пролетных строений композитным материалом / Д. О. Зюзин, А. С. Баранов, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 6(108). – С. 51-54. – EDN AJYQTD.
- 8 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ МЕТОДОВ УСТРОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ КАРСТА

С. Е. Власова¹, С. В. Дмитриев²

Введение. Карстовые процессы относятся к категории наиболее опасных и слабо предсказуемых геологических явлений, которые могут проявляться в форме внезапных провалов и оседаний земной поверхности глубиной и диаметром до сотен метров [4].

Согласно принятым классификациям, выделяют несколько типов карста, различающихся механизмом формирования и диагностическими признаками (табл. 1):

– *Растворный (кондуктивный)*. Образуется за счёт выщелачивания карбонатных пород (известняков, доломитов) с формированием подземных полостей. Проявляется локальными западинами рельефа, геофизическими аномалиями, непостоянством растительного покрова и исчезновением поверхностных водотоков.

– *Обвальный (провальный)*. Характеризуется внезапным обрушением кровли подземной полости с образованием воронки. Диагностируется по свежим провальным формам и трещинам.

– *Скрытый (субвертикальный)*. Представлен крупными подземными пустотами, не имеющими выхода на дневную поверхность, которые выявляются методами инженерной разведки (бурение, сейсморазведка).

– *Слоисто-карстовый (смешанный)*. Комбинированный тип, сочетающий признаки вышеперечисленных форм в пределах одного геологического массива. Идентифицируется по литологическому составу (карбонатные породы), комплексу геофизических аномалий, данным бурения, гидрологическим особенностям и материалам дистанционного зондирования.

Таблица 1

Критерии оценки закарстованности массива [2]

Группа показателей	Характеристика
Геометрические параметры	Размеры карстовых форм и их пространственные соотношения.
Расчётные коэффициенты	Отношения линейных размеров, площадей и объемов карстовых образований к параметрам массива; расстояния между формами.
Интенсивность развития	Оценивается по годовому приросту количества, площади или объёма карстовых форм.

Механизм карстообразования связан с разрушением карбонатных пород под действием агрессивных грунтовых вод, насыщенных углекислым газом, что приводит к образованию подземных каналов и камер. Скорость процесса возрастает при высокой кислотности вод и интенсивной инфильтрации. Сезонные колебания уровня грунтовых вод вызывают циклическое изменение несущей способности основания («пульсацию» пласта), а при резких перепадах могут инициировать просадочные явления. Постепенное увеличение подземных пустот повышает вероятность как локальных, так и протяжённых деформаций земной поверхности – от медленных осадков до внезапных коллапсов. Сопутствующими негативными процессами являются суффозия (вынос мелких частиц), фильтрационная эрозия и ухудшение механических свойств грунтов основания и насыпи. Для железной дороги последствия выражаются в нарушении геометрии пути, деформации балластной призмы, образовании пустот под шпалами, повышении риска схода подвижного состава и ухудшении водоотвода.

Комплексные инженерные изыскания и оценка рисков являются обязательным этапом проектирования на карстовых территориях [4]. Изыскания направлены на выявление угроз (обрушения, провалы, суффозия) и анализ исторической геологической информации. Для оценки вероятности и последствий карстовых процессов применяются:

¹ Власова Светлана Евгеньевна – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

² Дмитриев Степан Владимирович – студент группы СЖД-34, ИТСПС

- *Геологические методы* (разведочное бурение) для определения глубины, размеров полостей и состояния грунтов.
- *Геофизические методы* (сейсморазведка, электроразведка) для неразрушающего выявления аномалий.
- *Гидрогеологические исследования* для анализа режима и агрессивности грунтовых вод.
- *Картирование карстовых форм* с использованием архивных данных и современных средств съемки.
- *Экологические исследования* для оценки воздействия строительства на окружающую среду.

По результатам изысканий риски ранжируются (высокие, умеренные, низкие), оценивается потенциальный ущерб для инфраструктуры и безопасности, разрабатываются меры по минимизации угроз, включая специальные конструктивные решения и системы мониторинга.

Поверхностные методы укрепления грунтов часто неэффективны, так как очаг карстообразования расположен на значительной глубине [4]. Основными рисками для железнодорожного пути являются:

- внезапные провалы грунта в теле насыпи или под основанием пути;
- неравномерные осадки, вызывающие деформации рельсо-шпальной решётки;
- общая потеря устойчивости земляного полотна из-за снижения несущей способности основания;
- нарушение дренажа и подмыв основания;
- повышенная вероятность катастрофических событий (сход подвижного состава, разрушение инфраструктуры).

Таблица 2

Сравнительный анализ конструктивных решений для земляного полотна

Конструктивное решение	Сущность метода	Достоинства	Недостатки	Область применения
Усиленные насыпи	Увеличение габаритов и применение укрепленных грунтов.	Повышенная стабильность, распределение нагрузки.	Высокая материалоемкость и стоимость.	Участки со слабыми грунтами основания.
Геосинтетические материалы	Армирование геосетками и стабилизация геотекстилем.	Увеличение прочности, улучшение дренирования.	Требуется специальных технологий монтажа.	Зоны активного карстообразования.
Дренажные системы	Устройство систем для управления уровнем грунтовых вод.	Снижение гидродинамического давления.	Необходимость регулярного обслуживания.	Участки с высоким УГВ.
Железобетонные плиты	Создание жесткого распределительного основания.	Высокая несущая способность.	Сложный монтаж, значительная стоимость.	Участки с высоким риском локальных провалов.
Подпорные стенки	Устройство вертикальных конструкций для удержания грунта.	Эффективная поддержка откосов.	Высокие затраты на сооружение.	Склоны и перепады рельефа.
Каменная наброска	Формирование дренирующего слоя из камня или гравия.	Хорошая водопроницаемость.	Возможность заливания, необходимость ремонта.	Зоны активной фильтрации вод.
Специальные подпорные конструкции	Устройство усиленных опорных систем в проблемных зонах.	Высокая адаптивность и устойчивость.	Сложность проектирования, дороговизна.	Участки с высокой вероятностью карстовых провалов.

Наиболее предпочтительным решением для передачи нагрузки от насыпи на глубокозалегающие устойчивые грунты, минуя слабые карстующиеся толщи, является применение буронабивных свай [1, 3].

Использование буронабивных свай, особенно актуальное для высокоскоростных магистралей, обладает рядом преимуществ перед традиционными методами (табл. 3).

Таблица 3

Преимущества применения буронабивных свай	
Преимущество	Характеристика
Большая глубина погружения	Возможность опирания на устойчивые слои грунта на глубине 20-40 м и более.
Высокая несущая способность	Способность воспринимать значительные нагрузки от подвижного состава и насыпи.
Минимальное вибрационное воздействие	Технология устройства не вызывает динамических ударов, опасных при карсте.
Конструктивная адаптивность	Возможность усиления ствола арматурой для работы на сложные виды нагружения.

К ограничениям данного метода относятся высокая капиталоемкость, значительная трудоёмкость и длительность производства работ, а также необходимость привлечения квалифицированного персонала и осуществления строгого геотехнического контроля.

Заключение

Проектирование земляного полотна в условиях развития карста требует учёта изменчивых прочностных и деформационных характеристик грунтов, а также динамики гидрологического режима. Применение современных конструктивных решений, в первую очередь буронабивных свай, позволяет существенно повысить надёжность и долговременную устойчивость железнодорожной инфраструктуры. Несмотря на высокую стоимость, данный метод зачастую является наиболее эффективным и технически обоснованным решением, обеспечивающим безопасную эксплуатацию магистралей в сложных геологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Золотарь, А. И. Обзор противокарстовых мероприятий, применяемых при проектировании линейного объекта М-12 «Москва – Казань» / Золотарь, А.И., Мельников, Р.В. // Путевой навигатор. – 2022. – № 53(79). – С. 36-45. – EDN AZJFRF.
- 2 Рудакова, В. В. Инженерная защита земляного полотна на закарстованных территориях / Рудакова, В.В., Устинова, О.Д., Корчененкова, В.В. // Проектирование автомобильных дорог : сборник докладов 81-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. 30 января 2023 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. – С. 80-88. – EDN QISUTH.
- 3 СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 (с Изменениями №1, 2, 3). – М.: Минрегион России, 2019.
- 4 Щербаков, С.В. Интегральная оценка карстоопасности районов развития карбонатно-сульфатного карста на примере Среднего Приуралья / Щербаков, С.В. – Пермь: ПГНИУ, 2013. – 273 с.
- 5 Зюзин, Д. О. Усиление железобетонных балочных пролетных строений композитным материалом / Д. О. Зюзин, А. С. Баранов, С. В. Тишуков // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 6(108). – С. 51-54. – EDN AJYQTD.
- 6 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДЫ НА ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

В. М. Бусалова¹

Введение. Изучение движения воды внутри грунтовых массивов представляет собой одну из ключевых задач инженерной геологии, обеспечивающую устойчивость и долговечность строительных конструкций в условиях сложного гидрологического режима. В современных условиях особую актуальность приобретает детальный анализ фильтрационных процессов в грунте. Вода оказывает статическое и динамическое давление, а также химическое воздействие, что приводит к существенным деформациям пород, изменению их прочности и создаёт риски для устойчивости инженерных объектов. Сложность исследований обусловлена высокой неопределённостью гидравлических свойств грунтов, трудностями моделирования фильтрационных потоков и строгими требованиями к надёжности конструкций [1].

Поровые воды, присутствующие в грунте, способны снижать его прочность. В статье рассматривается влияние различных их видов: капиллярной, плёночной, стыковой и подвешенной. Степень их воздействия зависит от типа грунта, его плотности, консистенции и водостойчивости структурных связей.

Подземные воды классифицируются по условиям залегания, гидравлическим характеристикам и глубине расположения. Основными типами являются верховодные, грунтовые и межпластовые воды.

Верховодка представляет собой непостоянное скопление влаги в зоне аэрации на глубине 0,5–5 м в хорошо проницаемых породах (песках, супесях). Она быстро реагирует на атмосферные осадки, испарение и таяние снега, что повышает риски подтопления при строительстве. Верховодка усиливает процессы морозного пучения, поднимая фундаменты на 0,5–2 м, вызывает коррозию железобетонных материалов из-за растворённых солей и может приводить к эрозионным процессам. Кроме того, вымывание мелких частиц приводит к эрозии под дамбами и насыпями, провоцируя оползни. В строительстве верховодки создают угрозу эрозии оснований, неравномерной осадки и подтопления котлованов, особенно на песчаных площадках.

Грунтовые воды образуют относительно стабильный уровень и играют важную роль в гидрологическом балансе. Они залегают на глубине нескольких метров до десятков метров в проницаемых породах, ограниченные снизу водоупорным слоем глины или суглинка, сверху ограниченные зоной капиллярного подъёма влаги.

Питание от инфильтрации осадков, рек, озёр через зону аэрации, а также за счёт конденсации водяного пара и капиллярного перетока. **Грунтовые воды воздействуют на грунты, меняя их структуру и механические свойства:**

- *Связные дисперсные грунты* (суглинки, глины, супеси) – при повышенной влажности становятся пластичными, изменяют консистенцию в диапазоне от твёрдого тела до вязкой жидкости.

- *Несвязные грунты* (пески, крупнообломочные грунты) – менее изменчивы под воздействием избыточной влаги, но могут оказать негативное химическое воздействие.

- Контакт с водой структурно-неустойчивых грунтов разрушает их структуру, что приводит к резкой просадке грунта до полутора метров.

- Набухающие грунты втягивают влагу и неравномерно увеличиваются в объёме до 20 %.

- Вызывают суффозию и морозное пучение.

Их уровень подвержен сезонным колебаниям. Воздействие грунтовых вод может приводить к разуплотнению грунтов, снижению их несущей способности и коррозионной агрессивности по отношению к конструкциям.

Межпластовые воды расположены между водоупорными слоями и могут быть напорными или безнапорными. Их изучение особенно важно при возведении глубоких фундаментов

¹ Бусалова Валерия Максимовна – студент группы СЖД-34, ИТСПС

и тоннелей. Эти воды отличаются стабильным уровнем и медленной скоростью обновления. Залегают на глубине до сотен метров в песчано-гравийных или карбонатных водоносных горизонтах, ограниченных сверху и снизу практически непроницаемыми слоями горных пород. Уровень стабилен, колебания минимальны (до 0,5-1 м), скорость фильтрации изменяется до 50 м/сутки. При вскрытии скважиной напорные воды (артезианские) проявляются фонтанами или дебитами 1–100 л/с.

Питаются за счёт вертикальной инфильтрации через трещины и фациальные окна водоупоров или горизонтального перетока из смежных горизонтов, через карстовые пустоты или искусственные скважины, на глубине в пликтивных складках формируют артезианские бассейны [4].

Влияние подземных вод на механические свойства грунтов и связанные с этим инженерно-геологические процессы систематизированы в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение влияния подземных вод на изменение механических свойств грунтов, вызывающих инженерно-геологические процессы

Виды воды	Взаимосвязь механических свойств и инженерно-геологических процессов
Верховодка	– усиливает морозное пучение и поднимает фундаменты на 0,5–2 м; – ускоряет коррозию арматуры и бетона в 2–5 раз; – вымывает мелкие частицы и приводит к эрозии под дамбами и насыпями; – провоцирует оползни; – создаёт угрозу эрозии оснований, неравномерной осадки и подтопления котлованов, особенно на песчаных площадках.
Грунтовая	– вызывает оплыв откосов; – провоцирует обрушение стенок траншей и выпирание днища; – разуплотняет песчаные и супесчаные грунты; – обладает коррозионной агрессивностью для конструкций; – прочность грунта снижается на 20–50 %; – уменьшается несущая способность грунтов на 30–40 %.
Межпластовая напорная	Вызывает гидролифт слабых грунтов («варку» дна котлована) или оплыв забоя в тоннелях.

Плёночная вода прочно удерживается на поверхности частиц силами молекулярного притяжения, не участвует в фильтрации и влияет на вязкость и водопроницаемость грунта, особенно в глинистых разностях, не замерзает при 0 °С и обладает повышенной плотностью (до 1,1 г/см³), снижая эффективный поровый объём грунта. *Рыхлосвязанная плёночная вода* обладает большей подвижностью, связана диффузными силами в переходной зоне толщиной от 0,01 до 1 мм вокруг зёрен. Она перемещается медленно, влияет на реологические свойства и пластичность пылевато-глинистых грунтов, вызывая сезонное набухание или усадку [3].

Содержание плёночной воды в грунтах различно:

– **В глинистых грунтах** – значительное количество плёночной воды из-за высокой доли содержания мелких фракций (для супесей – 9-13 %, для суглинков – 15-23 % и для глин – 25-45 %).

– **В песчаных и крупнообломочных грунтах** – малое количество плёночной воды, которая не оказывает влияния на их свойства. Для песчаных грунтов составляет – 1-7 %.

Некоторые эффекты воздействия плёночной воды на свойства грунтов:

• **Для связных грунтов** – плёнки воды отталкивают друг друга, раздвигая частицы и вызывая эффект разбухания грунта.

• **Для несвязных грунтов** – вода, заполняя поры между частицами, в момент приложения нагрузки начинает воспринимать часть напряжений, разгружая скелет грунта.

Переход пленочной воды в свободную воду, не зависимую от электромолекулярных сил взаимодействия, возможен под воздействием динамических и статических нагрузок при высоких давлениях.

Капиллярная вода перемещается по тонким порам за счёт капиллярных сил натяжения, вызывая подъём влаги до десяти метров и способствуя набуханию глинистых грунтов. Её

влияние на прочность может быть как отрицательным, так и положительным в зависимости от типа грунта и наличия структурных связей. В строительстве приводит к неравномерной осадке фундаментов на глинистых грунтах, требуя дренажа или уплотнения. Механизм влияния капиллярной воды на прочность грунта зависит от химического и минералогического состава твёрдой компоненты грунта, наличия в нём структурного сцепления. **Капиллярное увлажнение сухих пылеватых-глинистых грунтов ведёт к уменьшению их прочности.** Но замечена и другая ситуация, когда капиллярное увлажнение несвязных грунтов, не имеющих структурного сцепления между твёрдыми частицами, вызывает в некоторых случаях **увеличение прочности** грунта за счёт появления связности. Водно-коллоидные структурные связи между глинистыми частицами ослабевают при образовании утолщённых сплошных плёнок воды. Капиллярная вода также увеличивает напряжение в грунте из-за давления капиллярных пор на скелет грунта [2].

Стыковая вода локализуется в контактах между частицами и в углах пор толщиной 0,01–0,1 мм. Она влияет на адгезию и сдвиговую прочность, а её присутствие может, как повышать когезию в несвязных грунтах, так и снижать прочность связных за счёт гидратации. Объём стыковой влаги варьируется в зависимости от типа породы: пески содержат её в пределах 3–5 %, супеси – от 4 до 7 %, в суглинках данный показатель достигает 5–9 %. По мере увеличения степени дисперсности грунта доля стыковой воды возрастает, однако лишь до определённого порога.

Данный тип влаги занимает сравнительно малую долю порового пространства и характеризуется низкой подвижностью. Тем не менее, её перемещение возможно под действием температурного градиента – в направлении от охлаждённых участков к более тёплым. Как и прочие разновидности поровой влаги, стыковая вода содержит растворённые минеральные соли, которые при высыхании переходят в твёрдую фазу, кристаллизуются и тем самым способствуют деструкции грунтового массива.

Присутствие стыковой воды во многом формирует базовые гидрофизические характеристики грунтов, а именно: влажность, влагоёмкость, фильтрационную способность и водоотдачу. В глинистых разностях она способна провоцировать снижение прочностных параметров за счёт ослабления контактных взаимодействий между минеральными частицами.

Роль стыковой воды в фильтрационных процессах неоднозначна и зависит от разновидности грунта:

- в сыпучих несвязных породах она повышает силу когезионных связей;
- при чрезмерном накоплении, напротив, приводит к потере прочности вследствие гидратации;
- в глинах избыток стыковой влаги вызывает набухание (увеличение объёма до 10–20 %), провоцирует неравномерные осадки и трещинообразование в строительных конструкциях.

Подвешенная влага в зоне аэрации подвешенная локализуется в макропорах, пустотах и изолированных полостях, не испытывая при этом гидростатического давления. Удержание воды осуществляется за счёт капиллярно-гравитационных сил и адгезионного взаимодействия с поверхностью минеральных зёрен и стенками трещин. Данная форма влаги отличается мобильностью: при изменении уклона рельефа либо под воздействием вибрационных нагрузок происходит её перемещение, что обеспечивает кратковременное увлажнение приповерхностных слоёв мощностью до 1–2 м. Высокая испаряемость является характерной особенностью подвешенной воды.

Присутствие этой влаги оказывает непосредственное влияние на интенсивность эрозионных процессов на откосах и несущую способность грунтовых насыпей в периоды выпадения осадков. Кроме того, подвешенная вода нередко служит причиной временного затопления строительных выемок и котлованов. Механическое действие подвешенной воды проявляется в «расслаблении» и размягчении грунтовой толщи, что сопровождается падением прочностных характеристик и ростом показателей деформируемости.

Данные изменения объясняются тем, что присутствие влаги инициирует взаимное смещение твёрдых частиц под действием приложенной нагрузки. Вследствие этого диапазон колебаний коэффициента пористости становится шире по сравнению с образцами, находящимися в воздушно-сухом состоянии. Параллельно происходит деструкция внутрискруктурных связей, дополнительно снижающая сопротивление грунта внешним воздействиям. В рыхлых несвязных и слабосвязных разностях описанные процессы могут приводить к разжижению: система стремится к уменьшению объёма при прохождении волн напряжений, а взвешивание частиц в водной среде провоцирует резкое падение уровня эффективных напряжений.

Сравнительное влияние различных типов поровых вод на механические свойства грунтов представлено в таблице 2.

Таблица 2

**Сравнение влияния поровых вод на изменение механических свойств грунтов
и проявление инженерно-геологических процессов**

Вид поровой воды	Взаимосвязь механических свойств и инженерно-геологических процессов
Подвешенная	– Влияет на эрозию откосов и устойчивость насыпей во время дождей; – временно вызывает подтопления котлованов; – при увеличении влажности в грунтах их прочность и деформируемость ухудшаются; – угол внутреннего трения грунта при водонасыщении может уменьшиться на 3–5 % по сравнению с углом внутреннего трения сухого грунта.
Плёночная прочносвязанная	Повышает вязкость и снижает проницаемость, изменяет консистенцию грунта.
Плёночная рыхлосвязанная	– реологические свойства и пластичность пылевато-глинистых грунтов, – вызывая сезонное набухание или усадку.
Капиллярная и стыковая	– вызывает набухание с увеличением объёма на 10–20 %, – неравномерную деформацию и растрескивание конструкций.

Заключение

Анализ классификации подземных вод и механизмов удержания различных форм поровой влаги позволяет прогнозировать фильтрационные процессы и оценивать сопутствующие риски. Воздействие воды на грунтовые массивы приводит к изменению их физико-механических характеристик, разуплотнению и развитию опасных инженерно-геологических процессов, таких как просадки, пучение и потеря устойчивости сооружений.

Комплексное изучение гидромеханики грунтов способствует оптимизации проектных решений, снижению затрат и повышению экологической безопасности. Для минимизации рисков необходимы сезонный мониторинг уровня грунтовых вод, устройство эффективных дренажных систем, учёт водного фактора при проектировании фундаментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бурлаков В.Н., Тер-Мартirosян А.З. Дилатансия, влияние на деформируемость грунтов // Вестник Моск. гос. строит. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 182–193.
- 2 БЕЗМАТЕРНЫХ, А.В., ОФРИХТЕР, В.Г. ЯВЛЕНИЕ ДИЛАТАНСИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕР ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВ ПОД НАГРУЗКОЙ// MASTER'S JOURNAL. – 2017. – № 2. С. 85–90.
- 3 Пьянков С.А. Механика грунтов [Текст] / Пьянков С.А. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – 464 с.
- 4 Тернов А. Ф. Гидравлика грунтовых вод [Текст] / Тернов А. Ф. – Томск: Томский гос. архит-строит. ун-т, 2010. – 464 с.
- 5 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.
- 6 Соколова, С. В. Получение легких теплоизоляционных жаростойких бетонов на основе глин Никольского месторождения Самарской области и отходов промышленных производств / С. В. Соколова, С. В. Тишуков // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2026. – № 1. – С. 172-182. – DOI 10.26297/2312-9409.2026.1.13. – EDN NQNQBE.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКИХ НАСЫПЕЙ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

А. А. Бондаренко¹, Р. Р. Зибиров²

Введение. Высокие насыпи являются критически важными элементами транспортной инфраструктуры, обеспечивающими функционирование автомобильных и железных дорог в сложных топографических условиях. Однако их эксплуатация в неблагоприятных природных условиях сопряжена с существенными техническими проблемами, включая повышенные деформации, снижение устойчивости откосов и активизацию опасных геологических процессов. Требуется учёт особенностей вечной мерзлоты, болот, слабых грунтов и близости к водотокам. Эти условия вызывают необходимость индивидуального проектирования, так как стандартные решения не всегда подходят [5].

Анализ практики эксплуатации показывает, что традиционные конструктивные решения часто оказываются недостаточно эффективными в условиях:

1. Климатических воздействий. В степных и пустынных регионах с песчаными и супесчаными грунтами, под воздействием ветров, выдуваются мелкие частицы, что может привести к разрушению откосов насыпи и заносу дорог песком. При строительстве на многолетних мерзлых грунтах (ММГ) насыпь вызывает их оттаивание, поглощая тепло. При этом происходят резкие и неравномерные просадки. Это проблема также называется деградацией ММГ. Также к климатическим воздействиям в сложных природных условиях относится морозное пучение. Оно приводит к подъёму и деформации земляного полотна, которое обуславливается образованием ледяных линз при миграции влаги в сезоннопромерзающих грунтах.

2. Сложных гидрогеологических условий. Основной проблемой при возведении земляного полотна в сложных природных гидрогеологических условиях является подтопление, вызванное атмосферными осадками и грунтовыми водами, которое насыщает грунт и приводит к снижению прочности насыпи, развитию эрозии откосов, и суффозии (выносу мелких частиц грунта фильтрующейся водой).

3. Сейсмических воздействий. В районах с высокой сейсмической активностью, формируется такое явление как разжижение грунтов в теле насыпи или основания. Также сейсмические толчки могут вызывать оползни или обрушения.

Цель настоящего исследования – проведение комплексного обзора современных методов и технологий усиления откосов высоких насыпей земляного полотна в сложных природных условиях. В рамках достижения поставленной цели будет проведён обзор традиционных и инновационных методов усиления откосов, включая:

- геосинтетические технологии армирования;
- механические методы стабилизации;
- биотехнические решения;
- дренажные системы.

Актуальность исследования обусловлена возрастающими требованиями к безопасности и долговечности транспортных сооружений в условиях изменения климата и увеличения нагрузок на инфраструктуру. Практическая значимость работы заключается в систематизации знаний о методах усиления откосов.

Основная часть

Обеспечение безопасности движения поездов в сложных инженерно-геологических условиях формирует повышенные требования к устойчивости высоких насыпей земляного полотна в технической системе «верхнее строение пути – земляное полотно – основание» (рис.1), укреплению откосов насыпи, разработке перспективных ресурсосберегаемых методов и технологий по противодефляционному и противодеформационному укреплению [4]. В

¹ Бондаренко Алексей Алексеевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

² Зибиров Роберт Ринатович – аспирант, ИТСПС

настоящее время в развитых странах большое внимание уделяется применению инновационных технологий и материалов при укреплении откосов земляного полотна, улучшению свойств покрытий против выветривания, увеличению коэффициента запаса устойчивости и обеспечению устойчивости насыпи на стадии проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог в сложных песчаных условиях. А также особое внимание уделяется совершенствованию технологии работ по укреплению откосов земляного полотна в различных грунтовых условиях с применением современных ресурсосберегаемых геосинтетических материалов и передовых конструктивно-технологических решений [1].

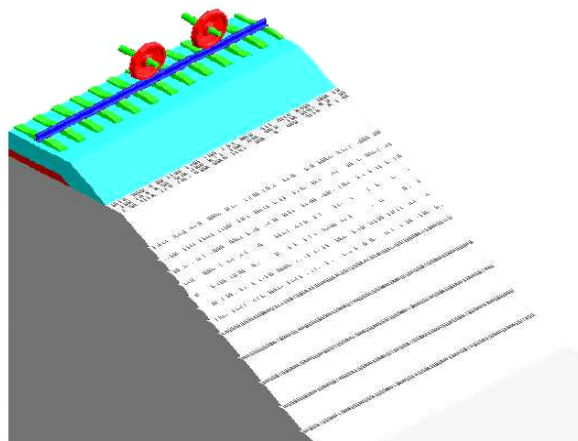


Рис. 1. МКЭ насыпи по оси пути

Районы с суровыми климатическими условиями составляют значительную часть территории нашей страны. Физико-механические свойства ММГ зависят от их температуры, поэтому необходимо поддержания температурного режима в основании насыпи. Для этого требуется назначение соответствующей высоты насыпи земляного полотна, чтобы не допустить оттаивание основания. Также в основании или теле насыпи должны применяться специальные прослойки из теплоизолирующих материалов (торфа, пенополистирола, шлака). Чтобы не допустить застоя воды, ускоряющего тепловую эрозию, у подошвы насыпи, необходимо отведение поверхностных и грунтовых надмерзлотных вод от дорожного полотна за счёт водоотводных канав, нагорных мерзлотных валиков и приоткосных берм.

В районах с сложными гидрогеологическими условиями требуется учёт специфических грунтов, необходимость индивидуального проектирования конструкций и проведение соответствующих мероприятий. Должны обеспечиваться водоотводы от земляного полотна во все сезоны года. Для обеспечения пропуска паводковых и ливневых вод, не допускается засорение, поэтому требуется соответствующее поперечное сечение кюветов и канав. Необходимо укрепление откосов земляного полотна и водоотводов с учётом местных условий, с помощью геосинтетических технологий армирования, стабилизирующих и грунтоцементных свай, а также посева многолетних трав. Насыпи на участках подтопления следует проектировать с учетом постоянного или периодического воздействия водных масс водотоков или водоемов, которое проявляется в виде обводнения грунта тела насыпей, размывающего воздействия, вызываемого течением водного потока или волнением, разрушения и загромождения откосов земляного полотна льдом [8]. Необходимо осуществление своевременной подготовки земляного полотна и его сооружений к проходу весенних и паводковых вод. Ликвидация наледей в водоотводных сооружениях, у выпусков дренажных сооружений.

Современное укрепление откосов все чаще полагается на геосинтетические материалы (геотекстиль, георешётки, геомембраны, геоматы, геокомпози́ты). Благодаря своей полимерной основе эти материалы сочетают высокую прочность, долговечность и гибкость, обеспечивая эффективную стабилизацию грунта и защиту от эрозии в различных геотехнических задачах. Геотекстиль – это водопроницаемое полотно, выполняющее несколько ключевых функций: разделение слоёв грунта, фильтрацию, усиление конструкции, защиту и отвод влаги. Он

исключает смешивание разнородных грунтов и улучшает дренаж, что снижает гидростатическое давление и риск эрозии. Георешётки служат для армирования грунтовых масс. Благодаря ячеистой структуре они равномерно распределяют нагрузку, повышая общую устойчивость и несущую способность основания (рис. 2). Геомембраны представляют собой сплошные водонепроницаемые полотна из полимерных материалов. Их основное назначение – гидроизоляция и барьерная защита от фильтрации жидкостей, что позволяет эффективно бороться с эрозией и управлять движением жидкостей в грунте. Геоматы – это объёмные материалы с ячеистой структурой, предназначенные для защиты поверхности грунта от размыва. Они закрепляют верхний слой почвы и создают благоприятные условия для развития растительного покрова. Геокомпозиты сочетают в себе функции разных геосинтетиков (например, геотекстиля и георешетки), предлагая комплексные решения для одновременного выполнения задач армирования, дренирования и фильтрации [3].

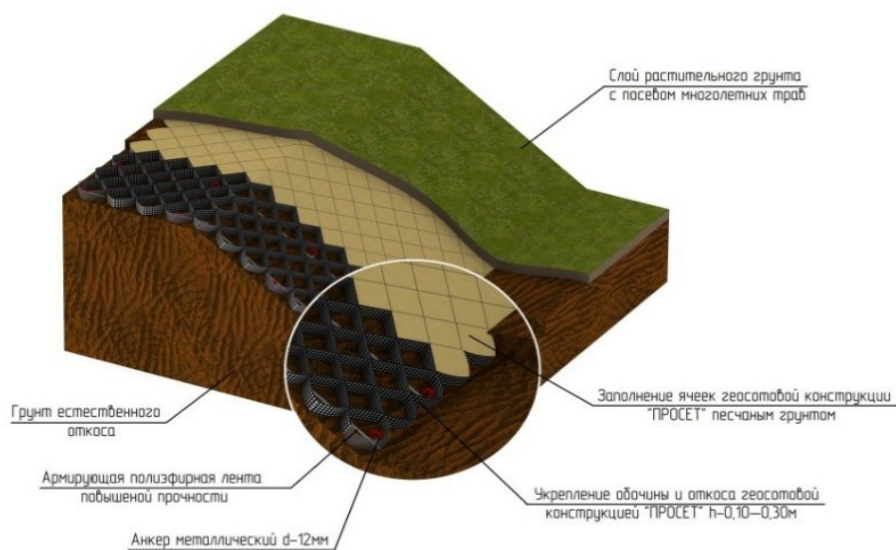


Рис. 2. Укрепление откоса насыпи георешёткой

Устройство каменных конструкций является также эффективным решением по укреплению откосов насыпей в сложных природно-климатических условиях. Для укрепления и защиты откосных сооружений земляного полотна от волнового воздействия воды применяются каменные наброски (рис.3) из местных материалов, покрытия из бетонных, железобетонных и асфальтобетонных плит, коробчатые габионы, плоские матрацы Рено и другие виды укрепления [7]. Для возведения подпорных стен и облицовки склонов применяется каменная кладка. Её монтаж осуществляется вручную или механизированным способом, гарантирует конструкции надёжность и долговечность. Габионы представляют собой сетчатые контейнеры с каменным наполнителем, активно используются в укреплении береговых линий и откосов. Их преимущества – гибкость, высокая прочность и водопроницаемость, что исключает переувлажнение грунта и развитие эрозии.

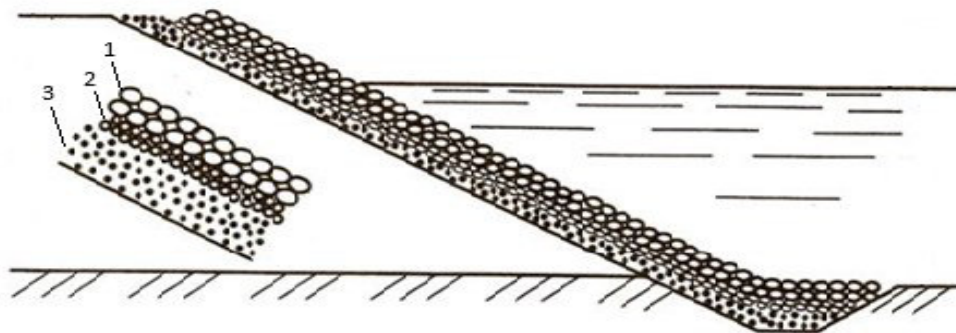


Рис. 3. Укрепление откоса насыпи каменной наброской
1-верхний слой каменной наброски, 2-нижний слой каменной наброски, 3-обратный фильтр

Также используются инъекционные технологии для усиления высоких насыпей земляного полотна (рис. 4). Глубинное инъектирование грунта способ укрепления слабого грунта. В землю вводятся специальные трубки, через которые под большим давлением закачивается раствор. Этот раствор заполняет трещины и пустоты в почве, и после застывания превращает рыхлый грунт в прочный монолит. Для особо сложных случаев, например, когда грунт насыщен водой, используют особые полимерные смолы. Их ключевое преимущество в том, что они при затвердевании сильно расширяются, вытесняя воду, и при этом почти не утяжеляют грунт, так как очень легкие.

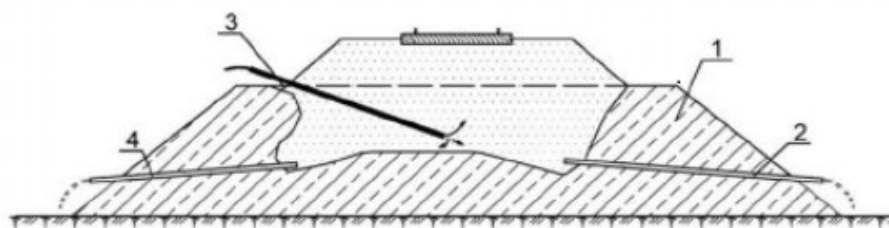


Рис. 4. Инъектирование земляного полотна
1-земляное полотно, 2 и 4-дренажные скважины, 3-инъектор

Если земляное полотно расположено в горной местности, то необходимо устройство защитных сооружений (противообвальные, противооползневые, противоселевые, противолавинные и др. (рис. 5)). На устойчивых горных склонах земляное полотно, как правило, располагают в полке, врезанной в косогор. При определённых условиях насыпь располагают на склоне под защитой удерживающих сооружений. Конструкция насыпей на косогорах включает в себя элементы, обеспечивающие устойчивость ее от сдвига по склону: нагорную канаву, берму, уступы в основании насыпи, в необходимых случаях подпорные стенки, контрбанкеты и контрфорсы. Контрбанкет – это призматическая конструкция из дренирующего грунта, которую размещают у подножия откосов земляной насыпи (рис. 6). Грунт для него должен обладать способностью отводить воду не хуже, чем основной грунт насыпи. Все необходимые параметры контрбанкета определяются расчётом. Контрфорсом является укрепляющее сооружение, встраиваемое непосредственно в откос. Он может быть выполнен в двух вариантах: как короткая призматическая вставка или как протяженная каменная лента, ориентированная вдоль склона. Для его возведения применяется бутовая кладка на цементном растворе [2].



Рис. 5. Противообвальная галерея

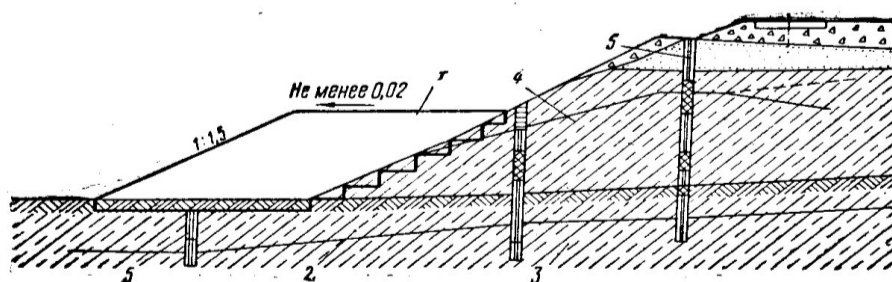


Рис. 6. Поперечный профиль контрбанкета для укрепления сползающего откоса

1-контрбанкет, 2-суглинок коричневый, 3-суглинок серый, 4-суглинок сильно пылеватый, 5-скважины

Так как в сейсмических районах высокие насыпи подвержены явлению разжижения грунтов в теле насыпи или основании, необходима регулярная проверка дренажей. Также после любых толчков нужно делать обследование откосов на появление трещин, выпучиваний, смещений. На стадии проектирования для сейсмических районов закладываются более пологие откосы, что необходимо учитывать при ремонтах. При строительстве железных дорог в горных районах, подверженных каменным обвалам, осыпям и снежным лавинам, устраивают противообвальные галереи или улавливающие траншеи. При сейсмичности 7–9 баллов крутизну откосов насыпей с рабочими отметками более 2 м делают положе (вместо 1:1,5 принимают 1:1,7; вместо 1:2 – 1:2,2), на косогорах с крутизной от 1:2 до 1:1 насыпи заменяют эстакадами или укрепляют подпорными стенками. В таких районах при сейсмичности 8 баллов наибольшая высота насыпи 15 м, а при 9 баллах – 12 м; откосы земляного полотна укрепляют дерном и растительностью [9].

В сложных природных условиях земляное полотно подвергается постоянному наблюдению инженерно-геологических баз или путеобследовательских станций. На основании наблюдений и обследований по неустойчивым участкам составляют инженерно-геологические отчёты с указанием необходимых мероприятий по надзору и текущему содержанию [6].

Вывод

Эксплуатация высоких насыпей в сложных природных условиях сопряжена с повышенными рисками деформаций и потери устойчивости. Стандартные конструктивные решения оказываются неэффективными, что требует индивидуального проектирования для каждого конкретного случая. Таким образом, безопасность и долговечность транспортной инфраструктуры требуют системного подхода к проектированию и усилению откосов высоких насыпей, что и является главным условием их надежной эксплуатации в условиях возрастающих климатических и нагрузочных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бондаренко А.А., Корся В.Б., Кочетков Ю.А. Наблюдения за объектами земляного полотна. Путь и путевое хозяйство, № 8, 2014. - с.22-25.
- 2 Бондаренко А.А., Рахчеев В.Г., Максимов И.С., Матюшкова Л.И. Проблемные вопросы диагностики содержания скально-обвальных участков земляного полотна Наука и образование транспорта: материалы XI

- Международной научно-практической конференции (2018, Самара). Международная научно-практическая конференция «Наука и образование транспорту», 2018 г. [Текст]. – Самара: СамГУПС, 2018. – С. 128 – 132.
- 3 А.А. Бондаренко, К.С. Лесов, М.Х. Мехмонов М.Х., Таджибаев Ш.А., Кенжалиев М.К. Повышение устойчивости земляного полотна, возводимого из барханных песков. Вестник транспорта Поволжья, № 1(97), 2023.- с.50-55.
 - 4 Бондаренко А.А., К.С. Лесов, А.Х. Абдужабаров, М.К.-Угли Кенжалиев Результаты усиления земляного полотна. Путь и путевое хозяйство, №9, 2024.- с.15-17
 - 5 Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №797 от 2023г.
 - 6 ЦП-544 от 30.03.1998 г. Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути. Актуализированная редакция ЦП-544 от 01.01.2021 г.
 - 7 Грицык В.И. Противодеформационные конструкции земляного полотна. – М.: Маршрут, 2004. – 96 л.
 - 8 Учебное пособие: "Земляное полотно железных дорог на слабых основаниях" Колос А.Ф., Ганчиц В.В., Черняева В.А., 2018 г.
 - 9 СП 14.13330.2018. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81.
 - 10 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.
 - 11 Бондаренко, А. А. Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньев пути / А. А. Бондаренко, С. В. Тишуков, О. М. Васильева // Путь и путевое хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 12-16. – EDN JOKKAY.
 - 12 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТСТУПЛЕНИЙ В ПЛАНЕ НА ВЕЛИЧИНУ БОКОВЫХ СИЛ ПРИ ДВИЖЕНИИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА В КРИВЫХ РАЗНОГО РАДИУСА

А. С. Нечушкин¹, К. М. Пестов²

Введение. Взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути в кривых представляет собой один из ключевых параметров обеспечения безопасности движения. Отклонения от нормативных параметров в кривых приводят к возрастанию вертикальных, поперечных и продольных сил взаимодействия. Возрастание указанных сил способствует ускоренному износу элементов верхнего строения пути и колёсных пар подвижного состава [1].

Одним из ключевых контролируемых параметров геометрии рельсовой колеи в кривой являются отступления в плане на базах 20 и 40 м. Данный тип отступления напрямую влияет на безопасность движения поездов, в особенности на вероятность сдвига рельсошпальной решётки и набегания гребня колеса на боковую грань рельса.

Набегание колеса на рельс – это угол между гребнем набегającego на рельс колеса локомотива, движущегося по кривой части пути, и касательной к этой кривой, проходящей через точку касания колеса с рельсом.

Отступления в плане приводят к дополнительным поперечным силам – рамным и боковым.

Боковая сила действует перпендикулярно оси пути. На её величину влияют следующие факторы: угол набегания α , скорость движения поезда, радиус кривой, степень износа гребня колеса и боковой грани рельса. При чрезмерном набегании возникают дополнительные негативные последствия: ускоренный износ гребней колёс и боковой грани рельсов, повышение контактного давления, перегрев буксового узла, образование трещин в раме тележки и риск схода вагона с рельсов.

¹ Нечушкин Александр Сергеевич – старший преподаватель кафедры «Железнодорожный путь и строительство»

² Пестов Кирилл Михайлович – аспирант, ИТСПС

Существенное влияние оказывают также отступления в плане: они усиливают набегание гребня колеса и боковые силы. К числу таких отклонений относятся: неровности в переходных кривых, недостаточное возвышение наружного рельса, несоответствие фактического радиуса кривой проектному значению, а также нарушение плавности отвода возвышения [4].

Основная часть. В рамках текущего исследования проанализировано влияние рихтовки железнодорожного пути на величину боковых сил, действующих на грузовой вагон при движении в кривых различного радиуса. При прохождении криволинейного участка на вагон действуют боковые силы, величина которых зависит от массы вагона, радиуса кривой, скорости движения и отступлений в плане.

Исследование влияния отступлений в плане в кривой на величину боковых сил выполнено в программном комплексе «Универсальный механизм» [3]. Имитационное моделирование проводилось с грузовым вагоном с тележками модели 18-100 (см. рис. 1).

Моделирование отступлений в плане проводилось на базе 40 метров. Величина отступлений в плане бралась в соответствии с инструкцией 436/р. Скорость движения грузового вагона задавалась 40, 60 и 90 км/ч, радиус кривой 350, 600, 900 и 1200 м.

Результаты имитационного моделирования приведены в таблице 1-4

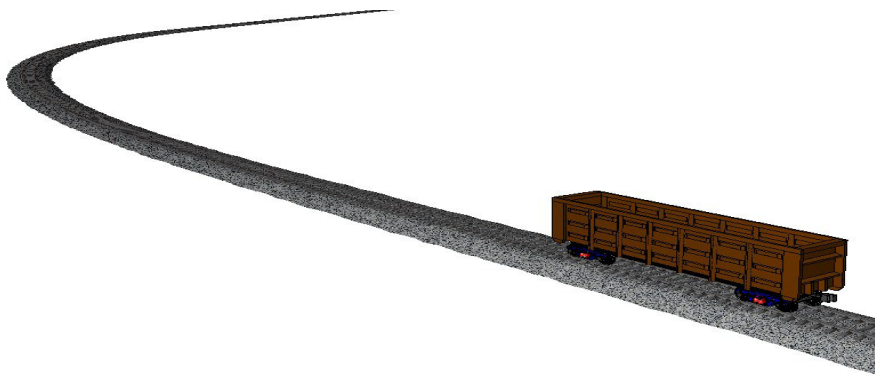


Рис. 1. Моделирование процесса расчёта в программном комплексе «Универсальный механизм» с учётом отклонения пути в плане

Таблица 1

Значение боковых сил по степеням в зависимости от скорости и рихтовки пути при радиусе 350 м

Радиус кривой, м	Степень отклонение пути в плане	Скорость грузового вагона, км/ч		
		40	60	90
350	I степень	48.22	49.68	65.50
	II степень	48.09	50.63	66.71
	III степень	50.25	53.71	68.55
	IV степень	53.69	54.04	70.28

Таблица 2

Значение боковых сил по степеням в зависимости от скорости и рихтовки пути при радиусе 600 м

Радиус кривой, м	Степень отклонение пути в плане, мм	Скорость грузового вагона, км/ч		
		40	60	90
600	I степень	41.58	42.48	42.86
	II степень	45.76	45.41	51.28
	III степень	47.12	47.54	52.52
	IV степень	47.79	49.01	53.94

Таблица 3

Значение боковых сил по степеням в зависимости от скорости и рихтовки пути при радиусе 900 м

Радиус кривой, м	Степень отклонение пути в плане, мм	Скорость грузового вагона, км/ч		
		40	60	90
900	I степень	35.17	35.86	36.08
	II степень	42.76	43.89	44.19
	III степень	49.07	53.30	55.73
	IV степень	51.61	56.60	56.60

Таблица 4

Значение боковых сил по степеням в зависимости от скорости и рихтовки пути при радиусе 1200 м

Радиус кривой, м	Степень отклонение пути в плане, мм	Скорость грузового вагона, км/ч		
		40	60	90
1200	I степень	32.99	34.84	37.78
	II степень	42.46	43.02	47.57
	III степень	50.72	51.59	51.78
	IV степень	52.24	53.87	55.29

Из полученных таблиц видно, что с увеличением радиуса кривой боковые силы уменьшаются. Это объясняется снижением угла набегания колеса на рельс и уменьшением центробежной силы:

1. Радиус 350 м – самые высокие значения боковых сил (например, до 70.28 при IV степени отклонения и скорости 90 км/ч).

2. Радиус 600 м – силы снижаются (максимум 53.94 при тех же условиях).

3. Радиус 900 м – дальнейшее снижение (максимум 56.60).

4. Радиус 1200 м – минимальные значения среди рассмотренных (максимум 59.29).

Увеличение радиуса кривой существенно снижает нагрузку на путь и подвижной состав.

Проведённый анализ подтвердил, что боковые силы в кривых зависят от радиуса кривой, степени отклонения пути в плане и скорости движения. Максимальные значения сил зафиксированы в кривых радиусом 350 м при IV степени отклонения и скорости 90 км/ч, минимальные – в кривых 1200 м при I степени отклонения и скорости 40 км/ч.

Проведем сравнение полученных результатов моделирования с предельным значением боковой силы равно 100 кН в соответствии с ГОСТ 34759-2021 [5].

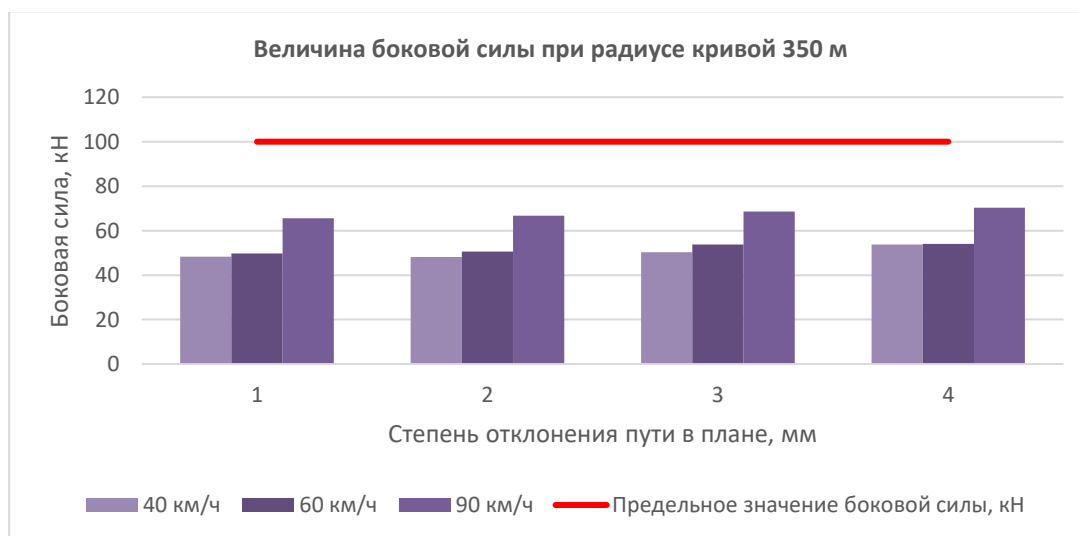


Рис. 2. График зависимости величины отступлений пути в плане (по степеням) от скорости движения при радиусе кривой 350 м

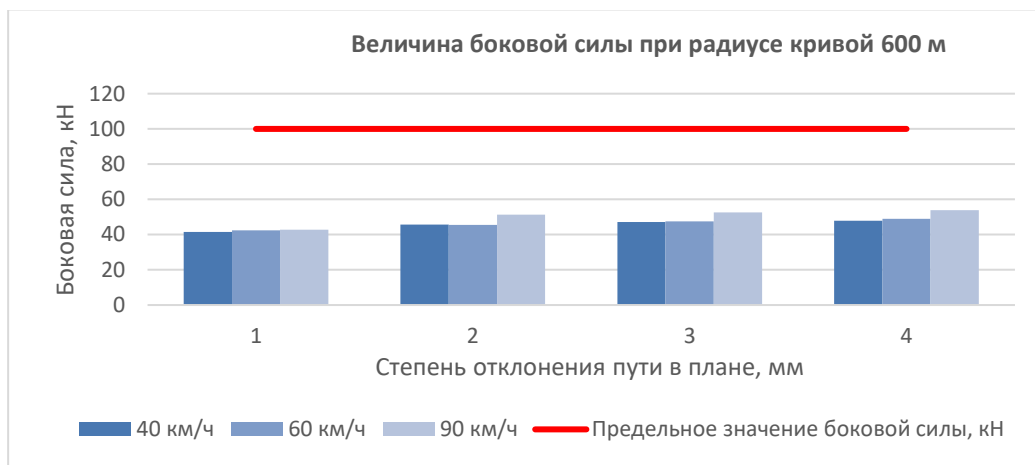


Рис. 3. График зависимости величины отступлений пути в плане (по степеням) от скорости движения при радиусе кривой 600 м

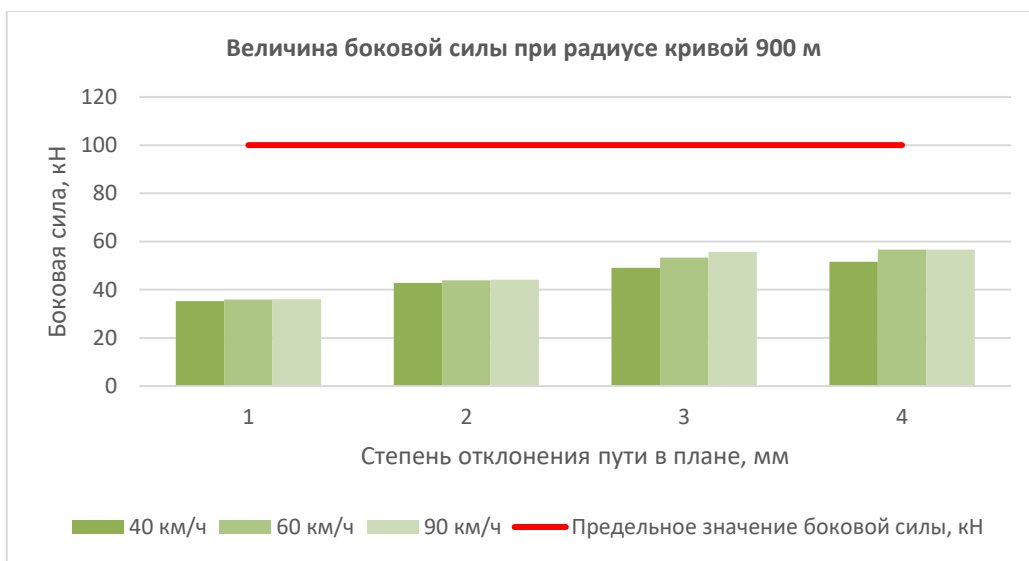


Рис. 4. График зависимости величины отступлений пути в плане (по степеням) от скорости движения при радиусе кривой 900 м

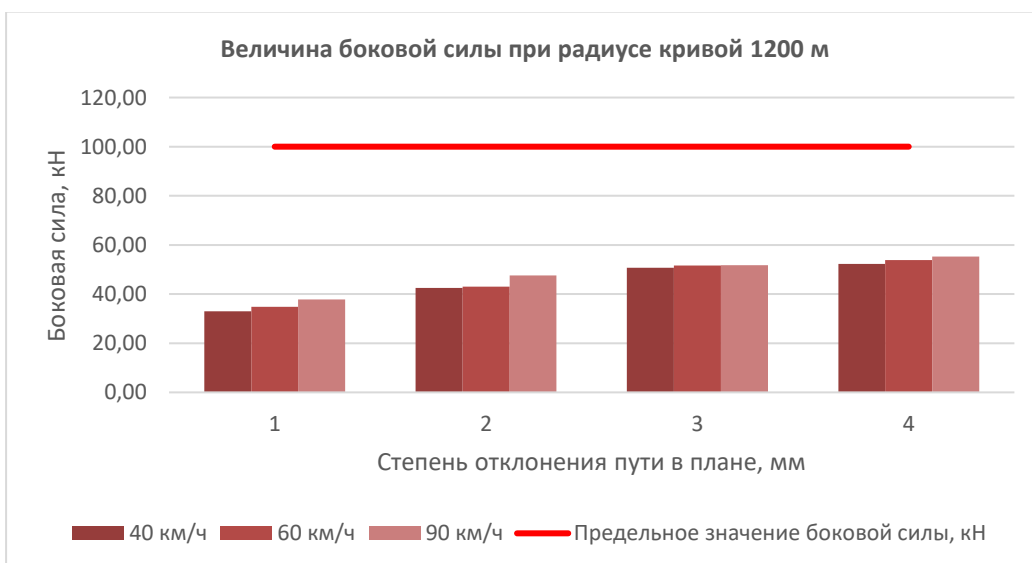


Рисунок 5 - График зависимости величины отступлений пути в плане (по степеням) от скорости движения при радиусе кривой 1200 м

Заключение. Проведённый анализ графиков, отражающих зависимость величины боковой силы от степени отклонения пути в плане и скорости движения при радиусах кривых 350, 600, 900 и 1200 метров, позволяет сделать принципиально важные выводы.

При наличии отклонений в плане и увеличении скорости движения подвижного состава наблюдается рост боковых сил, воздействующих на элементы железнодорожной инфраструктуры. Это приводит к ряду негативных последствий: ускоренному износу рельсов и гребней колёс, сокращению межремонтных периодов эксплуатации и увеличению эксплуатационных затрат.

Результаты проведённых расчётов демонстрируют чёткую тенденцию: увеличение радиуса кривой способствует существенному снижению величины боковой силы. Так, при расширении радиуса улучшается динамика вписывания подвижного состава в заданную траекторию движения.

Данный эффект обусловлен минимизацией динамических и центробежных нагрузок на элементы инфраструктуры.

Анализ условий движения показывает, что даже незначительные отклонения в плане могут спровоцировать значительный рост боковых сил. Причина этого явления – увеличение угла набегания гребней колёс на боковую грань рельса.

В ходе расчётного моделирования было зафиксировано максимальное значение боковой силы, составившее 70,28 кН. Данный показатель находится в пределах установленного нормативного ограничения, равного 100 кН, что подтверждает соответствие текущих условий эксплуатации действующим техническим требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 «Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. приказом Минтранса России от 23 июня 2022 г. № 250
- 2 Распоряжение ОАО «РЖД» от 28 февраля 2020 г. № 436/р Об утверждении Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов.
- 3 Универсальный механизм [Электронный ресурс] / UMLAB. – URL: umlab.ru (дата обращения: 25.12.2025 г.).
- 4 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути утверждена распоряжением ОАО "РЖД" от 14.11.2016 г. № 2288р
- 5 ГОСТ 34759-2021 ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний
- 6 О влиянии типов промежуточных рельсовых скреплений на динамику отступлений основных параметров геометрии рельсовой колеи / А. С. Нечушкин, Н. С. Царев, С. В. Тишуков, Ю. Ю. Борисова // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – № 1(115). – С. 120-127. – EDN GTMFLV.
- 7 Бондаренко, А. А. Влияние изменения температуры на содержание стыков звеньев пути / А. А. Бондаренко, С. В. Тишуков, О. М. Васильева // Путь и путевое хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 12-16. – EDN JOKKAY.
- 8 Атапин, В. В. Перспективы развития путевого хозяйства / В. В. Атапин, С. В. Тишуков // Наука и образование транспорта. – 2023. – № 2. – С. 120-122. – EDN WPHDLC.

СЕКЦИЯ 4

Автоматизация, информатизация, телекоммуникации и энергосбережение на железнодорожном транспорте

ПЕРЕВОД УЧАСТКА СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ОДНОПУТНОГО НА ДВУХПУТНЫЙ

И. Ф. Галиуллин¹, Е. В. Добрынин²

Введение. Логистика перевозочного процесса определяется рядом факторов, в которые на первом месте входит соединение потребителей и источников ресурсов. Изменения геополитической обстановки приводит к изменениям потока грузов, перевозимых по железной дороге, что связано со сменой приоритетов поставок их потребителям. Вторым фактором для образования логистики являются пути перемещения грузов. Изменения потоков возможно при наличии инфраструктуры, которая может эти потоки обеспечить. И, если железнодорожные пути позволяют с относительно малыми вложениями увеличить потоки поездов по каком-либо ранее мало используемому направлению, то энергетика, обеспечивающая электроснабжение движения поездов, является критическим фактором, ограничивающим развитие новых направлений [1, 2].

В статье рассмотрен один из участков железной дороги протяженностью 80 км, обеспечивающий транзит грузов, который требуется увеличить в 4 раза. Сложность участка состоит в том, что он является однопутным и проходит по гористой местности с затяжными подъемами. Такой профиль накладывает ограничения на массу составов, которые могут вытянуть локомотивы. В настоящее время максимальная масса составов, курсирующих по данному направлению, составляют 3500 / 2500 тонн в нечетном и четном направлениях соответственно, до обеспечивая проход до 35 пар поездов в сутки.

Выполнив тяговые расчеты, получено, что увеличение масс поездов возможно до 7100 тонн в нечетном и 5300 тонн в четном направлениях. При этом для тяги будут использованы вдвоенные локомотивы 2×2ЭС-5 Ермак. Использование по три локомотива в сцепке позволит увеличить массу поездов еще примерно на 30-40 %. Но уже при озвученных массах поездов возникает проблема с их электроснабжением.

Система тягового электроснабжения (СТЭ) переменного тока, используемая на рассматриваемом участке, имеет ряд преимуществ перед системой постоянного тока за счет более высокого уровня напряжения. Увеличение напряжения с 3,3 кВ до 25 кВ снижает во столько же раз ток, потребляемый при той же мощности электроподвижного состава (ЭПС). В свою очередь, это снижает потери и дает возможность уменьшить сечение контактной подвески и увеличить расстояние между тяговыми подстанциями. Но увеличение расстояния между тяговыми подстанциями приводит к росту нагрузки на них и необходимости повышения мощности.

¹ Галиуллин Ильнур Фаилевич – студент группы СОДП-36у, ЭТФ

² Добрынин Евгений Викторович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта»

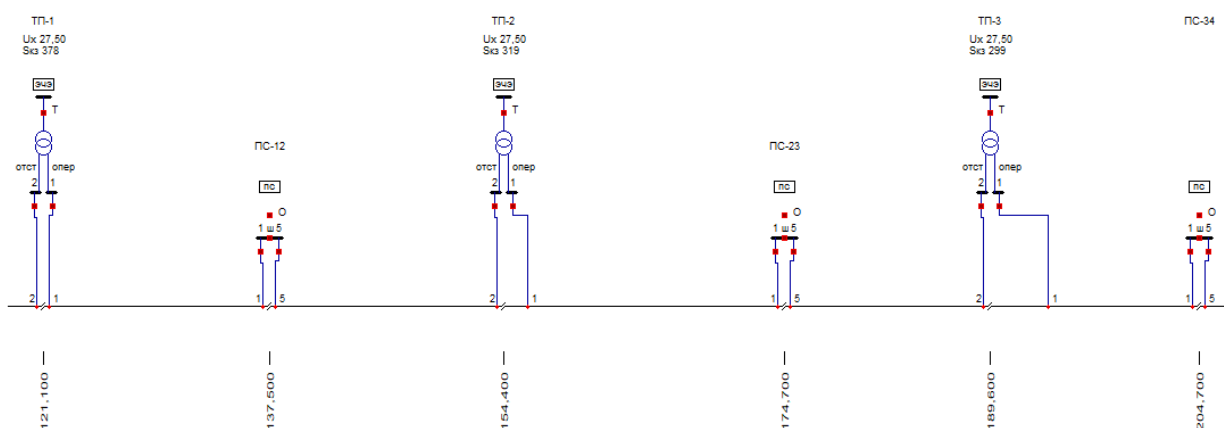


Рис. 1. Схема питания участка до усиления

На исследуемом участке тяговые подстанции располагаются на расстоянии 34 – 37 км. Мощность тяговых подстанций составляет 25 МВА, контактная подвеска М120+МФ100. В межподстанционных зонах установлены посты секционирования (ПС), которые при однопутной системе электроснабжения несут функцию защиты от коротких замыканий и возможность выводить из работы только половину участка.

Рост массы ЭПС создает пропорциональный рост токовой нагрузки. Проход ЭПС по участку система электроснабжения должна обеспечивать с соблюдением требований Правил технической эксплуатации (ПТЭ): исключение перегрузки и перегрева оборудования и токоведущих частей, обеспечение уровня напряжения выше 21 кВ.

Увеличение грузооборота может быть достигнуто за счет повышения масс поездов, а также их количества. Существующая однопутная инфраструктура ограничивает рост числа поездов, поскольку на перегонах недостаточно пунктов разъезда. Рост массы поездов ограничивается тяговыми способностями электровозов и СТЭ [3, 4, 5].

Для работы системы тягового электроснабжения более предпочтительным является вариант увеличения числа поездов, чем их масс, поскольку в последнем случае нагрузка получается сконцентрированной в точке движения ЭПС, что увеличивает потери энергии и падение напряжения.

В результате моделирования существующей системы электроснабжения с однопутным исполнением получено, что пропуск поездов возможен не более 33 поездов в каждом направлении массами 4600 / 3700 тонн (нечет / чет) с интервалами 10 минут, что недостаточно для решения поставленной задачи. Кроме того, такое повышение масс поездов потребует использование сдвоенных электровозов, что будет не рационально, поскольку они не будут реализовывать свой имеющийся тяговый потенциал. Поэтому для данного участка предлагается переход на двухпутное движение.

Независимость путей для четного и нечетного направлений снимает ограничения, возникающие при организации встречного движения с применением разъездных пунктов. В СТЭ реализация двухпутной схемы питания позволяет более эффективно использовать тяговую сеть. Например, увеличение сечения существующей контактной подвески позволит повысить ток допустимый нагрузки, но использоваться потенциал подвески будет только, когда поезд будет идти на подъем, то есть только при движении в одном направлении. Перевод на двухпутную подвеску дает возможность не увеличивая сечение подвески одного пути использовать провода второго пути за счет перетока через посты секционирования и пункты параллельного соединения (ППС). Кроме того, такая схема позволяет использовать рекуперативное торможение, что снизит расход электроэнергии на движение составов по участку.

Моделирование двухпутной СТЭ показало, что пропускная способность участка может возрасти до 78 поездов в сутки в каждом направлении при сохранении масс 3500 / 2500 тонн с интервалом 16 минут. То есть увеличить пропускную способность участка в 2 раза.

Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод, что первым, ограничивающим пропускную способность, фактором является мощность трансформаторов. Повышение

мощности трансформаторов до 40 МВА на первой ТП и до 63 МВА на остальных позволит поднять пропускную способность до 140 пар поездов в сутки с интервалом 9 минут.

Дальнейшее снижение интервала ограничивается уровнем напряжения в контактной сети, который при равных условиях нагрузки зависит от сечения контактной подвески, мощности трансформаторов на тяговых подстанциях и сопротивления внешней системы электропитания [6]. Пропуск поездов параллельным графиком с интервалами 6 минут создает снижение напряжения до уровня 17,5 кВ. При этом максимальный нагрев контактной подвески относительно окружающей среды составил 14⁰С, перегрузка трансформаторов в максимуме не превысила 20 % (при допустимых 100 %), а напряжение на выходах 2-ой и 3-ей ТП составили 20 кВ. Из этого следует, что ограничения напряжения создаются за счет системы внешнего электропитания.

Три базы системы электропитания: система внешнего электропитания, мощность тяговых подстанций и сечение контактной сети должны создавать требуемый уровень энергообеспечения перевозочного процесса, используя свой потенциал в равной степени [7-10]. Следовательно, перевод участка на двухпутный должен сопровождать не только модернизацией СТЭ, но и усилением системы внешнего электропитания.

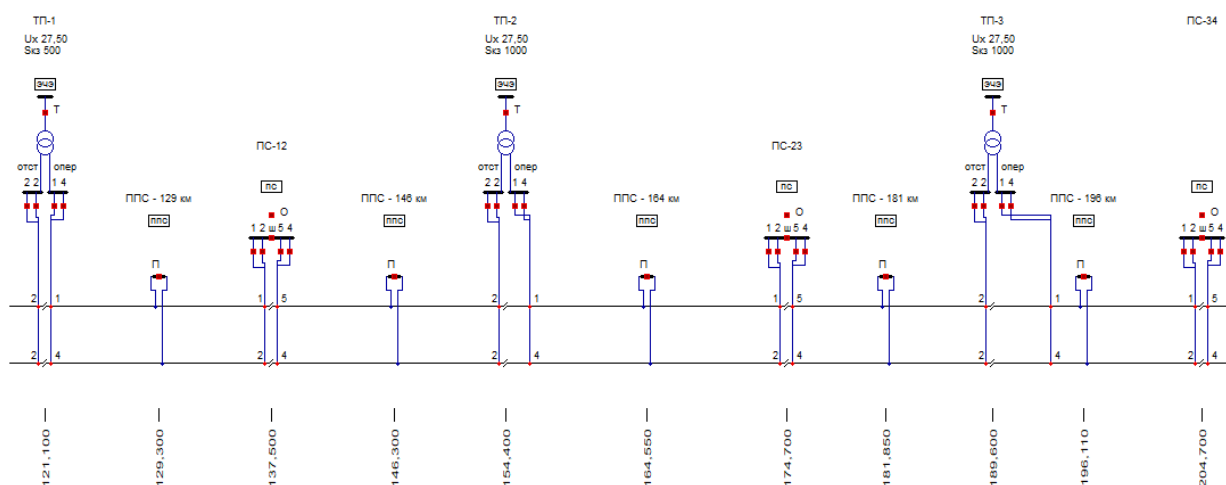


Рис. 2. Схема питания участка после усиления

Усиление системы внешнего электропитания до получения мощности короткого замыкания на шинах 1-ой ТП до 500 МВА, на шинах 2-ой и 3-ей ТП до 1000 МВА позволит увеличить пропускную способность участка до 114 пар поездов в сутки массами 7100 / 5300 с интервалами 11 минут, что решит поставленную задачу.

Таким образом, решая задачу усиления системы тягового электропитания для повышения пропускной способности СТЭ следует подходить комплексно, анализируя распределение нагрузки и падение напряжения во всех элементах системы, включая внешнюю [10]. Это обеспечит оптимальное использование потенциала всего оборудования СТЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаранин, М. А. Ограничения пропускной способности железных дорог по условиям электропитания и их снятие / М. А. Гаранин, Е. В. Добрынин, А. Н. Потейко // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2024. – № 5(114). – С. 37-42. – EDN ZQDABL.
2. Гаранин, М. А. Критерии идентификации фактических показателей пропускной способности участков железных дорог по условиям электропитания / М. А. Гаранин, А. Н. Митрофанов, А. Н. Потейко // Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации устройств электропитания электрического транспорта, разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики : Материалы Всероссийского научно-образовательного форума, Омск, 15–17 октября 2025 года. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 39-43. – EDN JIPXGE.
3. Гаранин, М. А. Расчет энергообеспеченности перевозочного процесса и усиление системы тягового электропитания / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Транспорт Урала. – 2014. – № 3(42). – С. 109-114. – EDN SVNLMТ.

- 4 Гаранин, М. А. Оценка энергообеспеченности участков железной дороги / М. А. Гаранин, С. А. Блинкова // Наука и образование транспорту. – 2014. – № 1. – С. 211-214. – EDN TGLWUL.
- 5 Фроленков, С. А. Усиление существующей системы тягового электроснабжения для организации движения поездов повышенного веса 12000 тонн на электрифицированных участках дороги / С. А. Фроленков, Т. В. Бошкарёва // Инновации в системах обеспечения движения поездов : Материалы I Международной научно-практической конференции, Самара, 19–20 мая 2016 года / Министерство транспорта Российской Федерации; Федеральное агентство железнодорожного транспорта; Самарское региональное отделение Российской академии транспорта; ФГБОУ ВО "Самарский государственный университет путей сообщения" (СамГУПС); Куйбышевская железная дорога - филиал ОАО "Российские железные дороги". – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2016. – С. 82-84. – EDN XSWPFL.
- 6 Учет распределения тока в тяговой сети при проектировании и усилении контактной подвески / Е. В. Добрынин, О. В. Табаков, И. П. Гордеев, Е. М. Плохов // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 2(80). – С. 16-21. – EDN PFPBFK.
- 7 Добрынин, Е. В. Комплексное моделирование системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава / Е. В. Добрынин, М. А. Гаранин, И. В. Игнатенко // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 3(111). – С. 41-47. – EDN VPGEUQ.
- 8 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2005611049 Российская Федерация. Программный комплекс для интегральной оценки железных дорог по условиям электроснабжения (АРЭС-ЭЧ): № 2005610392: заявл. 03.03.2005 / А. Н. Митрофанов, М. А. Гаранин, Е. В. Добрынин; заявитель Самарский государственный университет путей сообщения. – EDN VWSTMM.
- 9 Создание единой модели системы тягового и внешнего электроснабжения в MatLab/Simulink / В. А. Гречишников, Я. В. Бредихин, М. Н. Петрова, Р. В. Кокушкин // Молодой ученый. – 2021. – № 36(378). – С. 19-24. – EDN ZFLWJ.
- 10 Гаранин, М. А. Разработка динамической модели загрузки инфраструктуры тягового электроснабжения / М. А. Гаранин, Е. В. Добрынин, А. Н. Потейко // Транспортное дело России. – 2026. – № 2. – С. 250-255. – EDN DSFQJU.

СТАЦИОНАРНАЯ ДИАГНОСТИКА СЕКЦИОННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

М. Ю. Ефимов¹, Т. В. Харитонова²

Введение. Секционные изоляторы являются важным элементом контактной сети постоянного тока и предназначены для электрического разделения отдельных участков контактной сети при сохранении непрерывности токоёма подвижным составом. Их применение позволяет организовать питание различных секций контактной сети от независимых источников, а также обеспечивает возможность выполнения ремонтных и эксплуатационных работ без полного отключения участка [1].

Основная часть. На станциях, в том числе на станции Приютово, секционные изоляторы устанавливаются, как правило, в пределах стрелочных горловин, на границах секций питания и в местах, где требуется разделение контактной сети по условиям эксплуатации. При этом они включаются непосредственно в контактный провод и являются его составной частью.

Основными функциями секционного изолятора являются:

- электрическое разделение участков контактной сети;
- обеспечение безопасного пропуска токоприёмника подвижного состава;
- предотвращение возникновения коротких замыканий между секциями;
- сохранение механической прочности контактной подвески.

Таким образом, секционный изолятор должен одновременно обладать высокими изоляционными свойствами и обеспечивать надёжный токоём без значительных динамических воздействий на токоприёмник.

В условиях развития цифровых технологий и повышения требований к надёжности устройств электроснабжения железных дорог всё более актуальным становится внедрение

¹ Ефимов Максим Юрьевич – студент группы СОДП-14, ЭТФ

² Харитонова Татьяна Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта»

автоматизированных систем мониторинга технического состояния оборудования. Одним из перспективных направлений является использование технологии радиочастотной идентификации (RFID), позволяющей осуществлять дистанционную идентификацию и сбор информации об объектах эксплуатации [2].

Технология RFID (Radio Frequency Identification) основана на передаче данных между специальной меткой (транспондером) и считывающим устройством с использованием радиочастотного сигнала. Типовая RFID-система включает три основных элемента (рисунок 1):

- RFID-метку, размещаемую на контролируемом объекте;
- считывающее устройство (ридер);
- систему обработки и хранения данных.



Рис. 1. Типовая RFID-система

С учётом анализа существующих методов диагностики и возможностей RFID-технологий, целесообразно рассмотреть их применение в сочетании с уже используемыми средствами контроля контактной сети - вагонами-лабораториями. Такой подход позволяет интегрировать новую технологию в действующую систему диагностики без существенного изменения организации эксплуатационных процессов.

В основе предлагаемого решения лежит принцип идентификации каждого секционного изолятора с помощью RFID-метки с последующим считыванием информации при проходе вагона-лаборатории. При этом сама RFID-метка не рассматривается как автономный измерительный элемент, а выступает в роли носителя информации и средства привязки диагностических данных к конкретному объекту.

Каждому секционному изолятору типа ИС-160-3 присваивается уникальный идентификатор, реализуемый в виде RFID-метки, устанавливаемой непосредственно на конструкции изолятора (например, на изолирующем элементе из стеклопластика). При размещении метки должно обеспечиваться:

- устойчивое считывание при прохождении подвижного состава;
- защита метки от механических повреждений и климатических воздействий;
- минимальное влияние электрического поля контактной сети.

Принципиальная схема взаимодействия элементов системы приведена на рисунке 2.



Рис. 2. Принцип диагностики секционных изоляторов с использованием RFID и вагона-лаборатории

Заключение. Выполненные исследования и разработки позволяют сделать вывод о том, что применение RFID-технологий для диагностики секционных изоляторов является технически реализуемым и перспективным решением, обеспечивающим повышение надёжности работы контактной сети, снижение эксплуатационных затрат и переход к современным цифровым методам мониторинга состояния оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Федеральное государственное бюджетное учреждение Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система. [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://www1.fips.ru> – (дата обращения: 15.04.2026).
- 2 ГОСТ Р ИСО/МЭК 18000-1-2019. Информационные технологии. Радиочастотная идентификация для управления объектами. Общие требования.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРА НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА

А. А. Тулемесов¹, Т. В. Харитонова²

Введение. Что же такое мультивибратор? Это электронная схема, которая генерирует периодические импульсы без внешнего воздействия. В простейшем виде он состоит из двух усилительных каскадов, соединённых положительной обратной связью – это два транзистора с резисторами и конденсаторами.

Основная часть.

Рассмотрим принцип работы схемы (рис.1). Конденсаторы C1 и C2 попеременно заряжаются и разряжаются через резисторы, заставляя транзисторы открываться и закрываться, что позволяет создать импульсы на коллекторах, которые включают светодиоды попеременно.

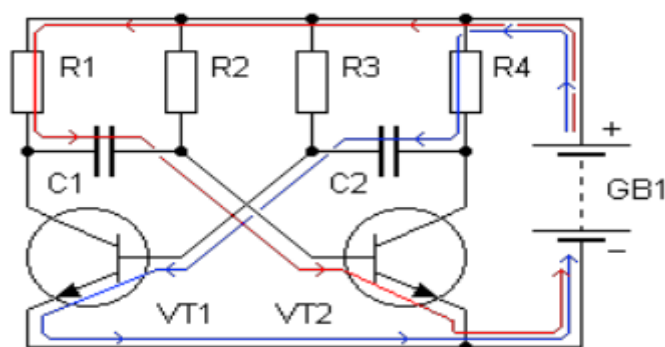


Рис. 1. Принципиальная схема мультивибратора

Процесс работы:

Я решил видоизменить схему в качестве наглядного демонстративного устройства, собранного по принципу мультивибратора. Представленный образец полезен в реальной жизни. Область применения такой схемы довольно разнообразная: её можно использовать в случае всевозможных аварий, неисправностей на дороге, а также в случае проведения ремонтных работ или различных ограждений в различное время суток (рис. 2).

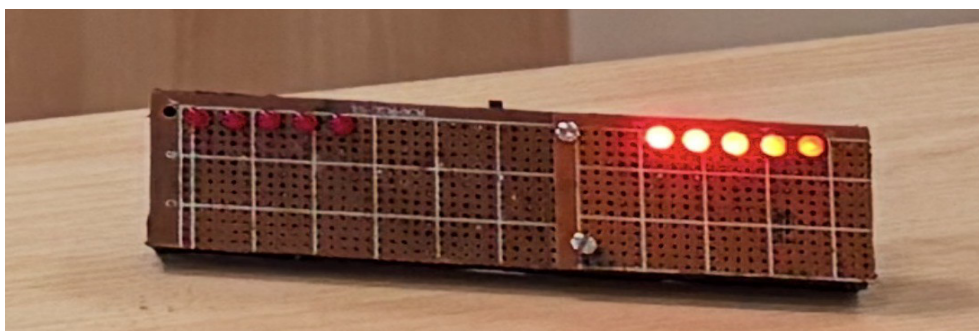


Рис. 2. Прототип схемы для ремонтных работ

Вместо обычных светодиодов еще можно установить светодиодную матрицу, которая будет выводить нужную информацию в виде бегущей строки, например: «Проезд запрещен», «Осторожно, ведутся работы» и так далее. Так как статичная надпись зачастую не привлекает внимание людей, поэтому важно использовать именно бегущую строку, которая все время находится в движении, находясь в поле зрения водителя или машиниста.

Преимуществам данного устройства.

¹ Алидар Аскарлович Тулемесов – студент СОДП-55у, ЭТФ

² Татьяна Владимировна Харитонова – к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Электротехника»

Малое потребление электроэнергии, поскольку сама схема мобильна и удобна в использовании.

Минимальные затраты на компоненты прибора и простота его транспортировки.

Способность устройства питаться от различного малогабаритного источника – аккумулятор или батарея напряжением от 9 до 15 В, что позволяет установить его в любом месте.

Продуктивная работоспособность даже в неблагоприятные погодные условия: дождь, град, снег, жара или мороз.

Длительное время работы механизма – от полутора часов до недели.

Например, во время работ на железной дороге используется сигналист. Рассматриваемое устройство способно заменить его или дублировать его сигналы в подобных случаях, так как поспособствует более эффективному привлечению внимания машиниста.

Области применения мультивибратора:

Сам мультивибратор используется в:

- радиолокации;
- автоматике;
- вычислительной технике – как задающие генераторы, формирующие импульсы, делители частоты;
- измерительной технике;
- учебных и демонстрационных схемах – в качестве наглядной модели для обучающихся.

Заключение

Предложенное техническое решение представляет собой эффективное мобильное устройство сигнальной индикации, обладающее следующими достоинствами: Автономность эксплуатации, доступность компонентов, стабильность работы в различных условиях, динамический способ представления информации, возможность длительной работы от портативных источников питания.

Таким образом, мой механизм – это мобильное устройство, не требующее больших вложений, способное работать от батарейки или от аккумуляторной батарейки и сохранять функциональность даже в плохих погодных условиях. А самым важным преимуществом прибора является его умение привлекать внимание окружающих за счет динамической демонстрации информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС: Пер. с англ. - М.: Мир, 1985.-572 с.
- 2 Забродин Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов – Москва: Альянс, 2013. – 496 с.
- 3 Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: учебное пособие для вузов – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 704 с.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

А. С. Подкорытов¹, Т. В. Харитонова²

Введение. Качество и стабильность питания –важнейший фактор в современной электронике: колебания напряжения, пульсации и помехи способны вывести из строя микроконтроллеры, исказить сигналы аналоговых схем и привести к поломке компонентов. При проектировании блоков питания критически важно обеспечить высокий уровень надёжности и функциональности.

Основная часть.

На рынке представлены разные типы источников питания. Источники на биполярных транзисторах отличаются доступностью и простотой реализации, но ограничены по выходной мощности(рис.1). Полевые транзисторы обеспечивают высокую скорость переключения, однако менее эффективны при больших нагрузках. IGBT-транзисторы объединяют преимущества обоих типов и подходят для приложений с высокими требованиями к мощности и эффективности – именно они были выбраны в рамках проекта по созданию высоковольтного и сильноточного регулируемого источника питания в качестве силового ключа.

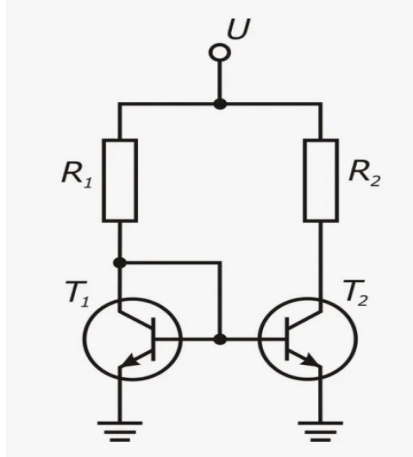


Рис. 1. Схема источника питания на биполярных транзисторах

Замена полевого транзистора на IGBT стала ключевым этапом модернизации: гибридная природа IGBT позволяет управлять большими объёмами энергии с высокой эффективностью. Этот тип транзисторов управляется по принципу полевых (изолированный затвор, минимальное напряжение управления, практически нулевой входной ток), но обладает проводящими свойствами биполярных (низкое падение напряжения в открытом состоянии даже при значительных токах).

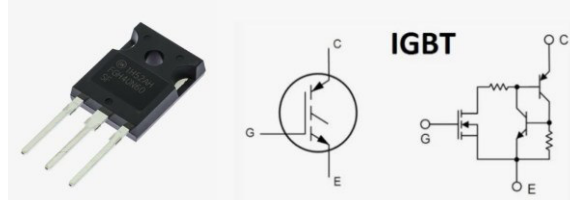


Рис. 2. IGBT-транзистор (общий вид и схема)

IGBT-транзисторы широко применяются в силовых преобразователях (инверторах, частотных преобразователях), источниках питания для промышленного оборудования, драйверах электродвигателей (в т.ч. в электротранспорте), импульсных блоках питания высокой мощности, солнечных инверторах и системах управления ветрогенераторами, сварочных аппаратах и оборудовании для индукционного нагрева. Их использование даёт

¹ Андрей Сергеевич Подкорытов – студент СОДП-55у, ЭТФ

² Татьяна Владимировна Харитонова – к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Электротехника»

ряд преимуществ: повышается КПД за счёт меньшего падения напряжения в открытом состоянии (что снижает тепловые потери), улучшается тепловая стабильность (эффективное рассеивание тепла минимизирует риск перегрева), расширяется диапазон рабочих параметров (IGBT рассчитаны на напряжения до нескольких киловольт и токи в сотни ампер), обеспечивается более быстрая коммутация (стабильность выходного напряжения при резких изменениях нагрузки), упрощается управление (напряжение вместо тока снижает мощность, затрачиваемую на управление), возрастает устойчивость к перенапряжениям (конструкция выдерживает кратковременные лавинные процессы).

Дополнительно была модернизирована цепь фильтрации: увеличена ёмкость и рабочее напряжение выходных конденсаторов. Это позволило снизить уровень пульсаций выходного напряжения (что критично для питания микроконтроллеров, аналоговых схем и датчиков), повысить стабильность выходного напряжения при резких изменениях тока нагрузки, улучшить фильтрацию высокочастотных помех (положительно влияя на электромагнитную совместимость) и увеличить запас по перегрузке (обеспечив защиту от пиковых бросков напряжения).

В результате модернизации удалось добиться увеличения максимальной мощности нагрузки без риска перегрева компонентов, повысить общую надёжность системы за счёт снижения тепловых потерь и улучшенной фильтрации пульсаций и помех, улучшить качество выходного напряжения (минимальный уровень пульсаций, высокая стабильность при динамических изменениях нагрузки), расширить диапазон рабочих условий (устойчивость к перепадам напряжения на входе и резким изменениям тока нагрузки), а также создать предпосылки для дальнейшего масштабирования – адаптации схемы для создания более мощных источников питания.

Заключение.

С экономической точки зрения выбор IGBT оправдан в долгосрочной перспективе: повышается КПД (снижается энергопотребление), уменьшаются затраты на системы охлаждения (радиаторы, вентиляция), минимизируются расходы на ремонт и обслуживание благодаря высокой надёжности, упрощается логистика и складское хранение за счёт универсальности IGBT. Таким образом, IGBT-транзистор – оптимальное решение для современных силовых схем и регулируемых источников питания: сочетание высокой мощности, стабильности, удобства управления, устойчивости к перенапряжениям и экономической эффективности делает его идеальным выбором для стабилизаторов напряжения нового поколения, особенно в условиях высоких токов и напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ступина Е.Е., Ступин А.А., Чупин Д.Ю., Каменев Р.В. Основы робототехники: учебное пособие. – Новосибирск: Агентство «Сибпринт», 2019. – 160 с.
- 2 Гончарова В. А., Голова Е.В., Гушин И.А., Сабиров Ф.С. Построение твердотельных моделей геометрических фигур с использованием графического пакета T-FLEX CAD // Техническое творчество молодежи. 2017. № 3 (103). С. 20-24. 2. Жолондиевский Э. Р. Поведенчески ориентированные схемы ВЕАМ роботов, введение понятий N_v и N_u нейронов в зависимости от типа входных цепей // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LVII междунар. науч.-практ. конф. № 3 (51). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 130- 142.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В. В. Сидоров¹, А. С. Хохрин²

Введение. Современный железнодорожный транспорт характеризуется высокими требованиями к безопасности движения и широкой цифровизацией производственных процессов. ОАО «РЖД» практически полностью перешло на электронный документооборот, критически важные системы обеспечения безопасности поездов функционируют в автоматизированном режиме [1]. В этих условиях стабильная и отказоустойчивая сетевая инфраструктура становится фундаментом оперативного управления движением, а также организации диспетчерских кругов. Целью настоящей работы является разработка проекта модернизации компьютерной сети для предприятия железнодорожного транспорта с обоснованием физической и логической топологии, выбором аппаратных и программных компонентов, организацией администрирования и информационной безопасности.

Основная часть

Проектируемая сеть должна обслуживать 28 автоматизированных рабочих мест (АРМ) и 14 IP-телефонов, объединенных в едином здании (такое количество АРМ и IP-телефонов выбрано в качестве примера, при необходимости их количество можно изменить). В качестве базовой технологии канального уровня выбрана Gigabit Ethernet (стандарт IEEE 802.3ab, 1000BASE-T), обеспечивающая пропускную способность 1 Гбит/с на порт, что достаточно для передачи корпоративных данных и голосового трафика. Кабельная инфраструктура базируется на неэкранированной витой паре U/UTP категории 5е, допускающей сегменты длиной до 100 м в соответствии с рекомендациями ISO/IEC 11801:2010 и ГОСТ Р 53246-2008 [2, 3].

Для повышения отказоустойчивости на магистральных соединениях между коммутаторами применяется агрегирование каналов по протоколу LACP (IEEE 802.3ad) [4]. Это позволяет удвоить пропускную способность и автоматически перевести трафик на исправный физический линк при обрыве одного из кабелей или отказе порта.

В центре сети устанавливается маршрутизатор MikroTik CCR2004-16G-2S+, оснащённый 16 гигабитными портами и двумя слотами SFP+ для оптических подключений. Устройство выполняет функции NAT, межсетевого экрана, DHCP-сервера и поддерживает динамическую маршрутизацию, что делает его универсальным шлюзом между локальной сетью и внешними системами.

Три управляемых коммутатора MikroTik CRS-226-24G-2S+IN (24 порта Gigabit Ethernet, 2 порта SFP+) объединяют конечные узлы и обеспечивают поддержку виртуальных локальных сетей (VLAN) на основе стандарта IEEE 802.1Q. Это позволяет разграничить пользовательский, технологический и голосовой трафик, гарантируя качество обслуживания (QoS) для IP-телефонии.

Серверная платформа HP Proliant DL560 Gen10 (четыре процессора Intel Xeon Gold 6142, 128 ГБ ОЗУ, RAID-контроллер с зеркалированием дисков, резервирование блоков питания 4×800 Вт) выбрана как высокопроизводительная отказоустойчивая аппаратная база для виртуализации. На сервер установлен гипервизор Proxmox на ядре Linux, управляющий двумя виртуальными машинами [5]. Первая ВМ под управлением Windows Server 2019 Standard играет роль контроллера домена, DNS-сервера и центра групповых политик. Вторая виртуальная машина на основе дистрибутива FreePBX 16 со службой Asterisk реализует IP-АТС, обслуживающую внутреннюю телефонную сеть с аппаратами Yealink SIP-T31.

Физическая топология сети представляет собой «иерархическую звезду» – частный случай смешанной топологии, при которой каждый коммутатор подключён непосредственно к центральному маршрутизатору, а все рабочие станции и телефоны – к портам коммутаторов [6]. Центральный узел сети, включающий маршрутизатор, коммутаторы, патч-панели и источник бесперебойного питания, размещён в напольном 18-юнитовом телекоммуникационном

¹ Сидоров Виталий Владимирович – студент группы СОДП-42, ЭТФ

² Хохрин Алексей Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

шкафу 600×800 мм в отдельном помещении с контролируемым климатом и ограниченным физическим доступом. На рисунке 1 изображен план размещения рабочих мест, серверного помещения и кабельных трасс.

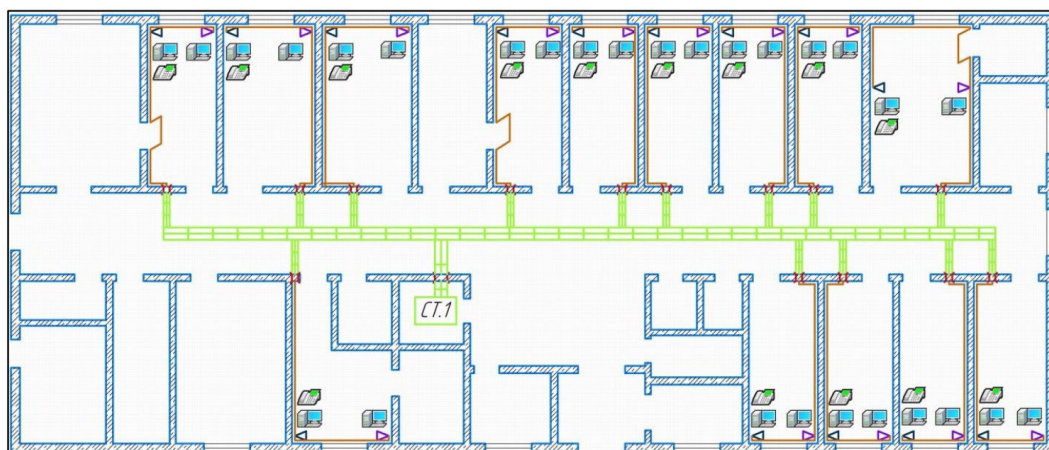


Рис. 1. План размещения рабочих мест, серверного помещения и кабельных трасс.

Логическая топология дополнительно усилена агрегированными каналами между коммутаторами. Это обеспечивает двойную пропускную способность и резервирование. Отказ одного конечного узла не влияет на остальную сеть, а повреждение одиночного кабеля затрагивает только одно рабочее место. Узким местом остаётся центральный маршрутизатор, однако его надёжность гарантируется аппаратным резервированием источников питания и регулярным обслуживанием. На рисунке 2 показана логическая топология сети предприятия железнодорожного транспорта.

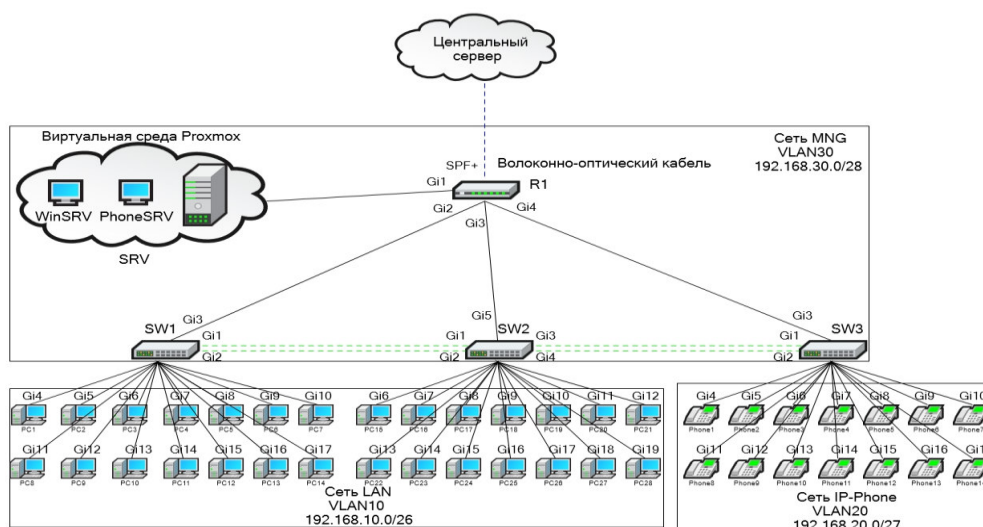


Рис. 2. Логическая топология сети предприятия железнодорожного транспорта

Для разделения информационных потоков сконфигурированы три VLAN: VLAN 10 для пользовательских данных, VLAN 20 для IP-телефонии и VLAN 30 для управления сетевыми устройствами. Такое разделение изолирует широковебастельные домены, повышает безопасность и упрощает администрирование. Тегирование трафика по IEEE 802.1Q настроено на всех коммутаторах и маршрутизаторе. На рисунке 3 показана конфигурация виртуальных локальных сетей на коммутаторе MikroTik.

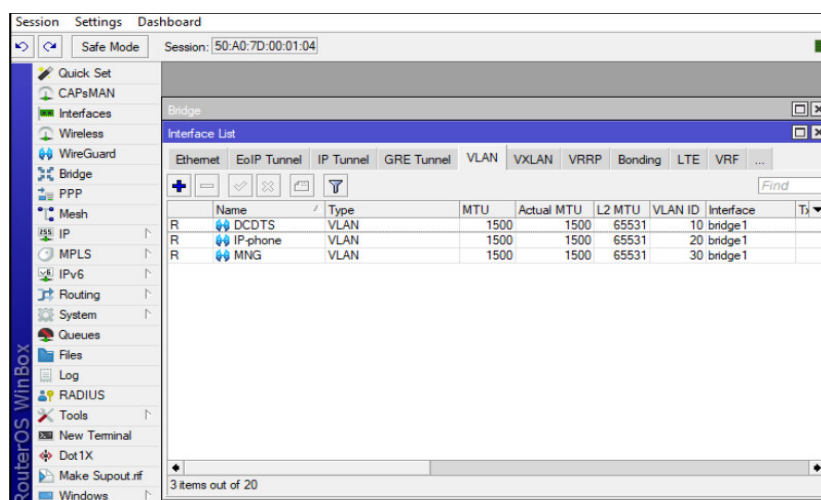


Рис. 3. Конфигурация виртуальных локальных сетей на коммутаторе MikroTik

На маршрутизаторе сконфигурирован DHCP-сервер, выдающий IP-адреса для рабочих станций и телефонов из разных подсетей (192.168.10.0/26 и 192.168.20.0/27 соответственно), что позволяет автоматически подключать новые устройства. Все активные компоненты сети (сервер, маршрутизатор, коммутаторы) получили статические адреса из специальной управляющей подсети 192.168.30.0/28.

Для мониторинга состояния сети в реальном времени применяется программный комплекс Algorius Net Viewer, строящий динамическую карту сети с индикацией статуса устройств и загрузки портов. В качестве дополнительного анализатора трафика используется Wireshark – свободно распространяемый анализатор пакетов, позволяющий детально исследовать протокольный обмен, диагностировать неисправности и выявлять аномальную активность, в том числе в голосовых потоках VoIP.

Заключение

В рамках настоящей работы разработана готовая к внедрению компьютерная сеть для предприятия железнодорожного транспорта. Осуществлён обоснованный выбор активного и пассивного сетевого оборудования, серверной платформы, реализована смешанная физическая топология с элементами иерархической звезды. Средствами VLAN и агрегирования каналов обеспечена отказоустойчивость, разделение трафика и высокая производительность серверных сервисов. Настроены контроллер домена, DNS, DHCP, IP-ATC, межсетевой экран и организована система мониторинга. Разработанные планы аварийного восстановления и профилактического обслуживания позволяют поддерживать созданную инфраструктуру в стабильном рабочем состоянии и оперативно восстанавливать её после возможных сбоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ларин А. Н., Ларина И. В. Цифровизация автотранспортной и железнодорожной отраслей как ключевой элемент цифровой экономики // Известия Транссиба. 2021. № 4(48). С. 109–129.
- 2 ISO/IEC 11801:2010. Information technology – Generic cabling for customer premises – Amendment 2. 2010. (перизд. 2022).
- 3 ГОСТ Р 53246-2008. Информационные технологии. Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2010. (ред. 2012, переизд. 2022).
- 4 Селютин Д. М. Средства обеспечения отказоустойчивости подключения локальной сети к сети Интернет // Лучшая студенческая работа 2025: сб. ст. XVII Междунар. науч.-исслед. конкурса (Пенза, 30 янв. 2025 г.). Пенза: Наука и Просвещение, 2025. С. 23–27.
- 5 Морозов И. М. Сравнение производительности вложенной виртуализации и контейнеризации при моделировании цифровых двойников вычислительных сетей // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвящ. 170-летию со дня рожд. В. Г. Шухова: сб. докл. (Белгород, 16–17 мая 2023 г.). Белгород: Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова, 2023. Ч. 13. С. 325–330.
- 6 Проскуряков А. В. Компьютерные сети. Основы построения компьютерных сетей и телекоммуникаций: учеб. пособие. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2018. 201 с.

К ВОПРОСУ ИНТЕГРАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕСС ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ

И. О. Акифьев¹, В. С. Баева², Н. А. Исайчева³

Введение. Современное развитие железнодорожной отрасли происходит в условиях активной цифровизации, затрагивающей все основные элементы транспортной инфраструктуры. При этом приоритетное значение отводится системам железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), поскольку именно они обеспечивают безопасность и безаварийность движения поездов. Ключевой составляющей этих систем является рельсовая линия (РЛ) как один из основных элементов рельсовых цепей (РЦ), выполняющая две критические функции: обеспечение прохождения сигнального тока от питающего конца к путевому приёмнику (контроль свободности/занятости участка) и входжение в контур тягового тока для его протекания при движении электроподвижного состава [1].

Несмотря на постоянное совершенствование стационарных систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ), РЛ остается объектом, наиболее трудным для мониторинга. Измерительные контроллеры (ИК) дают только примерную оценку технического состояния РЛ на основе косвенных параметров, что не позволяет локализовать место отказа. Визуальные проверки проводятся с определённой периодичностью, из-за чего возникает высокая вероятность пропуска предотказного состояния [2]. В связи с этим разработка системы мониторинга на базе беспилотных летательных аппаратов представляет собой актуальное научно-техническое направление, позволяющее перейти к регулярному, автоматизированному и безопасному контролю состояния РЛ [3].

Цель работы – разработка концепции системы контроля технического состояния РЛ на базе беспилотного летательного аппарата (БПЛА), обеспечивающей повышение глубины, оперативности и достоверности диагностирования.

Задачи:

1. Проанализировать существующие методики и средства контроля технического состояния рельсовых линий, выявить их недостатки.
2. Обосновать возможность применения БПЛА для диагностики РЛ, включая определение перечня параметров, которые могут быть измерены дистанционно.
3. Оценить преимущества внедрения БПЛА в СТДМ ЖАТ.

Основная часть.

В настоящее время на сети железных дорог применяются три основных подхода контроля технического состояния рельсовых цепей. Первый основан на использовании стационарных ИК, входящих в состав СТДМ ЖАТ. ИК непрерывно измеряют напряжение и ток в рельсовой цепи на стороне путевого приёмника, однако анализ получаемых данных затруднен: снижение напряжения может быть вызвано как увеличением переходного сопротивления в токопроводящем стыке, так и уменьшением сопротивления изоляции РЛ. ИК не способен различить эти причины, что делает его показания интегральными и малопригодными для определения места отказа. Вторым подход – проведение периодических осмотров элементов рельсовой линии эксплуатационным персоналом согласно установленному графику технологического процесса. Согласно действующим нормативным документам, эта процедура выполняется не реже одного раза в месяц на станционных путях и одного раза в три месяца на перегонах. В период времени между очередными проверками высока вероятность пропуска предотказного состояния, например, вследствие ослабления болтов в сборном токопроводящем рельсовом стыке, и перехода РЛ в состояние отказа [4]. Кроме того, измерения с использованием переносных измерительных приборов требуют выхода человека на путь, что связано с необходимостью предоставления

¹ Акифьев Игорь Олегович – студент группы СОДП-31, ЭТФ

² Баева Варвара Сергеевна – студент группы СОДП-31, ЭТФ

³ Исайчева Надежда Алексеевна – студент группы СОДП-11, ЭТФ

технологических окон и повышенными рисками травматизма. Третий подход – использование мобильных диагностических лабораторий. Такие комплексы эффективны для контроля геометрии пути и выявления внутренних дефектов рельсов, но они не измеряют переходное сопротивление сборных токопроводящих рельсовых стыков и не оценивают состояние изолирующих стыков, особенно с точки зрения намагниченности концов рельс.

Основное преимущество использования БПЛА для диагностики РЛ заключается в возможности взаимодействия с объектом на малом расстоянии. Это позволяет комбинировать как бесконтактные методы измерений, так и кратковременный механический контакт с РЛ [5].

Разделим контролируемые параметры на четыре группы:

1. Электрические. Для измерения сопротивления изолирующего стыка или переходного сопротивления сборного токопроводящего стыка БПЛА оснащается выдвижной штангой с пружинными щупами. После подлета к объекту квадрокоптер зависает над ним, опускает штангу до касания с обеими сторонами стыка, фиксирует измерение, после чего снимает щупы.

2. Магнитные. При намагниченности концов рельсов происходит процесс налипания стружки, что в дальнейшем приводит к образованию обходной цепи для протекания сигнального тока и возникновению ложной занятости смежных РЦ. Установленный на корпусе магнитометр на основе датчиков Холла позволяет регистрировать остаточную намагниченность с высоты нескольких сантиметров бесконтактным способом.

3. Температурные. Перегрев масла в дроссель-трансформаторах, а также износ приварного соединителя сборного токопроводящего рельсового стыка возможно определять использованием тепловизора, интегрированного в БПЛА. Прибор позволяет выявлять такие аномалии с безопасной высоты в несколько метров.

4. Визуальные. Видеокамера с высоким разрешением и возможностью приближения позволяет идентифицировать состояние объектов ЖАТ с расстояния нескольких метров на основе обработки полученных изображений.

Таким образом, все параметры, контролируемые в настоящее время вручную, могут быть получены с использованием БПЛА. Анализ доступных промышленных квадрокоптеров показывает, что их полезная нагрузка достаточна для размещения всего необходимого измерительного комплекса [6].

Следует отметить, что БПЛА записывает каждое измерение с меткой времени, точными координатами и идентификатором объекта в бортовую флеш-память. После возвращения в дронпорт устанавливается локальный канал связи, и данные выгружаются в концентратор линейного пункта системы технического диагностирования. Концентратор выполняет первичную обработку: сверяет полученные значения с нормативами, строит временные ряды для каждого элемента РЛ и при необходимости формирует сигнал о предотказном состоянии. Такой подход позволяет перейти к техническому обслуживанию РЛ по факту [7].

Заключение.

В результате исследования:

1. Проанализированы существующие методики и средства контроля технического состояния РЛ и определены их основные недостатки.

2. Обоснована возможность применения БПЛА для диагностики РЛ, включая определение перечня параметров, которые могут быть измерены дистанционно.

3. Проведена оценка преимуществ интеграции БПЛА в СТДМ ЖАТ, которая показывает, что сокращение периода проверок технического состояния РЛ позволяет минимизировать случаи пропуска её предотказного состояния.

На следующем этапе работы необходимо разработать алгоритм автоматического планирования полёта БПЛА для автономной диагностики РЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение информационно-измерительного устройства мониторинга асимметрии тягового тока в рельсовой линии / А. Г. Исайчева, В. Б. Тепляков, М. В. Башаркин, Л. В. Корытин // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 5(77). – С. 71-77.

- 2 Башаркин, М. В. Трансформация технологического процесса хозяйства автоматики телемеханики на основе беспилотных летательных аппаратов / М. В. Башаркин // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 26–27 января 2023 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 142-145.
- 3 Башаркин, М. В. Тепловизионный контроль рельсовой линии с помощью БПЛА / М. В. Башаркин, А. Г. Исайчева, Н. А. Исайчева // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 9. – С. 14-16. – DOI 10.62994/AT.2024.9.9.004.
- 4 Башаркин, М. В. Алгоритм мониторинга переходного сопротивления сборного токопроводящего рельсового стыка / М. В. Башаркин, А. Г. Исайчева // Электротехника. – 2023. – № 10. – С. 45-49. – DOI 10.53891/00135860_2023_10_45.
- 5 Башаркин, М. В. Интеграция мобильного диагностического комплекса на базе беспилотного летательного аппарата в процесс технического диагностирования рельсовой линии / М. В. Башаркин, Н. А. Исайчева // Транспортные системы : Сборник трудов V Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13–17 октября 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2025. – С. 44-51. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id25-564.
- 6 Исайчева, Н. А. Анализ БПЛА для тепловизионного контроля объектов тяговой сети / Н. А. Исайчева, М. В. Башаркин // Железнодорожный транспорт и технологии: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 29–30 ноября 2023 года. – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 98-100.
- 7 Башаркин, М. В. Алгоритм технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики с использованием беспилотных летательных аппаратов / М. В. Башаркин, О. К. Головин // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 3(111). – С. 122-128.

АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СО СМЕЖНЫМИ ХОЗЯЙСТВАМИ

А. А. Астапенкова¹, Е. А. Хозяинова², А. Г. Исайчева³

Введение. Научная проблема исследования заключается в противоречии между ростом объема диагностической информации, формируемой автоматизированными системами железнодорожного транспорта, и недостаточной согласованностью механизмов ее межсистемного обмена. Система технического диагностирования и мониторинга фиксирует параметры состояния объектов, отказы и технологические события, однако данные смежных хозяйств часто хранятся раздельно и используются без единой модели сопоставления. В результате затрудняется установление причинно-следственных связей при анализе отказов, увеличивается время обработки информации, снижается эффективность перехода к прогнозному техническому обслуживанию.

Актуальность темы обусловлена тем, что техническое состояние объектов железнодорожной инфраструктуры зависит от взаимодействия хозяйства автоматики и телемеханики, пути, электроснабжения, связи, локомотивного и вагонного комплексов. Неисправность стрелочного перевода рельсовой цепи, устройства электропитания или напольного оборудования может быть связано с параметрами нескольких технических систем одновременно. При отсутствии интегрированного информационного пространства эксплуатационный персонал получает фрагментарные сведения, что ограничивает оперативность принятия решений и снижает достоверность анализа технического состояния объектов.

Цель исследования – провести анализ инструментов интеграции данных системы технического диагностирования и мониторинга со смежными хозяйствами и определить направление повышения эффективности межсистемного обмена диагностической информацией.

Материалами исследования послужили научно-технические источники, посвященные функциональному контролю, мониторингу устройств железнодорожной автоматики, системе

¹ Астапенкова Александра Александровна – студентка группы СОДП-11, ЭТФ

² Хозяинова Евгения Алексеевна – студентка группы СОДП-31, ЭТФ

³ Исайчева Алевтина Геннадьевна – к.т.н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

АПК-ДК, цифровой трансформации железнодорожного транспорта и организации обмена диагностическими данными.

В качестве методов исследования применены анализ научно-технической литературы, сравнительный анализ интеграционных решений, классификация инструментов обмена данными и обобщение выявленных ограничений.

Основная часть. Современная железнодорожная инфраструктура включает большое количество автоматизированных систем, применяемых в хозяйствах автоматики и телемеханики, пути, электроснабжения, связи, локомотивного и вагонного комплексов. Каждая система формирует собственные массивы сведений о состоянии объектов, отказах, технологических событиях и параметрах оборудования. При отсутствии согласованного обмена такие данные используются разрозненно, что снижает ценность диагностической информации для эксплуатационного анализа.

Интеграция данных автоматизированных систем становится необходимой вследствие взаимосвязанности объектов инфраструктуры. Неисправность стрелочного перевода, рельсовой цепи или объекта электропитания может иметь причины, относящиеся к нескольким хозяйствам одновременно. Если сведения анализируются только в пределах одной системы, установление реальной причины отказа занимает больше времени и требует ручного сопоставления данных. Развитие мониторинга устройств железнодорожной автоматики связано не только с фиксацией состояний, но и с обработкой диагностических признаков для прогнозирования отказов [1: 21-34]. Также эффективность системы технического диагностирования связана с организацией сбора, передачи и обработки информации [2: 43-58].

Существующие инструменты интеграции диагностических данных целесообразно разделить на три группы. Первая группа включает корпоративные платформенные решения и хранилища данных. Они обеспечивают накопление информации из различных автоматизированных систем, формирование отчетности и аналитическую обработку. Такие решения соответствуют общей логике цифровой трансформации железнодорожного транспорта, ориентированной на использование данных для повышения эффективности производственных процессов [3]. Однако корпоративные платформы чаще предназначены для аналитики и отчетности, чем для оперативного обмена диагностическими событиями в режиме, близком к реальному времени.

Вторая группа представлена отраслевыми шлюзами, адаптерами и конвертерами протоколов. Их назначение состоит в сопряжении систем разных поколений и форматов. Для хозяйства автоматики и телемеханики – это особенно важно, поскольку в эксплуатации одновременно находятся современные программно-аппаратные комплексы и устройства, использующие устаревшие способы обмена информацией. Примером решения, связанного со сбором и передачей диагностических параметров, является АПК-ДК (СТДМ) [4, 5].

Третья группа включает программные интерфейсы прикладного уровня: API, сервисы обмена сообщениями и механизмы межсистемного запроса данных. Они позволяют получать сведения по заданным параметрам: объекту, времени, типу события и уровню критичности. Преимущество такого подхода заключается в гибкости и возможности автоматизации обмена. Вместе с тем наличие технического интерфейса не устраняет проблему смысловой совместимости. Разные хозяйства могут по-разному трактовать понятия «отказ», «сбой», «задержка», «предупреждение» и «критическое состояние», поэтому программные интерфейсы должны использоваться совместно с единой моделью данных и нормативно-справочной информацией.

Анализ действующих подходов показывает несколько устойчивых проблем. Первая проблема связана с дублированием информации: одно событие может фиксироваться в нескольких системах с разными идентификаторами, временем регистрации и описанием. Вторая проблема заключается в терминологической неоднородности, когда смежные хозяйства используют собственные классификаторы и правила описания событий. Третья проблема связана с отсутствием единой модели данных: различаются состав полей, формат времени, способ идентификации объектов и структура хранения информации. Четвертая проблема состоит в запаздывании передачи диагностических сведений, что снижает их ценность для оперативного реагирования и прогнозного обслуживания.

Перспективным направлением является создание единого слоя интеграции диагностических данных. Такой слой может быть реализован как универсальная шина диагностических событий, через которую системы разных хозяйств публикуют и получают сведения о техническом состоянии объектов. В отличие от обмена разрозненными файлами такая модель предполагает передачу унифицированного диагностического события. Оно должно содержать идентификатор объекта, время регистрации, источник данных, тип события, уровень критичности, значения диагностических параметров и статус обработки.

Для повышения эффективности межсистемного взаимодействия необходимо развитие единой нормативно-справочной информации. В нее должны входить справочники объектов инфраструктуры, классификаторы отказов, перечни диагностических параметров, уровни критичности и правила связи между объектами разных хозяйств. Использование единых справочников позволит уменьшить количество ошибок при сопоставлении данных, сократить дублирование сведений и повысить достоверность аналитической обработки.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что существующие инструменты интеграции обеспечивают базовый уровень межсистемного взаимодействия, но не решают проблему комплексного анализа технического состояния объектов инфраструктуры в полной мере. Наиболее обоснованным направлением развития является переход к единому слою обмена диагностическими событиями, основанному на унифицированной модели данных, нормативно-справочной информации и универсальных адаптерах. Реализация такого подхода позволит повысить оперативность обмена информацией между хозяйствами и создать основу для развития прогнозного технического обслуживания на железнодорожном транспорте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. - СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. - 171 с.
- 2 Тимофеев И. Б. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. - СПб.: ПГУПС, 2012. - 111 с.
- 3 Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года. - М.: ОАО «РЖД», 2019. - Электронный ресурс.
- 4 АПК-ДК (СТДМ). Система технического диагностирования и мониторинга: информационные материалы. - СПб.: ООО «Компьютерные информационные технологии», 2016. - Электронный ресурс.
- 5 Иванов А. А., Легоньков А. К., Молодцов В. П. Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) // Автоматика на транспорте. - 2015. - Т. 1. - № 3. - С. 282-297.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ПОДСИСТЕМОЙ УДАЛЕННОГО ОПОВЕЩЕНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А. Н. Евстифеева¹, Е. М. Тарасов²

Введение. На сегодняшний день железнодорожные переезды (ЖДП) являются зоной риска чрезвычайных ситуаций. В 2025 году произошло 197 происшествий, в 2024 году – 196. Количество пострадавших: в 2025 году пострадавших 112, погибших 33, а в 2024 году – 146 пострадавших и 46 погибших, эти данные свидетельствуют о том, что риск сохраняется. Ключевую роль в происшествиях играет человеческий фактор, который проявляется в следующих нарушениях:

- несоблюдения правил проезда через ЖДП водителями транспортных средств;
- некорректное определение ключевой обстановки, при приближении одиночных локомотивов и высокоскоростных поездов;
- несовершенство алгоритмов управления автоматической переездной сигнализации [4].

Ситуация усугубляется из-за множества факторов, например, увеличение массы и скорости поездов. Отсутствие систем оповещения о приближении поезда к переезду приводит к проблемам:

- препятствия для специального транспорта;
- экономические убытки, связанные с простоем автомобилей;
- формирование заторов из-за повреждения покрытия;
- аварийные ситуации, например, объезд впереди стоящих автомобилей по встречной полосе [2].

В будущем интеграция системы управления железнодорожной отрасли с интеллектуальными транспортными системами (ИТС) города и региона, позволит перейти к комплексному управлению транспортными потоками.

Внедрение такой системы актуально для предотвращения ДТП и оптимизации транспортных потоков подтверждается статистикой, которая указывает на человеческий фактор как на ключевую причину аварийности.

Объект исследования: Автоматическая переездная сигнализация (АПС)

Задачи исследования:

1. Анализ состояния безопасности движения на железнодорожных переездах.
2. Исследование способов определения координат поезда на сегодняшний день.
3. Разработка алгоритма передачи сигнала машинисту поезда через АЛС (автоматическую локомотивную сигнализацию).
4. Описание внедрения разработанного алгоритма в Яндекс.Карты.

Основная часть. На данный момент службы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) используют несколько способов определения координат поезда для открытия переездного шлагбаума. Одним из способов является устройство управления автоматическим движением, которое закрывает переезд на основе данных о координате и скорости поезда. Такой метод имеет недостаток - ограниченную длину рельсовой цепи (РЦ). Следующий способ – метод импульсного зондирования, предполагает отправку импульсов на рельсовую линию (РЛ) и расчет длины свободного участка. Такой способ имеет некоторые недостатки, такие как, низкая точность определения местоположения поезда из-за затухания импульсов, малой емкостью между РЛ и большим волновым сопротивлением [2].

¹ Евстифеева Анастасия Николаевна – студент группы СОДП-11, ЭТФ

² Тарасов Евгений Михайлович – д.т.н., профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

Для предотвращения случаев ДТП и усовершенствования транспортных процессов на территории России, необходимо внедрить систему оповещения о приближении поезда к переезду путем определенной информационной системы с передачей в картографические устройства (рисунок).



Рис. Предлагаемый алгоритм работы системы.

Разработан на основе принципов, изложенных в патенте № 2281219 [1]

Микропроцессорная система управления АПС с помощью датчиков в начале зоны приближения осуществляет мониторинг. При обнаружении поезда система выполняет проверку состояния переезда. В случае, если переезд занят транспортными средствами, система включает красный свет и закрывает шлагбаум.

Если переезд свободен, система вычисляет, где на данный момент находится подвижной состав и с какой скоростью движется. Сравнивает положение и корректирует расчёты. После полного прохождения поездом переезда система выключает сигналы, поднимает шлагбаум и отключает заграждения.

В случае аварийной ситуации данные с системы транслируются диспетчеру.

Для передачи сведений алгоритма в картографические приложения достаточно данных предельной координаты и скорости поезда. Реализация системы предусматривается с помощью API Яндекс.Карт и серверной частью для передачи данных в реальном времени. Алгоритмы Яндекс. Карт собирают информацию о переездах: график работы и точные координаты приближающегося подвижного состава. На основе данных формируются вариативные маршруты с оптимизацией по времени прибытия и безопасности.

Разрабатываемая система представляет собой полноценный элемент интеллектуальной транспортной системы (ИТС) города и региона. В перспективе её интеграция позволит взаимодействовать с другими системами:

Система способна передавать данные о приближении поезда на следующие светофоры для перехода в альтернативный режим, что позволяет перенаправить транспортные потоки и минимизировать заторы. Маршрутизация общественного транспорта (ОТ) – система ОТ получает данные о закрытии переезда, корректирует маршрут для автобусов в реальном времени.

Сбор данных с системы (время закрытия/открытия переезда, длительность простоя автомобилей, интенсивность движения поездов и автомобилей) создает основу для аналитики и прогнозирования. Применение методов Big Data открывает возможность для формирования решений по развитию дорожной отрасли, например, необходимость строительства дороги и другое.

Важным социально-экологическим эффектом внедрения системы является снижение вредных выбросов. Сокращение времени простоя автомобилей с работающим двигателем перед переездом способствует снижению загрязнения воздуха и улучшению экологической обстановки в городской среде.

Заключение. После внедрения системы оповещения о приближении поезда к переезду с интеграции в картографических приложениях с построением вариативных маршрутов, водители авто смогут быстро ориентироваться во времени в пути и безопасно проехать переезд зная, что поезд прибудет через определенное время, за счет построения вариативных маршрутов и данных о свободности переезда. в дальнейшем система позволит интегрировать системы в единое информационное пространство городских ИТС. Это обеспечит успех: водители получают возможность оперативного выбора маршрута, городские службы – инструмент для аналитики и планирования, а экология – снижение вредных выбросов за счет минерализации простоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Патент № 2281219 С1 Российская Федерация, МПК В61L 29/22. способ управления автоматической переездной сигнализацией: № 2005103884/11: заявл. 14.02.2005: опубл. 10.08.2006 / Е. М. Тарасов; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарская государственная академия путей сообщения» (СамГАПС). [Электронный ресурс]. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/86/b4/ed/cd0434aef38ec3/RU2281219C1.pdf>
- 2 Герус В.Л., Повышение безопасности на железнодорожных переездах на основе совершенствования управления автоматической переездной сигнализацией, дис. канд. тех. наук: 05.22.08 – Урал. гос. университет, Екатеринбург, 2018 – 201 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dissercat.com/content/povyshenie-bezopasnosti-na-zheleznodorozhnykh-pereezdakh-na-osnove-sovershenstvovaniya-uprav> (дата обращения 23.11.2025).
- 3 Гуревич В.Л., Щиголев С.А. Устройства заграждения на переездах без дежурного работника // Автоматика, связь, информатика. 2015. №5. – 4-7 с.
- 4 Тарасов, Е.М. Анализ состояния безопасности движения и мероприятия по повышению безопасности на железнодорожных транспортных пересечениях / Е.М. Тарасов, Г.М. Третьяков, А.Г. Исайчева // Вестник транспорта Поволжья. - 2015. - № 5. - С.85-90.
- 5 О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 № № 877-р [Электронный ресурс]. URL: <https://company.rzd.ru> (дата обращения 23.11.2025).

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИМЫКАЮЩИХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

К. А. Ильина¹, Д. В. Капаров², В. А. Надежкин³

Введение. В условиях интенсивной эксплуатации и постоянных действующих дестабилизирующих воздействий, изолирующие стыки (ИС), представляющие собой неотъемлемый элемент железнодорожной инфраструктуры и предназначенные для электрического разделения смежных рельсовых цепей, являются наиболее уязвимым компонентом рельсовых цепей [1, 2]. В условиях интенсивной эксплуатации, воздействия климатических факторов, высоких механических нагрузок и окружающей среды ИС подвергаются значительной деградации, именно поэтому надежность ИС требует особого внимания, так как напрямую влияет на безопасность движения поездов, пропускную способность и экономическую эффективность железных дорог.

Среди различных типов изолирующих стыков наиболее распространены конструкции с металлическими накладками, а также клееболтовые соединения. Каждый из них имеет свои особенности, влияющие на электрические параметры. Полимерные и композитные материалы, применяемые в ИС, со временем теряют свои свойства под воздействием ультрафиолетового излучения, перепадов температур, химической агрессии и механического старения. Это приводит к снижению электрического сопротивления, повышению хрупкости и образованию микротрещин, через которые может проникать влага. Это приводит к необходимости регулярного и точного контроля их состояния [3].

В связи с этим целью работы является проведение анализа влияния конструктивных особенностей изолирующих стыков на электрические параметры смежных рельсовых цепей, а также обоснование необходимости автоматизированного контроля состояния стыков по току на междроссельной перемычке и на концах рельс [4].

Материалы и методы. Изолирующие стыки, оснащенные металлическими накладками, легко монтируются. Однако не способны обеспечить достаточное силу прилегание между накладкой и изоляцией, что ведёт к повреждению последней. Это неизбежно приводит к появлению динамического зазора и последующему быстрому разрушению конструкции под воздействием ударных нагрузок от проходящего поезда.

На ИС типа АпАТЭК часто наблюдается скопление токопроводящих частиц. Для них характерны металлическая пыль, от износа колес и рельсов, угольная крошка. Данный недостаток снижает диэлектрические характеристики ИС. Это особенно актуально для участков с высокой интенсивностью движения.

Клееболтовое соединение эффективно устраняет многие из этих недостатков, так как превращает конструкцию в единый монолит и уменьшает магнитный поток. Это исключает прилипание металлической стружки в зазоре. Однако единственным минусом остаётся невозможность замены отдельных частей – при поломке стык меняют целиком. Тем не менее, даже такие усовершенствованные стыки со временем теряют диэлектрические свойства. Следовательно, независимо от типа конструкции, изолирующие стыки нуждаются в тщательном наблюдении. В качестве решения предлагается непрерывный автоматизированный мониторинг ИС.

Для автоматизированного мониторинга предлагается использовать ток на междроссельной перемычке и токи на концах рельс смежных РЦ [5]. В норме, при высоком сопротивлении ИС, ток в перемычке и на концах рельс близок к нулю. При снижении сопротивления ИС возникает ток утечки, который фиксируется индуктивным датчиком. Модель, представленная на рис. 1, позволяет по измеренному току определить текущее сопротивление изолирующего

¹ Ильина К.А. – студент К.А. группы СОДП-21, ЭТФ

² Капаров Д.В. – студент К.А. группы СОДП-21, ЭТФ

³ Надежкин В.А. – доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

стыка с учётом влияющих факторов (сопротивление изоляции рельсовой линии, длина РЦ, частота сигнального тока и т.д.) [6].

```
# =====
# 1. Исходные данные (рельсовая цепь, дроссель-трансформаторы)
# =====
E1 = 12.0 # напряжение источника основной РЦ, В
E21 = 12.0 # приведённое напряжение смежной РЦ (питающий конец)
E22 = 12.0 # приведённое напряжение смежной РЦ (релейный конец)
Zp = 0.01 # сопротивление междроссельной перемычки, Ом

Zo = 0.27 * np.exp(78 * 1j * np.pi / 180) # сопротивление ограничителя, Ом
Zn = 0.29 * np.exp(78 * 1j * np.pi / 180) # сопротивление нагрузки, Ом
Zr1 = 0.8 * np.exp(65 * 1j * np.pi / 180) # продольное сопротивление РЛ, Ом/км
g = 1.0 # проводимость изоляции, См/км
leng = 2.5 # длина РЛ, км

# Параметры обмоток дроссель-трансформаторов
Z31 = 0.1 * np.exp(82 * 1j * np.pi / 180)
Z32 = 0.1 * np.exp(82 * 1j * np.pi / 180)
Z41 = 0.3 * np.exp(82 * 1j * np.pi / 180)
Z42 = 0.3 * np.exp(82 * 1j * np.pi / 180)

# =====
# 2. Расчёт А-параметров и входных сопротивлений РЛ
# =====
Z_v1 = np.sqrt(Zr1 / g)
gamma1 = np.sqrt(Zr1 * g)
A1 = np.cosh(gamma1 * leng)
B1 = Z_v1 * np.sinh(gamma1 * leng)
C1 = np.sinh(gamma1 * leng) / Z_v1
D1 = A1

Zvh1 = (D1 * Zo + B1) / (C1 * Zo + A1) # входное сопротивление со стороны питания
Zvh = (A1 * Zn + B1) / (C1 * Zn + D1) # входное сопротивление со стороны нагрузки
U1 = (E1 * Zvh1) / ((C1 * Zvh1 + D1) * Zo + A1 * Zvh1 + B1) # напряжение на релейном конце
```

Рис. 1. Фрагмент диагностической модели, реализованной на Python

Для проверки работоспособности модели были выполнены расчёты зависимостей тока через междроссельную перемычку и через сам изолирующий стык от его сопротивления. На рис. 2 и 3 приведены результаты для частоты сигнального тока 25 Гц при двух значениях удельной проводимости изоляции рельсовой линии.

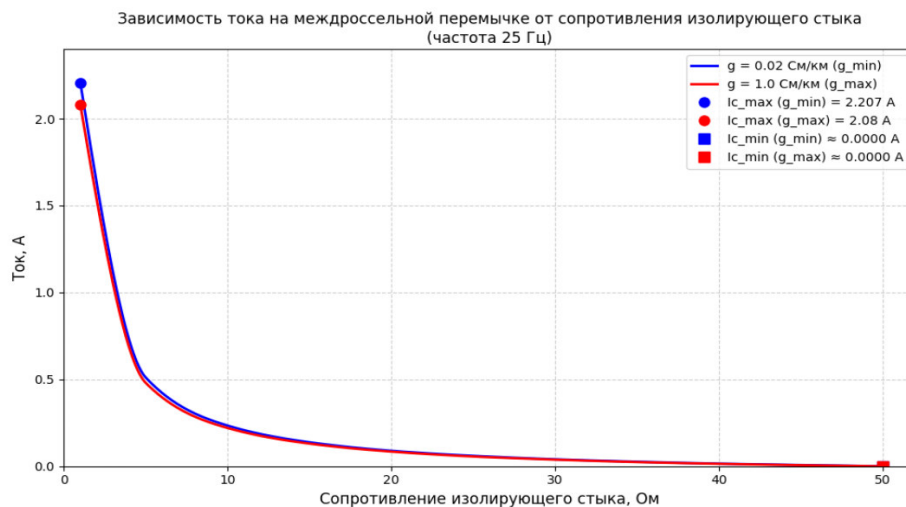


Рис. 2. График зависимости тока на междроссельной перемычке от сопротивления ИС

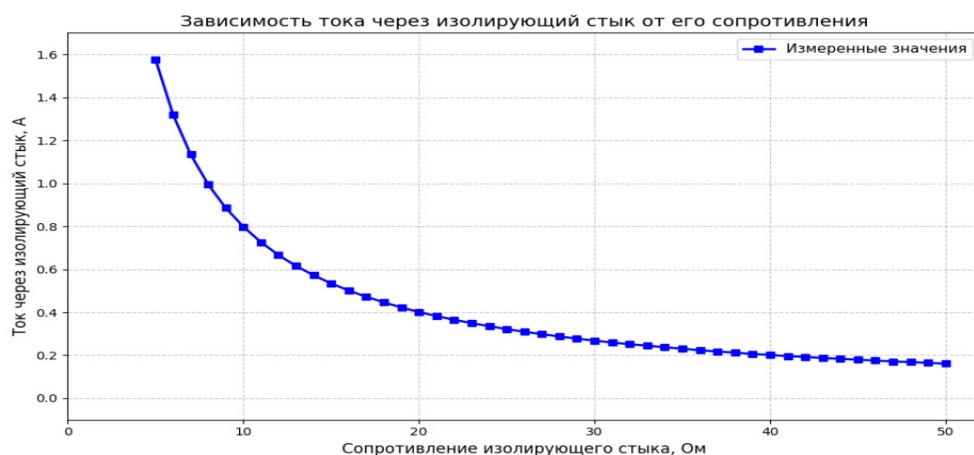


Рис. 3. График зависимости тока через ИС от его сопротивления

Из формы кривых следует, что наибольшая чувствительность к изменению сопротивления стыка наблюдается в области низких сопротивлений (до 10 Ом), где ток изменяется наиболее резко. Полученные зависимости имеют практическое значение для диагностики изолирующих стыков в рельсовых цепях на частоте 25 Гц: при высоком сопротивлении стыка ток в перемычке близок к нулю, а его рост сигнализирует о снижении сопротивления из-за загрязнения или повреждения изоляции [7].

На основе полученных зависимостей может быть построен алгоритм диагностики, реализуемый в системе технического диагностирования и мониторинга (СТДМ). Он включает следующие этапы:

1. Индуктивный датчик измеряет ток на междроссельной перемычке.
2. Сигнал поступает в измерительный канал (мультиплексор, селективный усилитель, АЦП).
3. Микропроцессор по встроенной диагностической функции (интерполяция кубическим сплайном) вычисляет сопротивление изолирующего стыка.
4. Результат передаётся в систему технической диагностики и мониторинга (СТДМ) для отображения и архивации.

Устройство может работать как автономно, так и в составе существующих систем.

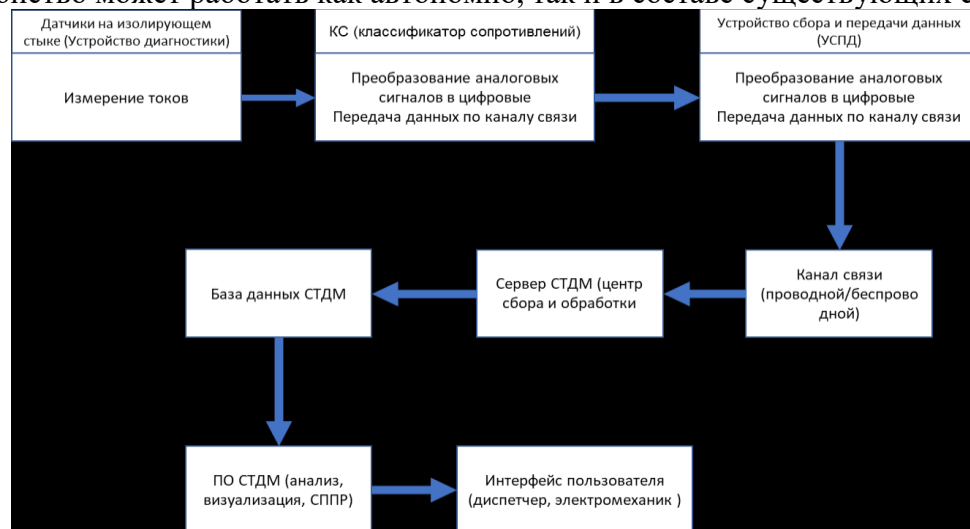


Рис. 4. Схема интеграции в СТДМ

Заключение. В результате проведённого анализа установлено, что изолирующие стыки являются одним из наиболее уязвимых элементов рельсовых цепей, поскольку даже незначительная деградация их диэлектрических свойств под воздействием механических нагрузок, загрязнений, климатических факторов и старения материалов приводит к снижению сопротивления изоляции и возникновению токов утечки. Сравнение различных конструкций стыков показало, что традиционные металлические накладки подвержены образованию динамического

зазора и скоплению токопроводящих частиц, тогда как клееболтовые соединения обеспечивают более стабильное высокое сопротивление благодаря монолитности и отсутствию намагничивания, однако они также не вечны и требуют контроля. На основе этих выводов предложен подход к непрерывному автоматизированному мониторингу состояния изолирующих стыков по току на междроссельной перемычке и на концах рельс смежных рельсовых цепей. Разработанная диагностическая модель, реализованная на Python, позволяет по измеренному току определять текущее сопротивление стыка с учётом влияющих факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Абрамов В.М., Чегуров А.Б. Влияние остаточной намагниченности рельсов на устойчивость работы АЛСН // Вестник РГУПС. 2009 №4. С.70-76
- 2 Аркатов В.С., Кравцов Ю.А., Степенский Б.М. Рельсовые цепи. Анализ и техническое обслуживание – М.: Транспорт, 1990. – 295с
- 3 Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж.д.трансп./Под ред. Вл.В.Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
- 4 Дмитренко И.Е. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте [Учеб. для вузов ж.-д. трансп.] / И.Е. Дмитренко, А.А. Устинский, В.И. Цыганков. – 3-е изд., перераб. и доп.. – М.: Транспорт, 1982. – 312 с. ил.; 22.
- 5 Бредун, И. С. Экспериментальное исследование зависимости сигнального тока в междроссельной перемычке от сопротивления изолирующих стыков / В. А. Надежкин, Е. М. Тарасов, И. С. Бредун // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 1. – С. 225-227. – EDN AZSYPK.
- 6 Разработка математической модели изолирующих стыков в комплексе с дроссель-трансформаторми / Е. М. Тарасов, С. А. Вельмин, В. А. Надежкин, А. Е. Тарасова // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 1. – С. 316-320. – EDN DPZVHC.
- 7 Диагностика изолирующих стыков на основе оценки предотказных состояний / Е. М. Тарасов, А. Е. Тарасова, В. А. Надежкин, И. С. Бредун // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 6. – С. 2-4. – DOI 10.62994/AT.2025.6.6.001. – EDN UHCQR.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОМЕХ В КАНАЛАХ АЛС ПРИ ПРОЕЗДЕ ЗОН СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ

А. А. Ключев¹, К. С. Данилин², Р. Р. Юсупов³

Введение. На современном железнодорожном транспорте широко применяются как экспериментальные, так и аналитические методы исследований. Однако проведение полноценных натурных экспериментов на действующих объектах сопряжено с жёсткими ограничениями по безопасности движения, требует значительных затрат материальных средств и времени, а также применения сложной и дорогостоящей аппаратуры для одновременной регистрации множества факторов [1].

Аналитические методы лишены перечисленных недостатков, но становятся применимыми лишь при условии точного математического описания всех факторов, влияющих на исследуемый процесс. Для исследования помех в рельсовых линиях (РЛ) необходимо представить электродвижущую силу (ЭДС) на выходе локомотивных приёмных катушек (ПК) как функцию известных переменных, определяющих характеристики помех.

Основная часть

При передаче информации на локомотив посредством автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) электрические сигналы от стационарного передатчика АЛС распространяются

¹ Ключев Артем Александрович – студент группы СОДП-42, ЭТФ

² Данилин Константин Сергеевич – студент группы СОДП-35у, ЭТФ

³ Юсупов Руслан Рифович – к.т.н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

РЛ к месту расположения локомотива и совместно с тяговым током создают вокруг рельсов магнитное поле. В локомотивных ПК, находящихся в этом магнитном поле, наводится ЭДС, представляющая собой сумму ЭДС полезного и мешающих (помех) сигналов [2].

Уровень и форма этих ЭДС зависят от условий распространения электромагнитной энергии как по самой РЛ, так и на участке «приёмные катушки – рельс». Эти условия определяются параметрами РЛ, свойствами окружающей среды, формой и взаимным расположением локомотивных и напольных элементов индуктивной связи приёмного тракта канала АЛС.

Приёмный тракт канала АЛС характерен тем, что длина электромагнитной волны в пространстве, окружающем рельс, значительно превышает расстояние между локомотивными ПК и рельсами (верхняя граница рабочего диапазона частот каналов АЛС составляет не более 500 Гц, а зазор между катушкой и головкой рельса составляет несколько сотен миллиметров).

Комплексная амплитуда напряжённости I магнитного поля элементарного вибратора в точке, находящейся на расстоянии r от него, определяется известным выражением [3, 4]

$$I = \frac{I_0}{4\pi r^2},$$

где I_0 – длина вибратора.

Напряжённость поля всей РЛ находится интегрированием полей элементарных вибраторов по её длине.

Согласно закону электромагнитной индукции для замкнутых контуров, ЭДС, наведённая в контуре, в общем случае определяется выражением [5]

$$E(t) = -\frac{d\Phi}{dt} + \int [V_{cm} B] dl,$$

где $\int [V_{cm} B] dl$ – составляющая, обусловленная смещением контура со скоростью V_{cm} относительно источника магнитного поля;

$\frac{d\Phi}{dt}$ – составляющая ЭДС, определяемая изменением магнитного поля во времени;

B – индукция магнитного поля, $B = \mu_0 H$;

H – напряжённость магнитного поля;

μ_0 – магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

μ – относительная магнитная проницаемость среды, учитывающая её магнитные свойства.

Источником магнитного поля является контур, образованный РЛ и колесными парами поезда. ЭДС в приёмной катушке удобно выразить через взаимную индуктивность $M(t)$ катушки и рельсовой нити [6]:

$$E(t) = -M(t) \frac{di(t)}{dt} - i(t) \frac{dM(t)}{dt} \quad (1)$$

где $M(t)$ – взаимная индуктивность между ПК и рельсовой нитью, изменяющаяся при изменении координаты головы поезда x , движущегося со скоростью V_n , при этом $x = V_n t$;

$i(t)$ – ток в рельсовой нити.

В соответствии с классификацией, принятой в теории и практике АЛС [7], помехи в каналах АЛС разделяются на аддитивные и мультипликативные. Аддитивная помеха $n_a(t)$ суммируется с полезным сигналом $s(t)$: $y(t) = s(t) + n_a(t)$. Мультипликативная помеха $n_m(t)$ проявляется как модуляция полезного сигнала: $y(t) = s(t) \cdot n_m(t)$. Выражение (1) наглядно отражает оба механизма: первое слагаемое содержит $\frac{di(t)}{dt}$, т. е. изменения тока, которые могут вызы-

вать аддитивные помехи (особенно при скачках тягового тока), а второе – $\frac{dM(t)}{dt}$, отражающее

мультипликативное воздействие, связанное с изменением взаимной индуктивности из-за перемещения ПК относительно рельсов и колебаний кузова локомотива.

На железнодорожных станциях одним из проблемных участков РЛ, в смысле источников аддитивных и мультипликативных помех, являются стрелочные переводы. В рамках настоящей работы проведен анализ основных причин возникновения помех в зонах проезда стрелочных переводов.

В таблице представлена классификация помех, возникающих в зонах проезда стрелочных переводов.

Таблица

Классификация помех, возникающих при проезде зон стрелочных переводов		
Тип помехи	Подвид	Причины возникновения помех при проезде зон стрелочных переводов
Аддитивная	Флуктуационная	Нарушение контакта «колесо – рельс» и «токоприёмник – контактный провод» при загрязнении и окислении контактных поверхностей, вибрациях, боковой качке кузова локомотива.
	Импульсная	Коммутационные процессы в тяговых двигателях, асимметрия тягового тока в рельсовых нитях.
	Гармоническая	Гармоники тягового тока от выпрямителей, при рекуперации, пересечения с высоковольтными ЛЭП; локальная намагниченность рельсов.
Мультипликативная	Импульсная	Резкое изменение геометрии пути протекания токов (стрелки, изолирующие стыки).
	Гармоническая	Периодические колебания кузова локомотива (боковая, вертикальная качка).

Анализ результатов, представленных в таблице 1, показывает, что на характеристики помех, возникающих в приёмных катушках при проезде зон стрелочных переводов, существенным образом оказывают влияние размеры и взаимное расположение напольных и локомотивных элементов участка «путь – локомотив» и процесс их изменения во времени, вызванный движением поезда и колебаниями кузова локомотива. Учитывая то, что эти факторы практически невозможно фиксировать в реальной обстановке движущегося поезда и в то же время можно достаточно точно описать математически, представляется целесообразным применение аналитического метода исследования помех в каналах АЛС, имеющих место в зонах стрелочных переводов и при колебаниях кузова локомотива.

Заключение

Выполненный анализ источников и характера помех в каналах АЛС при проезде стрелочных переводов показал, что аддитивные помехи связаны с изменениями по величине тягового тока и наличием в его составе гармоник, а мультипликативные – с пространственно-временными изменениями взаимной индуктивности ПК и РЛ, вызванными как геометрией стрелочного перевода, так и динамическими колебаниями кузова локомотива.

Выражение (1) для расчета ЭДС в приёмной катушке позволяет моделировать оба типа помех, задавая аналитические законы изменения $i(t)$ и $M(t)$. Это делает возможным проведение полных многовариантных исследований помеховой обстановки без проведения натурных экспериментов.

Таким образом, аналитический метод является эффективным инструментом для исследования помех в зонах стрелочных переводов и может быть применён как для углублённого анализа существующих систем АЛС, так и для обоснования технических решений при разработке перспективных локомотивных устройств безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шаманов, В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. М.: УМЦЖДТ, 2013. 244 с.
- 2 Хохрин А. С. Помехоустойчивый приемник для канала автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа: дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2025. 203 с.
- 3 Леушин В. Б. Автоматическая локомотивная сигнализация при наличии помех рельсовых цепей: дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. 353 с.
- 4 Лисенков В.М. Индуктивная связь с поездами. М.: Транспорт. 1976. 112с.
- 5 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники (электрические цепи). М.: Высшая школа. 1978. 528 с.
- 6 Шаманов В. И., Шульц В. А., Ведерников Б. М. Электромагнитные процессы, создающие помехи в работе автоматической локомотивной сигнализации // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2013. № 4(83). С. 103–108.
- 7 Леушин В. Б., Юсупов Р. Р. Особенности каналов автоматической локомотивной сигнализации магистральных железных дорог: учебное пособие для студентов специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте». Самара: СамГУПС, 2007. 115 с.

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ АБТЦ-МШ

М. С. Кутенков¹, Т. О. Ижболдин², А. Г. Исайчева³

Введение. Научная проблема исследования обусловлена противоречием между возрастающими требованиями к объёму, скорости и надёжности обмена данными в системах интервального регулирования движения поездов и ограниченными возможностями существующих цифровых радиоканалов микропроцессорной системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями, и централизованным размещением аппаратуры.

Актуальность исследования связана с ростом скоростей движения поездов и развитием высокоскоростных железнодорожных магистралей, что требует повышения надёжности, пропускной способности и отказоустойчивости систем интервального регулирования. Существующий радиоканал системы АБТЦ-МШ характеризуется ограниченной скоростью передачи данных и повышенными задержками, что затрудняет организацию безопасного обмена информацией при высокоскоростном движении поездов. Внедрение технологий связи нового поколения, в частности 5G, рассматривается как направление модернизации систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Цель исследования – научно-техническое обоснование интеграции технологии мобильной связи пятого поколения (5G) в систему АБТЦ-МШ для повышения надёжности, скорости и устойчивости обмена данными при организации движения поездов на высокоскоростных магистральных.

Материалами исследования послужили научные публикации, техническая литература и сведения о современных системах железнодорожной радиосвязи и интервального регулирования движения поездов.

В работе использованы методы анализа научно-технической литературы, сравнительного анализа интеграционных решений, классификации средств обмена данными и обобщения выявленных ограничений.

Основная часть. Микропроцессорная система автоблокировки АБТЦ-МШ с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением аппаратуры обладает широкими функциональными возможностями и может применяться на высокоскоростных железнодорожных магистральных. Её предшественница – система АБТЦ-М – массово внедрялась на железных

¹ Кутенков Максим Сергеевич – студент группы СОДП-35у, ЭТФ

² Ижболдин Тимур Олегович – студент группы СОДП-56у, ЭТФ

³ Исайчева Алевтина Геннадьевна – к.т.н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

дорогах России с 2000 года. Система АБТЦ-МШ разработана специалистами ОАО «НИИАС» и впервые введена в эксплуатацию в 2012 году на Московской железной дороге [1].

Система АБТЦ-МШ обеспечивает контроль целостности рельсовых нитей и свободности участков пути перед поездом, управление показаниями напольных светофоров, а также формирование информации о поездной обстановке на перегоне с последующей передачей на локомотивы по каналам АЛСН, АЛС-ЕН и цифровому радиоканалу [2]. Использование цифрового радиоканала позволяет формировать единое информационное пространство для управления движением поездов по виртуальным блок-участкам без применения напольных светофоров, а также обеспечивать взаимодействие с европейской системой ERTMS/ETCS [3].

Анализ эксплуатационных характеристик показывает, что существующие радиоканалы имеют ряд ограничений, включая недостаточную пропускную способность, ограниченную масштабируемость и увеличение задержек при росте сетевой нагрузки. Указанные факторы снижают возможность гарантированной передачи информации в режиме реального времени, что особенно существенно при движении высокоскоростных поездов. Решение проблемы требует поиска альтернативных беспроводных технологий, удовлетворяющих требованиям современных систем интервального регулирования. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик стандартов связи представлен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики пропускной способности и задержки сигнала в стандартах связи

Характеристика	GSM-R	LTE-R	5G-R / FRMCS
Базовая технология	2G	4G	5G
Скорость передачи данных	9.6 кбит/с	До 100 Мбит/с	От 1 до 10 Гбит/с
Сквозная задержка	400–600 мс	50–100 мс	1–10 мс
Архитектура сети	Коммутация каналов	Пакетная	Пакетная
Ключевые сценарии	Голос, сигналы ETCS, короткие сообщения	Видео в реальном времени, базовая телеметрия	Автономные поезда, массивный IoT, ИИ

Как видно из таблицы выше, стандарты предыдущих поколений (в частности, GSM-R) физически не способны обеспечить миллисекундный отклик, необходимый для перспективных систем автоматического управления. Переход к архитектуре 5G-R полностью решает проблему пропускной способности и критических задержек. При этом внедрение высокочастотных широкополосных систем потребует использования современного телекоммуникационного оборудования, что, в свою очередь, выдвигает новые жесткие требования к базовым несущим конструкциям аппаратных модулей.

Мировой опыт демонстрирует, что, несмотря на широкое распространение систем интервального регулирования движения поездов на базе радиоканалов, на железнодорожном транспорте по-прежнему отсутствует полноценная альтернатива традиционным средствам контроля свободности пути и целостности поездов [4]. Перспективным направлением является интеграция существующих систем контроля с современными цифровыми технологиями передачи данных.

Одним из возможных решений является внедрение технологии мобильной связи пятого поколения (5G), обеспечивающей высокую скорость передачи данных, минимальные задержки и повышенную надёжность соединения. В Российской Федерации развитие направления осуществляется в рамках дорожной карты развития сетей 5G, утверждённой в 2020 году. Исполнителями проекта выступают ГК «Ростех», осуществляющая разработку отечественного оборудования связи пятого поколения, и ПАО «Ростелеком», отвечающее за развитие сетевой инфраструктуры и сервисов 5G [5]. Сценарии применения 5G-R для интеллектуального железнодорожного транспорта в целом можно разделить на 4 категории представлены в таблице 2.

Сценарии применения 5G-R

№	Сценарии применения		Поддержка системы		
			GSM	LTE	5G
1	Интеллектуальное строительство	Проектно-изыскательные работы	-	-	+
		Диспетчерская связь	+	+	+
2	Интеллектуальное оборудование	Подвижный состав	-	-	+
		Системы контроля движения поездов	+	+	+
3	Интеллектуальные эксплуатационные процессы и ТО	Мониторинг бортового оборудования	-	+	+
		Мониторинг наземной инфраструктуры	-	+	+
		Мультимедийная диспетчерская связь	-	+	+
		Аварийная связь	+	+	+
		Обнаружение препятствий и обеспечение безопасности движения	-	-	+
		Видеонаблюдение	-	-	+
4	Умные системы для передвижения пассажиров	Мультимедийные развлечения	-	-	+
		Навигация на станциях	-	-	+
		Логистика	-	-	+

Интеграция технологии 5G в систему АБТЦ-МШ позволит обеспечить непрерывный двусторонний обмен данными между постовыми устройствами и бортовым оборудованием локомотивов в режиме реального времени. Создаёт предпосылки для перехода к интеллектуальным системам управления движением поездов, соответствующим концепции 4.0, основанной на использовании цифровых моделей пути, интеллектуального бортового оборудования и цифровых систем связи [6].

Модернизация системы АБТЦ-МШ посредством внедрения технологии 5G является перспективным направлением развития высокоскоростного железнодорожного транспорта, обеспечивающим повышение безопасности, надёжности и эффективности организации движения поездов.

Заключение. Использование технологий мобильной связи пятого поколения позволяет устранить ряд ограничений существующих радиоканалов за счёт повышения пропускной способности, снижения задержек передачи данных и увеличения отказоустойчивости системы. Интеграция 5G в систему АБТЦ-МШ создаёт условия для дальнейшего развития интеллектуальных систем управления движением поездов и перехода к цифровой модели организации перевозочного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кириленко, А. Г. Электронные и микропроцессорные рельсовые цепи: учебное пособие / А. Г. Кириленко. – Хабаровск: ДВГУПС, 2020. – 115 с.
- Системы управления движением поездов на перегонах. Часть 3. Функции, характеристики и параметры современных систем управления: Учебник / В. И. Астрахан, П. Ф. Бестемьянов, А. Е. Ваньшин [и др.]. – Москва: УМЦ ЖДТ 2016. – 176 с. – ISBN 978-5-89035-893-6. – EDN YSDJSR.
- Микропроцессорная система автоблокировки АБТЦ-МШ / Е. Е. Шухина, А. В. Марков, И. М. Кравец, С. И. Куваев // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 5. – С. 2-5. – EDN QIRKGN.
- Розенберг, Е. Н. Цифровые технологии пропуска по перегонам и станциям - основа организации движения на Московских центральных диаметрах / Е. Н. Розенберг, А. В. Марков, А. В. Озеров // Автоматика на транспорте. – 2023. – Т. 9, № 4. – С. 324-332. – DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-04-324-332. – EDN XFUAGX.
- Озеров, А. В. Железнодорожная радиосвязь нового поколения / А. В. Озеров, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 1(25). – С. 17-24. – EDN PSNBSS.
- Розенберг, Е. Н. Актуальность и этапы перехода на интеллектуальное управление эксплуатационной работой железнодорожного транспорта / Е. Н. Розенберг, М. А. Дежков, А. А. Никонюк // Интеллектуальные транспортные системы: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Москва, 22 мая 2025 года. – Москва: РУТ (МИИТ), 2025. – С. 369-375. – DOI 10.30932/9785002587582-2025-369-375. – EDN OGGJEB.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Д. А. Поройкова¹, Н. В. Курышин²

Введение. Стрелочный электропривод (СЭП) является одним из ключевых элементов железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Благодаря применению СЭП стало возможно централизованное управление стрелками, что существенно сократило время на приготовление маршрута. Вместе с тем отказ стрелочного привода вследствие неработоспособности механических узлов в отличие от отказов других напольных объектов ЖАТ приведет к простоям поездов. Таким образом важным условием соблюдения графика движения является устойчивая работа СЭП, что невозможно без совершенствования процессов технического диагностирования и мониторинга [1].

Цель работы – исследовать перспективные направления развития способов контроля технического состояния стрелочных электроприводов.

Задачи:

1. Проанализировать существующие средства и способы контроля технического состояния СЭП.
2. Представить перспективные способы контроля технического состояния СЭП.

Основная часть.

Согласно статистическим данным, СЭП занимают первое место по количеству потерь поездо-часов от отказов технических средств 1,2 категории, отнесенных за хозяйством автоматики и телемеханики (Рисунок).

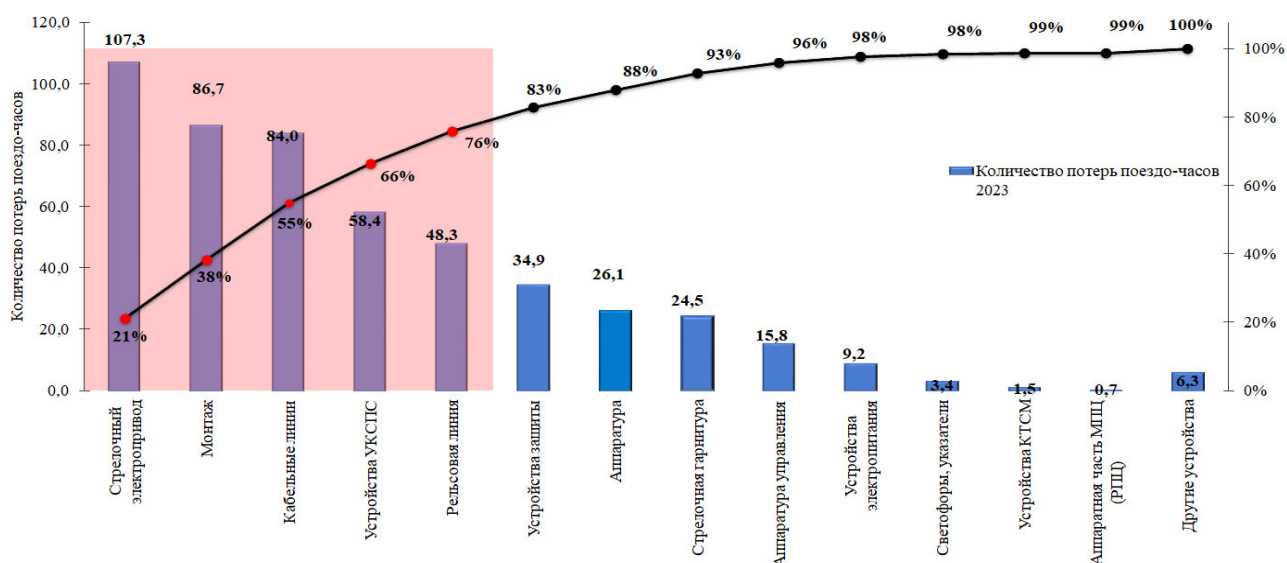


Рис. Распределение Парето потерь поездо-часов от отказов вида «эксплуатационный»

Стоит заметить, что контроль технического состояния СЭП реализуется в системах технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (СТДМ ЖАТ). Осуществляется это по напряжению и току каждой фазы двигателя переменного тока, а также такому косвенному признаку как значение коэффициента мощности $\cos\phi$ – усилию, развиваемому двигателем СЭП.

Преимуществами СТДМ ЖАТ являются:

¹ Поройкова Дарья Александровна – студент группы СОДП-31, ЭТФ

² Курышин Никита Владимирович – студент группы СОДП-31, ЭТФ

- снижение количества отказов за счет своевременного выявления предотказных состояний, что позволяет восстанавливать работоспособное состояние устройств с меньшими потерями времени и ресурсов;
- возможность измерения основных электрических параметров систем ЖАТ без участия эксплуатационного персонала;
- сохранение информации о каждом переводе стрелки.

Недостатками СТДМ ЖАТ является высокая стоимость внедрения и модернизации, необходимость в защите от кибератак, а также обучении и постоянном повышении квалификации персонала.

На сети железных дорог РФ широкое распространение получили следующие СТДМ ЖАТ:

- аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля (АПК-ДК);
- система автоматизации диагностирования и контроля устройств сигнализации, централизации и блокировки (АДК-СЦБ) [2].

В СТДМ ЖАТ АПК-ДК для контроля технического состояния СЭП переменного тока применяется автомат диагностики АДСП. Для СЭП постоянного тока применяют универсальный контроллер датчиков тока и напряжения УКДТН. В ходе перевода стрелки система строит график тока электродвигателя, анализируя который можно визуальным образом выявить предотказное состояние. В системе АДК-СЦБ предусмотрен модуль аналогового ввода МАВ. В микропроцессорных централизациях осуществляется внутренний мониторинг технического состояния СЭП по информации от объектных контроллеров. Вместе с тем существующая концепция контроля технического состояния сводится к измерениям электрических параметров электродвигателя, а также сопротивления изоляции жил кабеля, что не позволяет обеспечить комплексный мониторинг СЭП [3-5].

Авторами настоящей статьи предлагаются следующие решения, направленные на совершенствование процесса контроля технического состояния СЭП:

1. Предиктивный ИИ-анализ токовых кривых. Благодаря анализу графика тока электродвигателя СЭП возможно автоматически идентифицировать предотказное состояние, а также такую нештатную ситуацию, как попадание постороннего предмета между острием и рамным рельсом.

2. Тензометрический и силовой мониторинг. Использование датчиков позволит фиксировать по остаточному напряжению в металле усилие перевода и прижатие остриев на «умных» стрелках.

3. Прямой бесконтактный и температурный мониторинг. Использование оптических, лазерных датчиков, датчиков вибрации, акустической эмиссии, термография и система мониторинга температуры позволят повысить качество контроля технического состояния СЭП.

Заключение.

В результате исследования:

1. Проанализированы существующие средства и способы контроля технического состояния СЭП.
2. Представлены перспективные способы контроля технического состояния СЭП, позволяющие минимизировать человеческий фактор.

В ходе работы определено, что совершенствование способов контроля технического состояния СЭП позволит существенно снизить человеческий фактор в части обслуживания СЭП и перейти от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по состоянию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Смирнова, Л. Б. Анализ способов мониторинга стрелочных переводов на высокоскоростных железнодорожных линиях / Л. Б. Смирнова, М. В. Башаркин // Транспортное дело России. – 2025. – № 4. – С. 244-246.
- 2 Ефанов, Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2016. – 171 с. – ISBN 978-5-7641-0933-6.

- 3 Башаркин, М. В. Разработка прототипа измерительного контроллера дискретных параметров двухпроводной схемы управления стрелочным электроприводом / М. В. Башаркин // Вестник СамГУПС. – 2025. – № 3(69). – С. 90-95.
- 4 Башаркин, М. В. Разработка имитатора стрелочного электропривода для исследовательского стенда системы автоматизированного управления движением поездов на станции / М. В. Башаркин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 7. – С. 219-222.
- 5 Башаркин, М. В. Повышение надёжности кабельной сети стрелочных электроприводов за счет комплексного диагностирования / М. В. Башаркин, И. Р. Харламов // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 1. – С. 256-258.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ПОИСКЕ И УСТРАНЕНИИ ОТКАЗОВ УСТРОЙСТВ АТДП МЕТРОПОЛИТЕНА

Е. Ю. Шестакова¹, М. В. Башаркин²

Введение. При возникновении отказов устройств автоматики и телемеханики движения поездов (АТДП) метрополитена эксплуатационному персоналу необходимо предпринять меры к их устранению за минимальное установленное время. Этот процесс осложняется возникновением стресс-факторов, связанных с боязнью ошибочных действий, выхода за рамки установленного времени, что особо актуально для молодых специалистов, имеющих недостаточный опыт работы. Затрудняет поиск отказов также качество схем. Несмотря на внедрение современных программ, позволяющих оцифровать схемы устройств АТДП метрополитена, более 30 % остаются в исходном виде [1]. Дополнительные сложности возникают в связи с внесением изменений в схемы.

На рисунке 1 приведен пример схемы электрической принципиальной включения повторителей путевых реле, которая входит в состав рабочей документации, используемой как при техническом обслуживании и ремонте устройств АТДП, так и при устранении отказов. Очевидно, что при возникновении отказа время на его поиск и устранение при работе с такой схемой увеличится в связи со сложностью её распознавания.

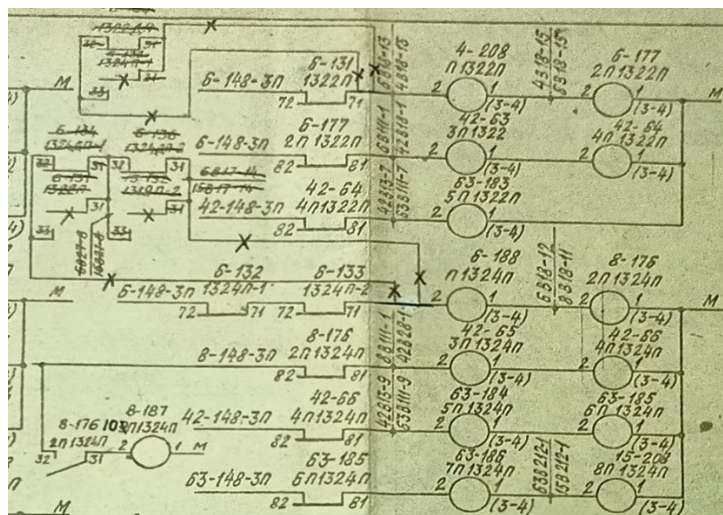


Рис. 1. Фрагмент схемы электрической принципиальной включения повторителей путевых реле

В связи с тем, что схемы напечатаны на деформирующейся со временем бумаге, а экземпляр рабочей документации, с которым взаимодействует эксплуатационный персонал подвергается воздействию влаги, пыли и перепадам температур, возникает высокий риск выцветания

¹ Шестакова Екатерина Юрьевна – студентка группы СОДП-45у, факультет ЭТФ

² Башаркин Максим Викторович – к.т.н., доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»

или стирания отдельных элементов схемы, что также негативно скажется на времени поиска и устранения отказов.

Цель работы – разработка концепции системы поддержки принятия решения эксплуатационным персоналом дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) метрополитена.

Задачи:

1. Исследовать возможность интеграции технологии дополненной реальности в мобильное рабочее место электромеханика.

2. Разработать для системы поддержки принятия решений алгоритм поиска и устранения отказов рельсовых цепей (РЦ), как одного из наиболее подверженного отказам элементов автоматики и телемеханики движения поездов метрополитена.

Основная часть.

Для оптимизации процессов технологического обслуживания устройств и поиска отказов предлагается интеграция технологии дополненной реальности (AR) в мобильное рабочее место (МРМ) электромеханика (рисунок 2).



Рис. 2. Пример выполнения интеграции
(фото сгенерировано искусственным интеллектом)

Технология AR представляет собой методы добавления виртуальных цифровых моделей и картинок в реальность через камеру посредством использования дополнительного оборудования в виде очков дополненной реальности. Камера устройства снимает реальное изображение, а встроенная система моментально и виртуально накладывает на него любую нужную информацию – схему, алгоритм и, согласно измерениям, подсказывает дальнейшие шаги [2]. Внедрение технологии AR в МРМ позволит проводить техническое обслуживание и ремонт устройств АТДП, а также устранять отказы за минимально возможно время за счет непрерывной трансляции подсказок.

В основе системы поддержки принятия решений находится алгоритм, который на первоначальном этапе разрабатывается на основе существующих методических указаний по поиску основных неисправностей в работе устройств СЦБ [3]. Для полноценного функционирования системы необходимо загрузить в память МРМ алгоритмы поиска и устранения неисправностей всех устройств АТДП [4, 5]. В рамках настоящей работы в качестве объекта выбрана РЦ как наиболее ответственный элемент систем управления движением поездов метрополитена [6]. Вместе с тем РЦ относятся к устройствам АТДП метрополитена, наиболее подверженным отказам [7].

Алгоритм, представленный на рисунке 3, позволяет локализовать зону поиска отказа РЦ и устранить причину его возникновения. При его интеграции в разрабатываемую систему эксплуатационному персоналу остается только производить измерения и отвечать на вопросы голосом либо с помощью встроенных в AR-очки кнопок для достижения результата.

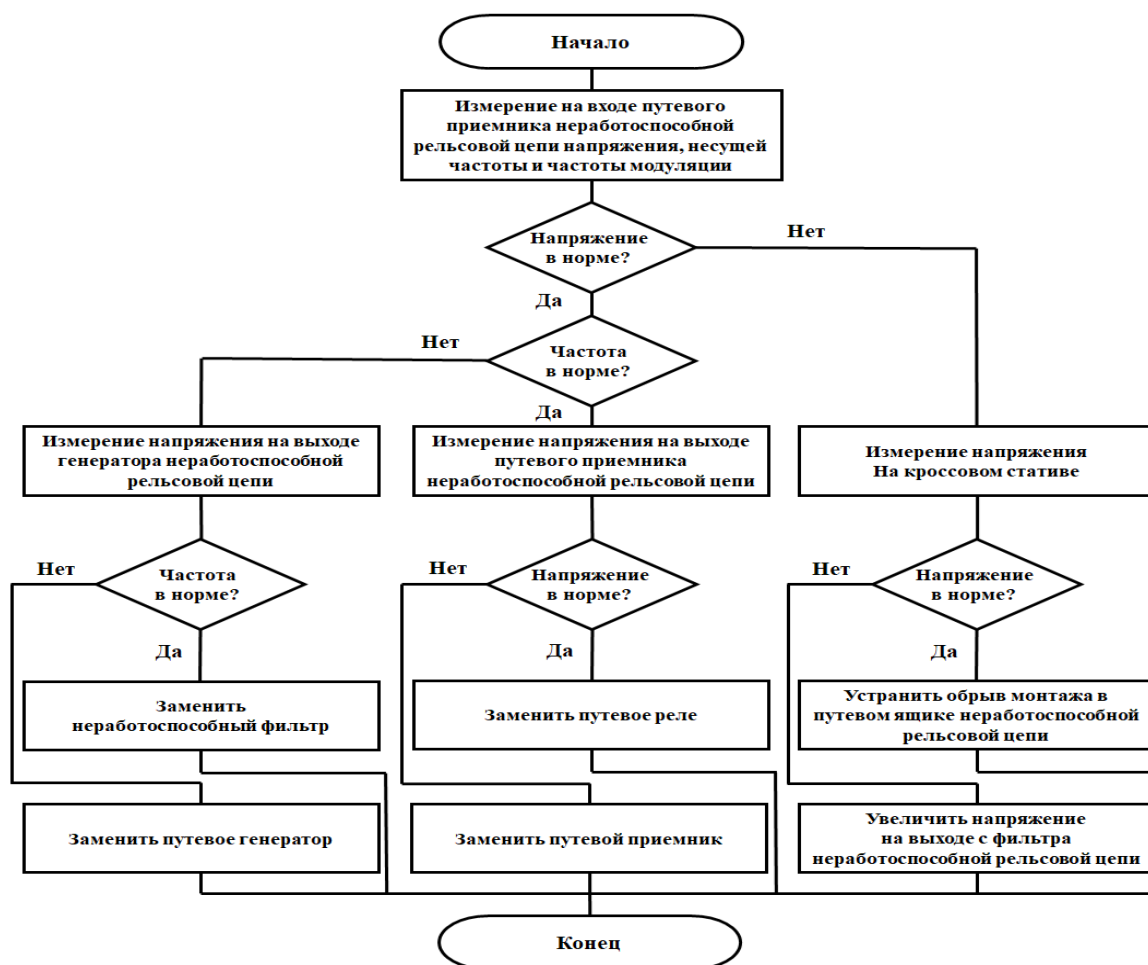


Рис. 3. Алгоритм поиска и устранения отказа рельсовых цепей

Следующий этап детализации алгоритма направлен на дополнение подсказок в части контактов аппаратуры РЦ, к которым необходимо подключаться для проведения измерений, а также персонализации относительно каждой РЦ [5].

Заключение.

В результате проведенной работы:

1. Исследована возможность интеграции технологии дополненной реальности в МРМ электромеханика и показаны преимущества её применения.
2. Разработан алгоритм поиска и устранения отказов РЦ, позволяющий минимизировать время восстановления работоспособного состояния.

На следующем этапе работы необходимо осуществить расширение функциональных возможностей систем поддержки принятия решений за счет применения искусственного интеллекта, а также оценить потенциал применения технологии дополненной реальности в сферах технического обслуживания, ремонта и технического диагностирования инженерно-технических устройств метрополитена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зуев, Д. В. Перспективы внедрения автоматизированного рабочего места ведения технической документации в Петербургском метрополитене / Д. В. Зуев, Д. В. Седых, Д. В. Сомов // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2018. – № 2(14). – С. 13-20.
- 2 Башаркин, М. В. Алгоритм мониторинга переходного сопротивления сборного токопроводящего рельсового стыка / М. В. Башаркин, А. Г. Исайчева // Электротехника. – 2023. – № 10. – С. 45-49. – DOI 10.53891/00135860_2023_10_45.
- 3 Шевченко С. И., Башаркин М. В. Методические указания по поиску основных неисправностей в работе устройств СЦБ и способу их устранения. Самара: Самарский метрополитен, 2020. 29 с.

- 4 Применение информационно-измерительного устройства мониторинга асимметрии тягового тока в рельсовой линии / А. Г. Исайчева, В. Б. Тепляков, М. В. Башаркин, Л. В. Корытин // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 5(77). – С. 71-77.
- 5 Совершенствование метода мониторинга асимметрии тягового тока / А. Г. Исайчева, В. Б. Тепляков, Д. А. Шашин [и др.] // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2020): Труды Международной научно-технической конференции, Самара, 21–22 апреля 2020 года / Под редакцией С.А. Прохорова. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2020. – С. 255-259.
- 6 Estimation of electrical energy losses in a DC traction rail network during heavy traffic / A. G. Isaicheva, M. V. Basharkin, A. L. Zolkin [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 4, Virtual, Online, 24–26 ноября 2021 года. – Virtual, Online, 2022. – P. 012023. – DOI 10.1088/1755-1315/990/1/012023.
- 7 Выявление причин отказов рельсовых цепей метрополитена / А. Г. Исайчева, А. Н. Митрофанов, Т. И. Михеева, М. В. Башаркин // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 5(95). – С. 77-83.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ВЫТЯГИВАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ПРОИЗВОДСТВА ПВХ-ПОКРЫТИЙ

К. В. Алексеев¹, А. А. Ларкина²

Введение. В производстве ПВХ-покрытий вытягивающий механизм обеспечивает непрерывное движение материала через технологическую линию и непосредственно определяет качество готовой продукции [1, 2]. Скорость подачи полотна регулируется в диапазоне, обусловленном рецептурой конкретного типа ПВХ-покрытия: отклонение от заданного значения вызывает неравномерность толщины материала и повышенный процент брака. Нарушение стабильности работы механизма влечёт снижение производительности линии и создаёт риски для безопасности процесса.

Ручной контроль параметров не позволяет своевременно реагировать на аварийные ситуации и отклонения от заданных режимов работы [3]. Накопленные данные о параметрах работы при этом либо не фиксируются вовсе, либо вносятся вручную в сменный журнал, что лишает персонал возможности оперативного анализа тенденций и поиска причин повторяющихся отказов. Отсутствие наглядной визуализации технологического процесса затрудняет работу операторов, увеличивая время принятия решений в критических ситуациях.

Цель работы: разработка автоматизированной системы диспетчеризации и управления вытягивающим механизмом производства ПВХ-покрытий с интуитивно понятным интерфейсом мнемосхемы, обеспечивающей мониторинг состояния оборудования и оперативное управление технологическим процессом.

Основная часть. Разработанная автоматизированная система управления предназначена для контроля и регулирования работы вытягивающего механизма, состоящего из трёх приводов (№ 1, № 2, № 3) и системы транспортирующих валков. Система обеспечивает непрерывный мониторинг технического состояния оборудования и визуализацию технологического процесса, а также управление скоростью движения материала.

Интерфейс системы выполнен в виде мнемосхемы, отображающей топологию вытягивающего механизма и текущее состояние элементов. Верхняя панель содержит навигационные кнопки для переключения между разделами системы: «Главный экран» и четыре технологических узла («Каландр», «Термальная камера», «Ножницы», «Намоточное устройство»).

Мнемосхема обновляется в реальном времени: состояние каждого привода и положение валков отражаются без задержки, что позволяет оператору отслеживать технологический процесс без обращения к дополнительным источникам информации.

¹ Алексеев Кирилл Владимирович – студент группы ИВТ6-21, ЭТФ

² Ларкина Алла Анатольевна – к.э.н, доцент кафедры «Цифровые технологии»

Рабочий режим (рис. 1) отображается зелёными индикаторами исправности на всех трёх приводах и анимацией вращающихся валков с направляющей стрелкой движения материала. Панель управления отображает текущую скорость, кнопки «Старт» и «Стоп» вместе с индикаторами готовности сигнализируют об активном состоянии оборудования.

Аварийный режим (рис. 2) активируется при обнаружении неисправностей одного или нескольких приводов. На проблемном агрегате загораются красные индикаторы и символ возгорания, мгновенно привлекая внимание оператора к источнику неисправности. Скорость автоматически устанавливается на 0 и активируется кнопка «Авария» (оранжевый цвет), а кнопка «Старт» блокируется до подтверждения устранения неисправности.

При запуске выполняется опрос датчиков и проверка связи с приводами, после чего устанавливаются начальные параметры.

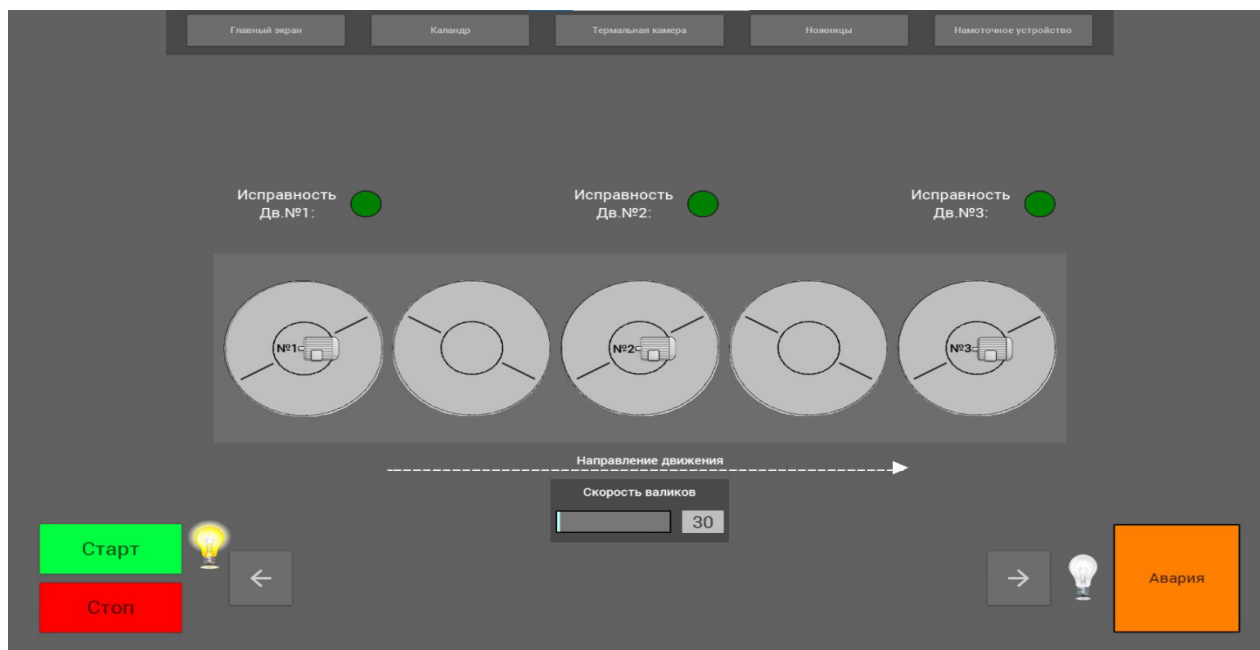


Рис. 1. Внешний вид экрана мнемосхемы («Вытягивающее устройство») рабочий режим работы



Рис. 2. Внешний вид экрана мнемосхемы («Вытягивающее устройство») аварийный режим работы

В нормальном режиме оператор задаёт требуемую скорость через панель управления, после чего система плавно разгоняет валки до заданного значения. Непрерывно контролируются ток двигателей и температура подшипников, а также вибрация. На мнемосхеме отображается вращение валков в направлении движения материала.

При выходе контролируемого параметра за допустимые пределы система классифицирует тип неисправности. Критические отказы (перегрев, заклинивание, короткое замыкание) вызывают аварийный останов: проблемный узел отмечается красным цветом и символом возгорания, время и параметры аварии фиксируются в журнале событий. Повторный запуск блокируется до подтверждения устранения неисправности оператором.

Для восстановления работы оператор сбрасывает аварийный сигнал, после чего система выполняет повторную диагностику. При подтверждении исправности оборудования разрешается переход в рабочий режим.

Разработка интерфейса выполнена с применением принципов эргономики промышленных НМИ-панелей (Human-Machine Interface). Цветовая схема выбрана с учётом стандартов промышленной безопасности [4]: зелёный цвет обозначает нормальное состояние, красный применяется для аварийного или опасного состояния, а оранжевый сигнализирует о предупреждении.

Система поддерживает три режима управления. В автоматическом режиме скорость и направление движения определяются технологической картой производства конкретного типа ПВХ-покрытия. В ручном режиме оператор самостоятельно устанавливает параметры через интерфейс. Наладочный режим предполагает замедленное движение для технического обслуживания и настройки.

Заключение. В ходе выполнения работы разработана автоматизированная система диспетчеризации и управления вытягивающим механизмом производства ПВХ-покрытий. Система обеспечивает наглядную визуализацию технологического процесса через мнемосхему и непрерывный мониторинг трёх приводных агрегатов, а также оперативное управление скоростью движения материала. Аварийные ситуации обнаруживаются автоматически с визуальной индикацией проблемных зон, а при критических неисправностях выполняется защитный останов оборудования. Все события фиксируются в журнале для последующего анализа причин отказов.

Применение системы повышает надёжность производственного процесса и сокращает время реакции на аварийные ситуации, что снижает вероятность брака продукции за счёт стабилизации параметров вытяжки. Интуитивный интерфейс не требует специальной подготовки операторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Харисова, Э. Р. Роль автоматизации технологического процесса в обеспечении безопасности на производстве / Э. Р. Харисова, Р. Н. Пигилова // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. – 2024. – № 1. – С. 53-59. – EDN PHZTQH.
- 2 Павличенко, Д. Н. Система диспетчеризации технологических процессов / Д. Н. Павличенко // СОВРЕМЕННАЯ НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ и практики : сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 10 марта 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 30-32. – EDN CUGYHX.
- 3 SCADA-системы: назначение, задачи, структура, особенности [Электронный ресурс] // Simplight. – 2024. – URL: <https://blog.simplight.ru/scada-sistemy-naznachenie-zadachi-struktura-osobennosti/> (дата обращения: 17.04.2026).
- 4 ГОСТ Р МЭК 60073-2000. Интерфейс человекомашинный. Маркировка и обозначения органов управления и контрольных устройств. Правила кодирования информации: государственный стандарт Российской Федерации: официальное издание: введен в действие постановлением Госстандарта России от 8 декабря 2000 г. № 348-ст. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 7 с.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НАМАТЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПВХ-ПОКРЫТИЙ

К. В. Алексеев¹, Н. В. Никульников²

Введение. В производстве ПВХ-покрытий намотка готовой продукции завершает технологический процесс и непосредственно влияет на сохранность материала и удобство его дальнейшей переработки [1, 2]. Неравномерная намотка или обрывы полотна приводят к значительным потерям сырья и снижению производительности линии [3].

Ручное управление намоточным оборудованием не обеспечивает необходимой точности контроля параметров и оперативного реагирования на нештатные ситуации. Отсутствие автоматизированного мониторинга состояния двигателя и уровня заполнения катушек затрудняет работу операторов, повышая вероятность брака [4].

Цель работы: разработка автоматизированной системы диспетчеризации и управления намоточным устройством производства ПВХ-покрытий с визуализацией технологического процесса, контролем состояния оборудования и автоматической защитой при аварийных ситуациях.

Основная часть. Разработанная автоматизированная система управления предназначена для контроля и регулирования процесса намотки ПВХ-покрытий на катушки. Система обеспечивает управление приводом намоточного устройства и мониторинг уровня заполнения катушек, а также подсчёт произведённых партий и защиту оборудования при неисправностях.

Интерфейс системы выполнен в виде мнемосхемы с тёмной цветовой схемой. Верхняя навигационная панель содержит кнопки переключения между разделами системы: «Главный экран» и четыре технологических узла («Каландр», «Термальная камера», «Вытягивающее устройство», «Ножницы»).

Рабочий режим (рис. 1) отображается зелёным индикатором «Исправность Дв. №1» и анимацией вращающейся катушки с процессом намотки ПВХ-покрытия. Левая панель показывает скорость намотки (30 условных единиц) и уровень заполненности катушки (5 условных единиц), а также счётчик произведённых партий. Кнопки «Старт» и «Стоп» вместе с индикатором готовности сигнализируют об активном состоянии оборудования.

Аварийный режим (рис. 2) активируется при обнаружении неисправности двигателя. Красный индикатор «Исправность Дв. №1» и символ возгорания на двигателе мгновенно привлекают внимание оператора к источнику неисправности. Скорость намотки автоматически устанавливается на 0 и активируется кнопка «Авария» (оранжевый цвет), а кнопка «Старт» блокируется до подтверждения устранения неисправности. Уровень заполненности катушки при этом сохраняется на последнем зафиксированном значении (в случае, приведённом на рисунке 2, значение равно 15).

При запуске выполняется проверка связи с двигателем намотки и калибровка датчиков уровня заполнения, после чего обнуляется счётчик партий.

В нормальном режиме оператор задаёт требуемую скорость намотки через панель управления, после чего система плавно разгоняет двигатель до заданного значения. Непрерывно контролируется уровень заполнения катушки: при достижении критического значения система подаёт сигнал оператору о необходимости замены. После завершения намотки партии счётчик увеличивается на единицу.

При выходе параметров двигателя за допустимые пределы (перегрев, превышение тока, заклинивание) система классифицирует тип неисправности. Критические отказы вызывают аварийный останов намотки: проблемный узел отмечается красным цветом и символом возгорания, время и параметры аварии фиксируются в журнале событий. Повторный запуск блокируется до подтверждения устранения неисправности оператором.

¹ Алексеев Кирилл Владимирович – студент группы ИВТ6-21, ЭТФ

² Никульников Николай Викторович – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

Для восстановления работы оператор сбрасывает аварийный сигнал, после чего система выполняет повторную диагностику двигателя. При подтверждении исправности оборудования разрешается переход в рабочий режим.

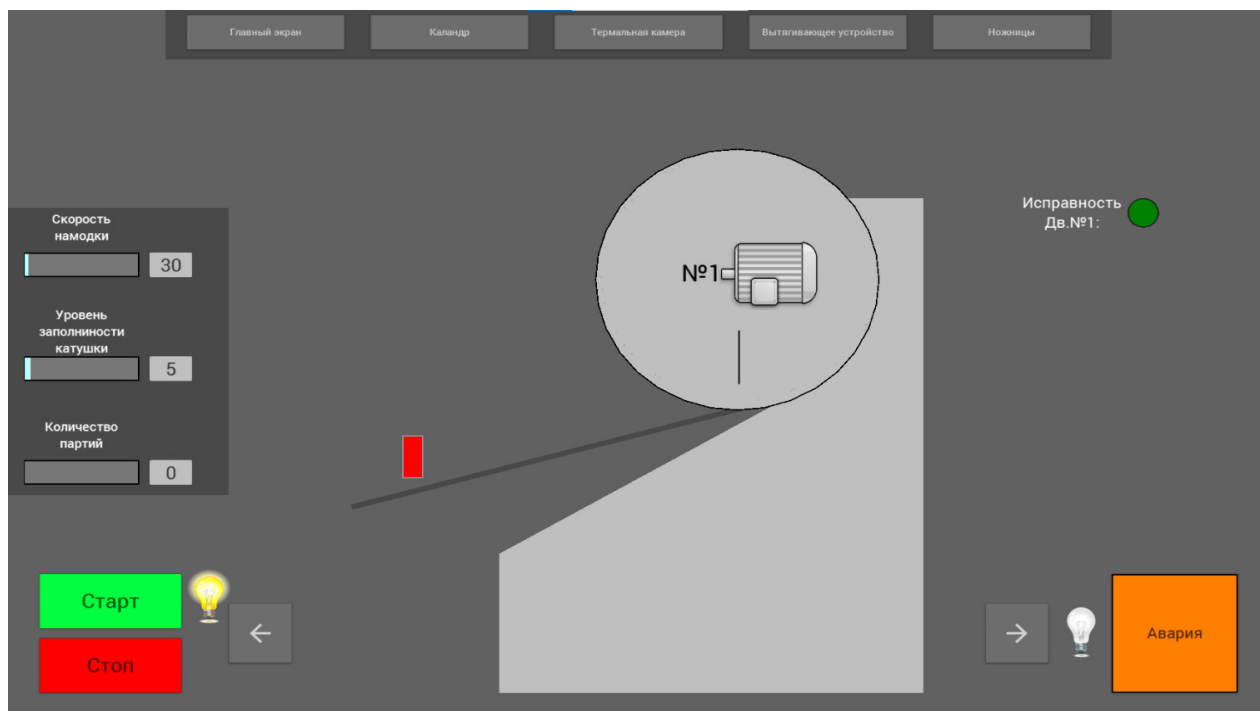


Рис. 1. Внешний вид экрана мнемосхемы («Намоточное устройство») рабочий режим работы

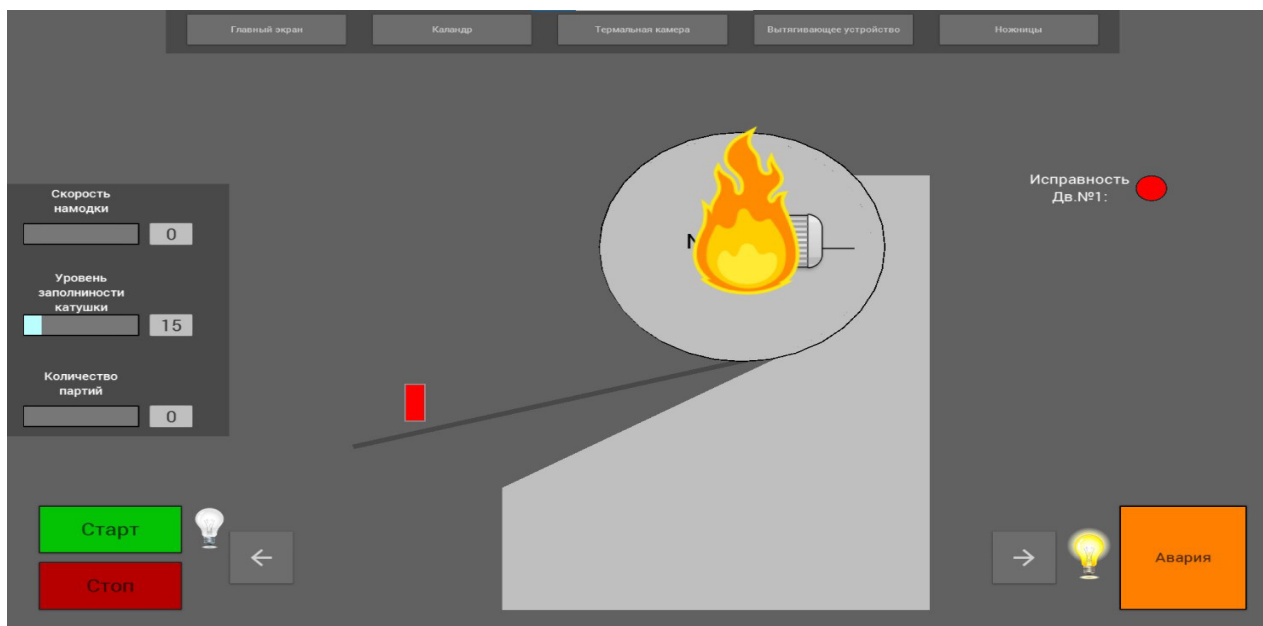


Рис. 2. Внешний вид экрана мнемосхемы («Намоточное устройство») аварийный режим работы

Разработка интерфейса выполнена с применением принципов эргономики промышленных НМИ-панелей (Human-Machine Interface). Цветовая схема выбрана с учётом стандартов промышленной безопасности [5]: зелёный цвет обозначает нормальное состояние, красный применяется для аварийного или опасного состояния, а оранжевый сигнализирует о предупреждении.

Система поддерживает три режима управления. В автоматическом режиме скорость намотки определяется технологической картой производства конкретного типа ПВХ-покрытия. В ручном режиме оператор самостоятельно устанавливает параметры через интерфейс.

Наладочный режим предполагает замедленное движение для технического обслуживания и замены катушек.

Заключение. В ходе выполнения работы разработана автоматизированная система диспетчеризации и управления намоточным устройством производства ПВХ-покрытий. Система обеспечивает наглядную визуализацию процесса намотки через мнемосхему и непрерывный мониторинг состояния двигателя привода, а также контроль уровня заполнения катушек и подсчет произведённых партий. Аварийные ситуации обнаруживаются автоматически с визуальной индикацией проблемных зон, а при критических неисправностях выполняется защитный останов оборудования. Все события фиксируются в журнале для последующего анализа причин отказов.

Применение системы повышает надёжность процесса намотки, сокращая время реакции на аварийные ситуации и снижая вероятность брака продукции. Интуитивный интерфейс не требует специальной подготовки операторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Молдабаева, М. Н. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / М. Н. Молдабаева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 224 с. – ISBN 978-5-9729-1787-7.
- 2 Павличенко, Д. Н. Система диспетчеризации технологических процессов / Д. Н. Павличенко // СОВРЕМЕННАЯ НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ и практики: сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 10 марта 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 30-32. – EDN CUGYHX.
- 3 Микитюк, В. П. Намоточное оборудование в производстве полимерных пленок и листов / В. П. Микитюк // Пластические массы. – 2019. – № 3-4. – С. 45-52. – ISSN 0131-4017.
- 4 Суханов, В. Л. Автоматизация процессов намотки в полимерной промышленности / В. Л. Суханов, А. М. Волков // Автоматизация в промышленности. – 2020. – № 7. – С. 22-28. – ISSN 1684-7903.
- 5 ГОСТ Р МЭК 60073-2000. Интерфейс человекомашинный. Маркировка и обозначения органов управления и контрольных устройств. Правила кодирования информации: государственный стандарт Российской Федерации: официальное издание: введен в действие постановлением Госстандарта России от 8 декабря 2000 г. № 348-ст. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 7 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В СИЛЬНО ЗАШУМЛЕННОМ ПОТОКЕ ДАННЫХ

Н. А. Журжа¹, В. А. Засов²

Введение. Задачей обнаружения сигналов (detection signals) является определение – присутствует ли полезный сигнал в анализируемом в потоке искаженных помехами данных или в потоке имеется только помеха. В этом случае необходимо, с одной стороны, минимизировать вероятность ложного обнаружения сигналов, а с другой минимизировать вероятность пропуска наличия сигналов. Полезный сигнал обнаруживается, но при этом структура самого сигнала после обнаружения может оставаться искаженной.

Задачей выделения сигналов (extraction signals) из аддитивной смеси полезного сигнала с помехами является восстановление формы, параметров полезного сигнала, который уже считается присутствующим в информационном потоке. В этом случае целью обработки является максимально точное приближение оценки сигнала к его истинному значению за счет очистки сигнала от помех.

Эти две задачи часто объединяют в одну последовательную цепочку – обнаружение и выделение, в которых используются разные программно-аппаратные средства для достижения результата.

Основная часть. В задачах обнаружения сигналов алгоритм осуществляет поиск

¹ Журжа Никита Алексеевич – студент группы ИВТм-41, ЭТФ

² Засов Валерий Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

конкретной формы сигнала или статистической аномалии. Если форма сигнала априори известна, эффективно используется корреляционный прием (оптимальный прием) [1, 2].

В задачах выделения (подавления помех), особенно когда параметры сигнала меняются во времени, применяются адаптивные фильтры, которые настраивают весовые коэффициенты в реальном времени так, чтобы отфильтровать полезный сигнал из аддитивной смеси полезного сигнала и помех.

Задача обнаружения сигналов с вычислительной точки зрения имеет меньшую вычислительную сложность.

В [3, 4] предлагается вычислительное устройство для подавления помех (ВУ ПП), в импульсных или прерывистых сигналах отличающееся от известных устройств [4-6] тем, что подавление помех осуществляется путем совместной обработки выходных сигналов группы адаптивных фильтров АФ1-АФN, значения интервалов ТИ1-ТИN адаптации которых представляют упорядоченную последовательность интервалов, совокупность которых образует некоторое временное окно.

В известном ВУ ПП настройка весовых коэффициентов адаптивных фильтров АФ1-АФN производится постоянно в выбранных интервалах адаптации как на этапе обнаружения сигналов, так и на этапе подавления помех [3, 4].

В настоящей работе предлагается производить обнаружение сигналов с фиксированными весовыми коэффициентами АФ1-АФN (без адаптации) и только после обнаружения сигналов на этапе подавления помех разрешить процесс адаптации (вычисление весовых коэффициентов) АФ1-АФN. В дальнейшем положим, что форма полезного сигнала априори известна – это импульсные сигналы, поэтому эффективным для обнаружения является метод согласованной фильтрации, т.е. корреляционный прием (оптимальный прием).

Это решение уменьшает вычислительную сложность и, следовательно, время обнаружения сигналов. На рис. 1 – рис. 5 приведены результаты компьютерного моделирования предложенного решения.

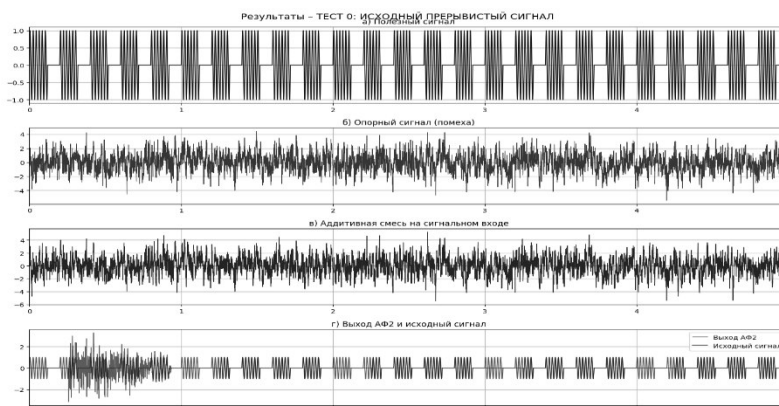


Рис. 1. Графики сигналов в тесте 0

Моделирование проводилось в среде Python. Полезный сигнал представлял собой прерывистую синусоиду с частотой заполнения 50 Гц, частотой импульсов 5 Гц и скважностью 0,6. Мощность помех (коррелированная помеха и белый шум) в 3 раза превышает мощность полезного сигнала. Для адаптации использовался RLS-фильтр 128-го порядка с коэффициентом забывания 0,99.

Были рассмотрены пять тестовых сценариев:

тест 0 – исходный прерывистый сигнал (штатный режим);

тест 1 – отсутствие полезного сигнала (только помехи);

тест 2 – непрерывный сигнал (без пауз);

тест 3 – постепенное увеличение пауз вплоть до исчезновения сигнала;

тест 4 – постепенное уменьшение пауз до полного их исчезновения (переход к непрерывному сигналу).

В тесте 0 (рис. 1) полезный сигнал достоверно обнаруживается.

В тесте 1 (рис. 2) устройство корректно определяет отсутствие сигнала.

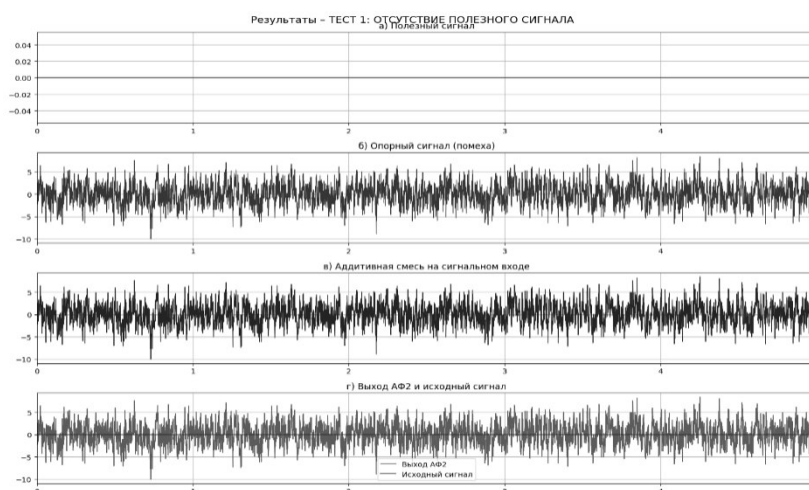


Рис. 2. Графики сигналов в тесте 1

В тесте 2 (рис. 3) при непрерывном сигнале также формируется вывод об отсутствии импульсного сигнала.

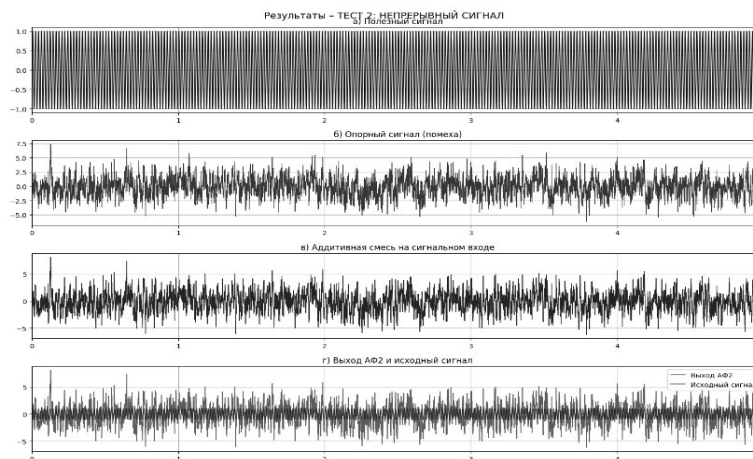


Рис. 3. Графики сигналов в тесте 2

В тесте 3 (рис. 4) с увеличением длительности пауз сигнал обнаруживается в первых четырёх блоках, а в последнем (где импульсы уже отсутствуют), вывод меняется на «сигнал не обнаружен».

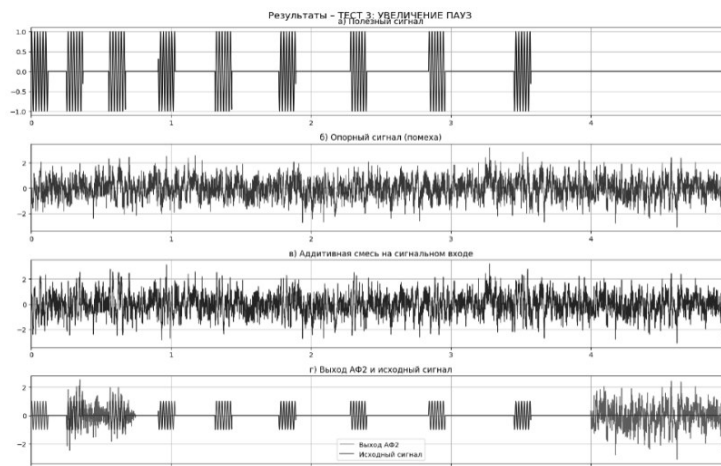


Рис. 4. Графики сигналов в тесте 3

В тесте 4 (рис. 5) по мере уменьшения длительности сигнал обнаруживается до тех пор, пока паузы присутствуют; в последнем блоке, где паузы исчезают, формируется вывод «сигнал не обнаружен».

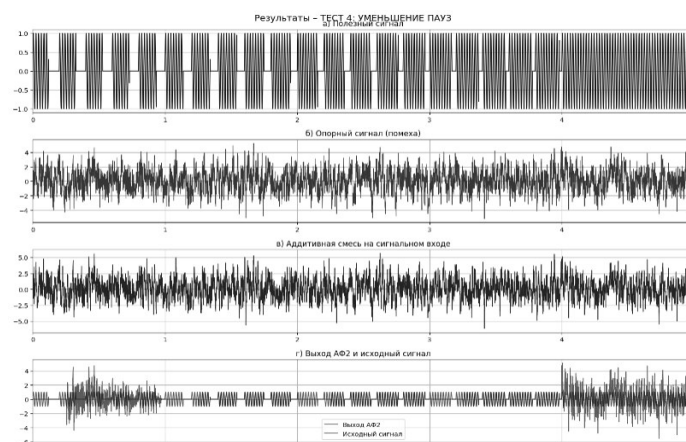


Рис. 5. Графики сигналов в тесте 4

Заключение. Таким образом, вычислительное устройство надёжно определяет наличие или отсутствие полезного сигнала в потоке зашумленных данных, что критически важно для систем, работающих в условиях интенсивного воздействия помех.

Предложенное устройство может найти применение в системах железнодорожной автоматики (например, в приёмниках АЛСН) [5, 6], а также в других областях, где требуется надёжное обнаружение импульсных сигналов в условиях мощных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы / В.И. Джиган. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
- 2 Алышев Ю.В. Оптимальные методы обработки сигналов в системах радиотехники и связи / Ю.В. Алышев, А.В. Борисенков, И.С. Брайнина, О.В. Горячкин, И.В. Григоров, В.Г. Карташевский, Л.Э. Мелкумова, Д.В. Мишин, Б.И. Николаев, Д.Н. Панин, Д.В. Суханов, Е.О. Хабаров, А.М. Чингаева, С.Я. Шатских. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2018. – 343с.
- 3 Засов В.А. Адаптивный компенсатор помех в импульсных сигналах / В.А. Засов, М.В. Ромкин // Патент на изобретение RU №2736199 от 27.01.2020 г.
- 4 Засов, В.А. Компенсация помех в приемниках сигналов автоматической локомотивной сигнализации / В.А. Засов // Автоматика на транспорте. –2019. –№1, том 5. – С.32-44.
- 5 Федеральный закон от 10.01.2003 № 17-ФЗ (ред. от 31.07.2025) «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации». – Москва, 2025.
- 6 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены приказом Минтранса России от 21.12.2010 № 286 (с изм. и доп.). – Москва, 2024. – 320 с.

КОНЦЕПЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ КЛИНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАЦИЕНТА ВО ВРЕМЕНИ В ВЕБ-КАЛЬКУЛЯТОРЕ РАСЧЁТА РИСКА РАЗВИТИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНИ ПОЧЕК У ДЕТЕЙ

А. Р. Кокин¹, О. А. Седашкина²

Введение. Контроль динамики клинических показателей пациентов с хронической болезнью почек (ХБП) составляет неотъемлемую часть нефрологической практики: последовательное сопоставление данных смежных визитов позволяет выявлять тенденции ухудшения или улучшения состояния, обосновывать коррекцию тактики ведения и оценивать эффективность терапии [1]. Традиционно подобный анализ выполняется врачами вручную, что ложится дополнительной нагрузкой на персонал, повышая риск пропуска неблагоприятных изменений из-за человеческого фактора [1]. Автоматизация анализа динамики в рамках веб-платформы [2-5], предназначенной для ведения пациентов с ХБП детских и подростковых групп, способна снизить нагрузку на практикующих врачей, а также обеспечить студентам возможность приобретения практического опыта в интерпретации клинических показателей. В рамках работы разработана концептуальная модель аналитического модуля веб-калькулятора оценки риска ХБП у детей.

Основная часть. Концепция предполагает разработку модуля аналитики, обеспечивающего врачу автоматическое отслеживание динамики клинических показателей пациентов. При каждом обращении к веб-калькулятору врач вносит клинические показатели пациента, которые автоматически сохраняются в базе данных. В специальном разделе платформы накопленные записи визуализируются в виде диаграмм динамики, хронологического списка и сводки значимых изменений, на которые врачу следует обратить внимание.

Веб-калькулятор оценки риска ХБП опирается на пять клинически значимых показателей пациента [1]: лабораторные (протеинурия, гематурия, анемия) и клинико-anamнестические (наследственная предрасположенность, астеническое телосложение). По совокупности этих показателей калькулятор рассчитывает текущий уровень риска и формирует индивидуальный аналитический профиль пациента. Клинические возможности структурированного сбора данных для ведения пациентов с ХБП представлены в табл.

Таблица

Клинические возможности структурированного сбора данных для ведения пациентов с ХБП

Аналитическая функция	Клиническое применение
Анализ сочетания клинических признаков в динамике	Позволяет выявлять взаимосвязи между симптомами, которые не очевидны при разрозненном просмотре
Выявление появления новых факторов риска	Обеспечивает своевременную регистрацию изменений развития болезни или лабораторных показателей
Обоснование необходимости дообследования	Снижает риск субъективных ошибок при назначении дополнительных диагностических процедур
Обоснование коррекции тактики наблюдения	Предоставляет объективные критерии для изменения кратности осмотров или плана ведения
Отслеживание изменений показателей при повторных визитах	Формирует персонализированную хронологию ключевых маркеров состояния
Фиксация прогрессирования или стабилизации состояния	Позволяет количественно оценить эффективность проводимой терапии

Подобный подход позволяет практикующим врачам быстро получать доступ к накопленной аналитике без необходимости вручную перебирать записи и проводить анализ заново.

Для структурирования задач разработки и предотвращения архитектурных ошибок в рамках работы составлен предполагаемый алгоритм работы модуля, представленный на рис.

¹ Кокин Александр Романович – студент группы ПИБ-31, ЭТФ

² Седашкина Ольга Александровна – д.м.н., доцент, доцент кафедры ФП ФГБОУ ВО СамГМУ МЗ России



Рис. Предполагаемый алгоритм работы модуля анализа

Помимо этого, персональные данные пациентов относятся к категории конфиденциальных, утечка которых способна причинить серьёзный ущерб. Во избежание подобных ситуаций в концепции предусмотрено хранение всей информации в обезличенном виде: вместо персональных данных врач вводит уникальный идентификатор пациента, который формирует самостоятельно, что исключает возможность идентификации личности при компрометации базы данных.

В качестве технологической основы рассматривается Python с фреймворком Django для серверной логики и хранения данных, а также HTML5, CSS3 и JavaScript для клиентской визуализации результатов аналитики.

Заключение. Предложенная концепция определяет функциональный состав модуля и логику его работы, достаточные для перехода к программной реализации в рамках уже действующей веб-платформы оценки риска ХБП. Внедрение модуля сократит время на ручной анализ записей, снижая вероятность пропуска неблагоприятных изменений в состоянии пациента. В дальнейшем предполагается разработка алгоритма и базы данных для практической реализации модуля аналитики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Седашкина, О. А. Характеристика факторов риска и молекулярно-генетических показателей у детей с хроническими заболеваниями почек / О. А. Седашкина, А. В. Колсанов, С. И. Карась // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. – 2024. – Т. 39, № 3. – С. 115-123. – DOI 10.29001/2073-8552-2024-39-3-115-123. – EDN EBCOWG.
- 2 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025617001 Российская Федерация. Программный комплекс для прогнозирования и диагностики ХБП: заявл. 03.03.2025; опубл. 21.03.2025 / О. А. Седашкина, А. Р. Кокин, А. А. Седашкин. – EDN MWGCWO.
- 3 Кокин, А. Р. Веб-реализация калькулятора расчета риска хронической болезни почек у детей / А. Р. Кокин, А. А. Седашкин // LI Самарская областная студенческая научная конференция: Тезисы докладов. В 2-х томах, Самара, 14–25 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО "Эко-Вектор", 2025. – С. 373-375. – EDN SUJRZO.
- 4 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685217 Российская Федерация. Калькулятор расчета риска хронической болезни почек у детей: № 2024684572: заявл. 14.10.2024; опубл. 25.10.2024 / О. А. Седашкина, А. В. Колсанов, Р. Р. Юнусов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – EDN JSUTXI.
- 5 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685630 Российская Федерация. Программа для прогнозирования хронического течения заболевания у детей с острой патологией почек: № 2024684552: заявл. 14.10.2024; опубл. 30.10.2024 / О. А. Седашкина, А. В. Колсанов, М. Н. Мякотных [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – EDN DVHDCP.

Введение. Классические адаптивные фильтры эффективны для подавления помех с изменяющимися параметрами [1, 2], однако для работы классических адаптивных подавителей помех требуются наличия двух сигналов – основного и опорного. Основной сигнал – это адаптивная смесь полезного сигнала и помехи, опорный сигнал – это сигнал, в котором присутствует помеха и отсутствует полезный сигнал. Это существенно ограничивает область применения классических адаптивных подавителей помех, ибо в ряде случаев, например, технологических каналах связи [3] – рельсовых цепях – организовать опорный вход технически невозможно.

Целью работы является разработка устройства для адаптивного подавления помех, в котором будет использоваться только один основной сигнал, а опорный сигнал будет отсутствовать.

В работе предлагается адаптивный подавитель помех отличающийся от известных тем, что в подавителе используется только один основной сигнал, а опорный сигнал является виртуальным и получается искусственно путем преобразования входного сигнала [4, 5].

Основная часть. Известно [1, 2], что в классическом адаптивном подавителе помехи в основном и опорном сигналах должны быть взаимно коррелированы и не коррелированы с полезным сигналом. Поэтому, если сигналы полезный и помехи отличаются частотным спектром, т.е. один из сигналов периодический и низкочастотный, а второй широкополосный, можно путем сдвига во времени этих сигналов на определенную величину, декоррелировать широкополосный сигнал, оставляя коррелированным на основном и опорном входах низкочастотный периодический сигнал. Это преобразование – запаздывание основного сигнала – позволяет получить виртуальный опорный сигнал, который будет подавляться в основном сигнале.

Этот принцип поясняется структурной схемой адаптивного подавителя помех, приведенной на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема адаптивного подавителя помех с виртуальным опорным входом

Таким образом, введение управляемого временного запаздывания – управляемой временной задержки – позволяет сформировать из основного сигнала виртуальный опорный сигнал. По сути, предлагаемое устройство позволяет разделять периодические низкочастотные и широкополосные сигналы в условиях изменяющихся спектров этих сигналов, поэтому понятие полезного сигнала и помехи будут относительными.

Изменением величины управляемого временного запаздывания необходимо достигать максимальной мощности широкополосного сигнала на выходе адаптивного устройства, поэтому параметр временной задержки будет изменяться во времени в соответствии с изменением параметров периодического и широкополосного сигналов [4, 5]. Таким образом, в предлагаемом устройстве реализуется адаптивная настройка как элемента запаздывания и адаптивного линейного сумматора.

¹ Морунов Алексей Владимирович – студент группы ИВТб-21, ЭТФ

² Засов Валерий Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

На рис. 2 и рис. 3 приведены результаты компьютерного моделирования предложенного в работе адаптивного подавителя помех с виртуальным опорным входом. При моделировании использовались алгоритмы адаптации нормализованный NLMS и классический LMS (LMS – Least Mean Squares) [1, 6] с количеством весовых коэффициентов равным 64.

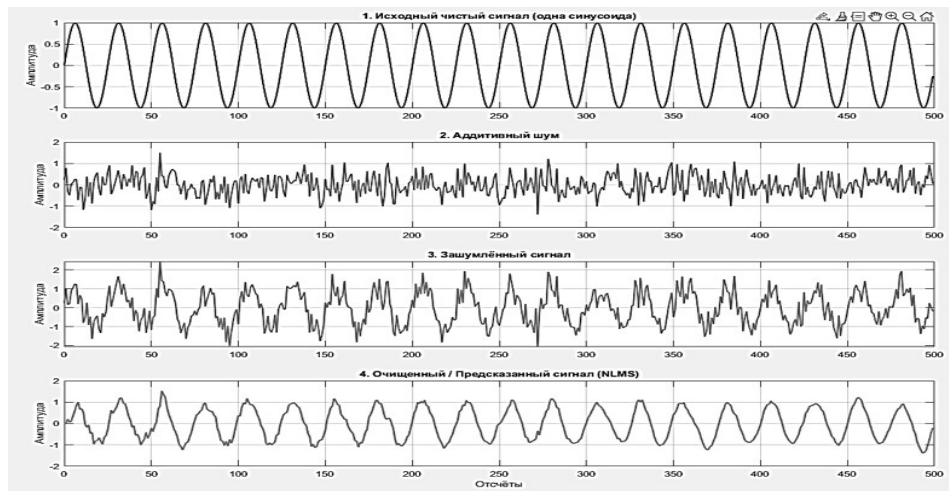


Рис.2. Результаты компьютерного моделирования адаптивного подавителя помех с виртуальным опорным входом. Алгоритм адаптации – нормализованный NLMS

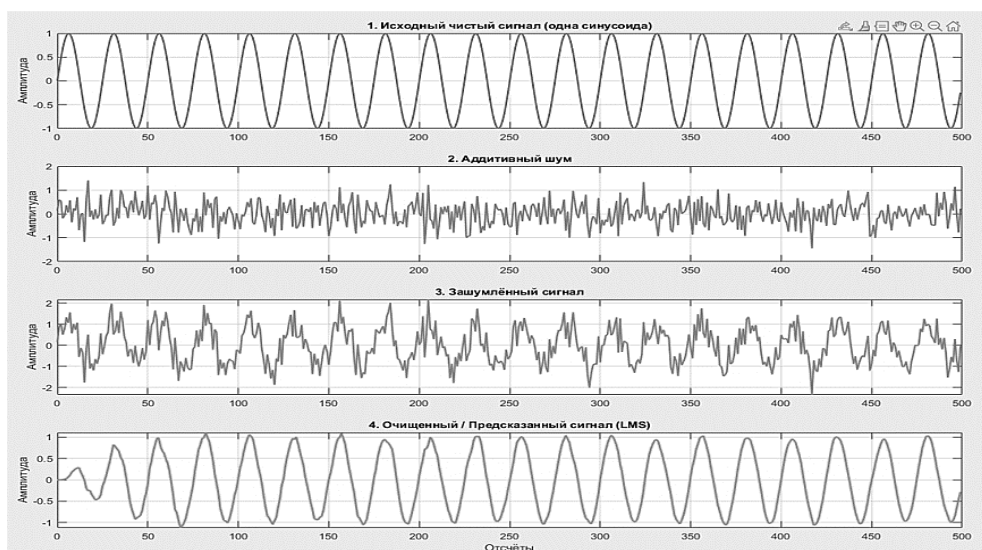


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования адаптивного подавителя помех с виртуальным опорным входом. Алгоритм адаптации – LMS

На рис. 2 и рис. 3 сверху вниз приведены:

- исходный тестовый гармонический сигнал;
- широкополосный тестовый сигнал;
- аддитивная смесь тестовых сигналов;
- выделенный адаптивным устройством гармонический сигнал.

Заключение. Результаты моделирования показали обоснованность и достоверность предложенных в работе теоретического и технического решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы / В.И. Джиган. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
- 2 Алышев Ю.В. Оптимальные методы обработки сигналов в системах радиотехники и связи / Ю.В. Алышев, А.В. Борисенков, И.С. Брайнина, О.В. Горячкин, И.В. Григоров, В.Г. Карташевский, Л.Э. Мелкумова, Д.В. Мишин, Б.И. Николаев, Д.Н. Панин, Д.В. Суханов, Е.О. Хабаров, А.М. Чингаева, С.Я. Шатских. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2018. – 343с.

- 3 Горелов, Г.В. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте / Г.В. Горелов, А.Ф. Фомин, А.А. Волков, В.К. Котов. – М.: УМЦ образования на железнодорожном транспорте, 2013. – 532 с.
- 4 Засов В.А. Адаптивный компенсатор помех в импульсных сигналах / В.А. Засов, М.В. Ромкин // Патент на изобретение RU №2736199 от 27.01.2020 г.
- 5 Засов, В.А. Компенсация помех в приемниках сигналов автоматической локомотивной сигнализации / В.А. Засов // Автоматика на транспорте. – 2019. – №1, том 5. – С.32-44.
- 6 Солонина, А.И. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учеб. пособие / А.И. Солонина, Д.М. Клионский, Т.В. Меркучева, С.Н. Перов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.

АДАПТИВНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ В ПРИЁМНЫХ УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

В. О. Палагин¹, В. А. Засов²

Введение. Развитие высокоскоростного и тяжеловесного движения на железных дорогах Российской Федерации существенно повышает требования к надёжности и помехоустойчивости систем автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН) [1-3]. В реальных условиях эксплуатации приёмные устройства АЛСН подвергаются интенсивному воздействию нестационарных флуктуационных, импульсных и гармонических помех, которые искажают сигналы АЛСН.

Одним из видов гармонических помех являются помехи, создаваемые системами электро-снабжения переменного тока промышленной частоты (например, ЛЭП), которые коррелированы с сигналами АЛСН. Традиционными методами адаптивной фильтрации коррелированные помехи не подавляются [4, 5], поэтому для подавления такого вида помех предложены адаптивные устройства, настройка параметров которых производится только в паузах сигналов [6, 7], когда на вход устройства воздействуют только помехи, подлежащие устранению.

Однако предложенные устройства [6, 7] предназначены для подавления стационарных коррелированных помех. Если коррелированные помехи прерывистые, имеют паузы предложенные адаптивные устройства не эффективны. В таких условиях предложенные адаптивные фильтры могут производить настройку коэффициентов в паузах сигналов, совпадающих во времени с паузами помех, что в дальнейшем приводит к частичному подавлению полезного сигнала АЛСН, снижению достоверности его приёма и повышению риска искажения сигналов АЛСН [6, 7].

Основная часть. В работе предложен алгоритм адаптивного подавления помех, основанный на двойном выделении пауз по основному и опорному каналам (в сигналах и помехе) с применением условной адаптации фильтра. Сущность алгоритма состоит в том, что обновление весовых коэффициентов адаптивного фильтра разрешается только тогда, когда в полезном сигнале АЛСН наблюдается пауза, а на опорном входе присутствует помеха. В остальных случаях весовые коэффициенты фильтра фиксируются в буферной памяти, что предотвращает искажение полезного сигнала. В математической форме это условие записывается следующим образом:

$$T_a = P_s \& \bar{P}_i$$

где T_a – сигнал разрешения адаптации; P_s – сигнал паузы в полезном сигнале; P_i – сигнал паузы в помехе.

На рис. 1 представлен алгоритм работы условной адаптации, а на рис. 2 представлена структурная схема предлагаемого адаптивного подавителя помех. Ключевыми элементами разработанной структурной схемы являются два блока выделения пауз (по основному и опорному каналам), блок управления и буферная память весовых коэффициентов. Вычислительное устройство 2 на основе сигналов от выделителей пауз принимает решение о разрешении или

¹ Палагин Валерий Олегович – студент группы ИВТб-21, ЭТФ

² Засов Валерий Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

запрете адаптации перестраиваемого фильтра. Такой подход позволяет точно определять интервалы для обновления весовых параметров и минимизировать влияние помехи на полезный сигнал АЛСН.

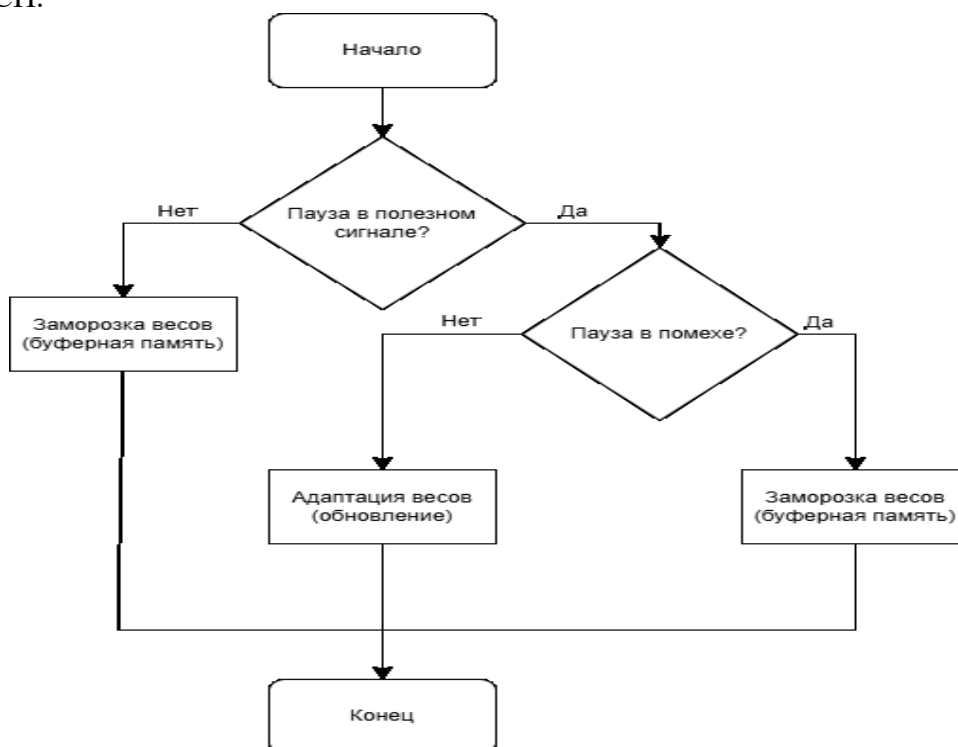


Рис. 1. Алгоритм условной адаптации

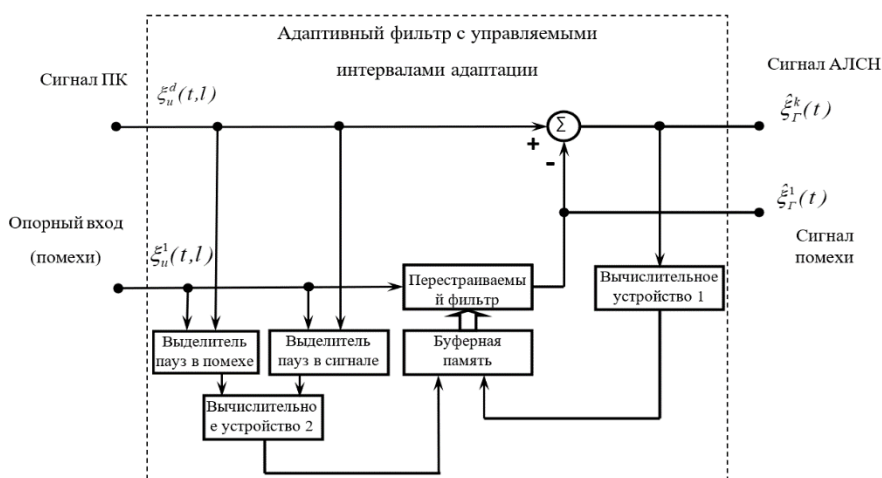


Рис. 2. Структурная схема предлагаемого адаптивного подавителя коррелированных помех

Для оценки достоверности предлагаемого алгоритма проведено сравнительное моделирование адаптивного алгоритма LMS (LMS – Least Mean Squares) [8], учитывающего паузы только в полезном сигнале [6, 7], и предлагаемого в работе алгоритма с двойным выделением пауз. Моделирование выполнялось в идентичных условиях при воздействии коррелированной помехи, имеющей паузы различной длительности и расположения. Все основные параметры моделирования (порядок фильтра, шаг адаптации, тип и уровень помехи) были одинаковыми для обоих методов, что обеспечило корректность и объективность сравнительного анализа.

Результаты моделирования представлены на рис. 3.

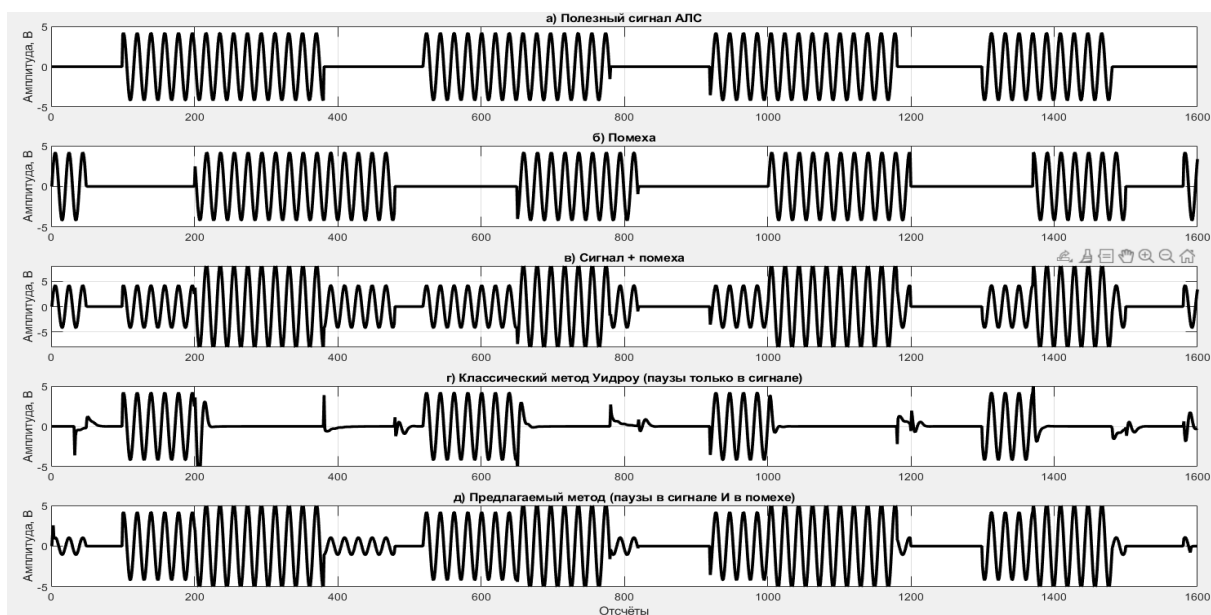


Рис. 3. Сравнение результатов адаптивной фильтрации: а) полезный сигнал АЛСН; б) сигнал помехи; в) аддитивная смесь сигнал АЛСН и помехи; в) сигнал, очищенный известным алгоритмом, учитывающим паузы только в сигнале; г) сигнал, очищенный предложенным алгоритмом, учитывающим паузы в сигнале и в помехе

На приведенных графиках наглядно демонстрируется, что классический алгоритм [3], который не учитывает паузы в помехах, подавляет помехи с существенным искажением полезного сигнала на выходе фильтра. Действительно, сигнал после обработки классическим алгоритмом [4] имеет существенно меньшую длительность, скважность очищенного от помех сигнала значительно отличается от скважности тестового сигнала.

Закключение. Таким образом, предлагаемый алгоритм с двойным выделением пауз, как в сигнале, так и в помехе, обеспечивает существенно больший коэффициент подавления помехи без искажения полезного сигнала. Кроме того, представленный алгоритм наряду с коррелированными помехами может также подавлять гармонические и флуктуационные помехи.

Программная реализация разработанного адаптивного подавителя помех может применяться в существующей цифровой аппаратуре приёмных устройств АЛСН. Это позволяет существенно повысить помехоустойчивость системы АЛСН без значительных дополнительных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Федеральный закон от 10.01.2003 № 17-ФЗ (ред. от 31.07.2025) «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации». – Москва, 2025.
- 2 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены приказом Минтранса России от 21.12.2010 № 286 (с изм. и доп.). – Москва, 2024. – 320 с.
- 3 Горелов, Г.В. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте / Г.В. Горелов, А.Ф. Фомин, А.А. Волков, В.К. Котов. – М.: УМЦ образования на железнодорожном транспорте, 2013. – 532 с.
- 4 Джиган, В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы / В.И. Джиган. – М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
- 5 Алышев Ю.В. Оптимальные методы обработки сигналов в системах радиотехники и связи / Ю.В. Алышев, А.В. Борисенков, И.С. Брайнина, О.В. Горячкин, И.В. Григоров, В.Г. Карташевский, Л.Э. Мелкумова, Д.В. Мишин, Б.И. Николаев, Д.Н. Панин, Д.В. Суханов, Е.О. Хабаров, А.М. Чингаева, С.Я. Шатских. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2018. – 343с.
- 6 Засов В.А. Адаптивный компенсатор помех в импульсных сигналах / В.А. Засов, М.В. Ромкин // Патент на изобретение RU №2736199 от 27.01.2020 г.
- 7 Засов, В.А. Компенсация помех в приемниках сигналов автоматической локомотивной сигнализации / В.А. Засов //Автоматика на транспорте. –2019. – №1, том 5. – С.32-44.
- 8 Солонина, А.И. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учеб. пособие / А.И. Солонина, Д.М. Клионский, Т.В. Меркучева, С.Н. Перов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПИСАТЕЛЬНОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ПЕРВИЧНОГО АНАЛИЗА ГЕОМЕТРИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Д. А. Шаталов¹, Д. В. Иванов²

Введение. В настоящее время железнодорожный транспорт является важной и неотъемлемой частью транспортной системы государства. Ежегодно по железным дорогам перевозят миллионы тонн груза и миллионы пассажиров. Поэтому, безопасность на железнодорожном транспорте – это ключевой аспект в надёжных, качественных и своевременных перевозках. Немаловажная роль в этом вопросе отводится состоянию железнодорожного пути, так как в процессе эксплуатации железнодорожный путь подвергается большим динамическим нагрузкам, климатическим изменениям и естественному износу материалов, что может привести к деградации геометрии железнодорожного пути.

Геометрия железнодорожного пути – это совокупность параметров рельсовой колеи, которые характеризуют пространственное положение рельсовой колеи [1]. Геометрии железнодорожного пути включает в себя следующие параметры: ширина колеи, уровень, перекося, положение в плане, неровность в профиле, стрела изгиба и другие. Все эти параметры служат индикаторами состояния пути и позволяют выявлять опасные отклонения от эталонных значений [2].

Для своевременного выявления дефектов геометрии железнодорожного пути применяются мобильные комплексы диагностики и мониторинга состояния геометрии железнодорожного пути, которые собирают большие массивы данных, что в свою очередь требует использование методов обработки, обеспечивающих быстрое выявление проблемных участков и возможность предварительной оценки состояния пути [3].

Одним из наиболее простых и доступных методов анализа данных является применение мер описательной статистики.

Целью данной работы является исследование возможностей применения описательной статистики для анализа замеров геометрии железнодорожного пути.

Основная часть. В качестве исходных данных используются результаты измерения ширины железнодорожной колеи, полученные с путеизмерительного вагона на прямом участке пути за 6 месяцев.

Одним из информативных показателей является среднее значение, которое отражает общее состояние ширины железнодорожной колеи на заданном участке пути. Рассчитывается по следующей формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где: $\bar{x}$ – среднее значение ширины колеи на заданном участке, x_i – i -й замер, n – количество замеров.

Меры центральной тенденции недостаточны для качественного обнаружения изменений в геометрии железнодорожного пути. Для более точной диагностики необходимо использовать меры изменчивости, а именно: дисперсию [4, 5], стандартное отклонение, размах.

Дисперсия – это мера разброса данных вокруг их среднего значения. Рассчитывается по следующей формуле:

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2.$$

Высокая дисперсия свидетельствует о большом разбросе данных и возможном отклонении некоторых значений от эталонных, а низкая дисперсия свидетельствует о малом разбросе данных и близости значений к среднему.

Более удобным показателем является стандартное отклонение, которое представляет собой корень из дисперсии и выражается в тех же единицах измерения, что и исследуемый параметр геометрии железнодорожного пути.

¹ Шаталов Дмитрий Александрович – аспирант кафедры «Цифровые технологии»

² Иванов Дмитрий Владимирович – к.ф.-м.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

$$\sigma = \sqrt{D}.$$

Ещё одной мерой изменчивости, указывающей на диапазон изменения исследуемого параметра, является размах.

$$R = x_{max} - x_{min},$$

где x_{max} – максимальное значение исследуемого параметра, x_{min} – минимальное значение исследуемого параметра.

В табл. приведены расчёты мер описательной статистики для данных, полученных с путеизмерительного вагона за 6 месяцев на одном и том же участке пути.

Таблица

Расчёт мер описательной статистики

Месяц	$\bar{x}$	x_{min}	x_{max}		D	σ
Январь	1521,20	1517,8	1525,9	8,1	1,21	1,1
Февраль	1520,67	1517,5	1525,2	7,7	1,15	1,07
Март	1520,91	1517,8	1525	7,2	1,03	1,01
Апрель	1521,2	1517,8	1525,2	7,4	1,10	1,05
Май	1521,12	1517,9	1525,4	7,5	1,16	1,07
Июнь	1520,6	1517,3	1524,8	7,5	1,21	1,1

После расчёта мер описательной статистики целесообразно отобразить результаты в графическом виде. Одним из наиболее популярных графических инструментов является box-plot (ящик с усами) [6]. Он позволяет одновременно оценить несколько параметров, например, центральное положение выборки, дисперсию, выбросы и т.д. На рис. представлен график box-plot для данных за 6 месяцев.

Box-plot

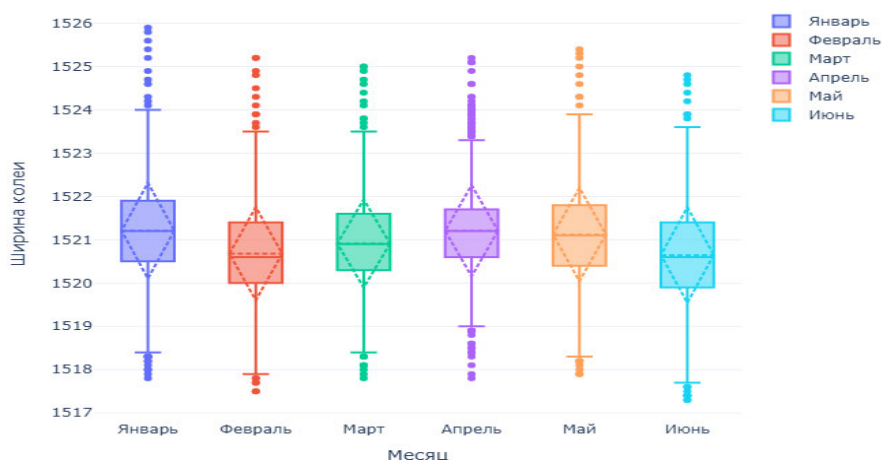


Рис. Box-plot для данных за 6 месяцев

На графике центральная сплошная линия внутри каждого прямоугольника соответствует медиане выборки, границы прямоугольника определяются первым и третьим квартилями, а высота прямоугольника характеризует межквартильный размах. Вертикальные линии («усы») показывают диапазон типичных значений параметра, тогда как отдельные точки за пределами вертикальных линий являются выбросами, соответствующие локальным отклонениям состояния пути.

Данная диаграмма показывает, что медианные значения изменяются незначительно, месяцы с более высокой коробкой указывают на больший разброс значений, что соответствует большей неоднородности ширины колеи. Наличие выбросов говорит о локальных дефектах ширины колеи.

Заключение. В работе рассмотрены возможности применения мер описательной статистики для первичной диагностики состояния геометрии железнодорожного пути. В работе показано, что использование мер описательной статистики позволяет количественно оценить состояние параметров и определить признаки изменчивости. Также применен график box-plot для наглядной демонстрации данных. Полученные результаты подтверждают

целесообразность применения мер описательной статистики как первичного этапа анализа данных геометрии железнодорожного пути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Атапин, В. В. Анализ состояния геометрии рельсовой колеи в зависимости от времени года / В. В. Атапин, А. С. Нечушкин // Наука и образование транспорту. – 2022. – № 2. – С. 156-158. – EDN OYGBPI.
- 2 Выявление нестабильных участков пути и прогнозирование их состояния: дис. канд. техн. наук (05.22.06) / А. В. Дворников. – Москва, 2008. – 146 с
- 3 Шаталов, Д. А. Мониторинг и прогнозирование деградации геометрии железнодорожного пути на основе интегрального показателя накопленных отклонений / Д. А. Шаталов, Д. В. Иванов // Южно-сибирский научный вестник. – 2026. – № 1(65). – С.3-8.
- 4 Шаталов, Д. А. Робастная регрессионная модель для дисперсии шаблона железнодорожного пути / Д. А. Шаталов // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : МАТЕРИАЛЫ VII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Самара, 04 апреля 2025 года. – Самара: Приволжский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 210-215. – EDN QBZZGC.
- 5 Шаталов, Д. А. Комбинированная модель прогнозирования дисперсии ширины железнодорожной колеи на основе робастной регрессии и ARMA / Д. А. Шаталов, Д. В. Иванов // Вестник СамГУПС. – 2025. – № 2(68). – С. 163-168. – EDN JCRQCP.
- 6 Библиотека seaborn. URL: https://miptstats.github.io/courses/python/09_seaborn.html (дата обращения: 10.04.2026)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМ УЗЛОМ ПОДГОТОВКИ К ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКЕ ДЕТАЛИ

Д. А. Эздеков¹, М. Н. Федоров², И. Л. Сандлер³

Введение. Автоматизация технологических операций в машиностроении и приборостроении предполагает не только оснащение производства исполнительными механизмами, но и разработку систем управления, обеспечивающих оператору контроль над процессом в реальном времени [1].

Одним из таких процессов является лазерная маркировка деталей, широко применяемая в машиностроении, приборостроении, электронной, медицинской и автомобильной промышленности. Лазерная маркировка позволяет наносить идентификационные данные и маркировочную информацию с высокой точностью и стойкостью к внешним воздействиям.

АСУ ТП позволяет отслеживать состояние оборудования дистанционно, управлять исполнительными устройствами и фиксировать аварийные ситуации до их развития в отказ [2]. SCADA/HMI-интерфейсы обеспечивают визуализацию технологического процесса и взаимодействие оператора с оборудованием в режиме реального времени [3]. Разработка экранных форм АСУ ТП для мехатронного узла подготовки деталей к лазерной маркировке обусловлена необходимостью обеспечить оператору визуальный контроль над исполнительными механизмами и своевременное обнаружение отклонений в работе оборудования.

Цель работы: разработка экранных форм АСУ ТП мехатронного узла подготовки деталей к лазерной маркировке в среде Simple-Scada 2, обеспечивающих визуальный контроль хода процесса и сигнализацию аварийных состояний.

Основная часть. В ходе анализа существующих SCADA/HMI-решений установлено, что Simple-Scada 2 ориентирована на наглядное представление технологических процессов и удобное управление ими непосредственно из интерфейса оператора [4, 5].

Основу пользовательского интерфейса составляют мнемосхемы, являющиеся графическими моделями технологических объектов и отображающие текущие состояния узлов и связи между

¹ Эздеков Дамир Азаматович – студент группы ИСТ6-41, ЭТФ

² Федоров Максим Николаевич – студент группы ИСТ6-41, ЭТФ

³ Сандлер Илья Львович – старший преподаватель кафедры «Цифровые технологии»

ними. При проектировании мнемосхем исключаются избыточные визуальные элементы, чтобы оператор воспринимал только ту информацию, которая нужна для управления процессом [6].

На рис. 1 представлена мнемосхема АСУ ТП, на которой отображены текущие состояния исполнительных механизмов, элементы управления циклом и параметры процесса маркировки. Разработанный интерфейс даёт оператору возможность отслеживать ход процесса и подавать управляющие команды без непосредственного контакта с оборудованием.

Дополнительно реализовано отображение аварийных сообщений (рис. 2): при возникновении нештатной ситуации проблемные узлы выделяются цветовой индикацией, что позволяет оператору оперативно определить источник отказа [5, 6].



Рис. 1. Внешний вид мнемосхемы панели управления АРМа оператора в штатном режиме работы

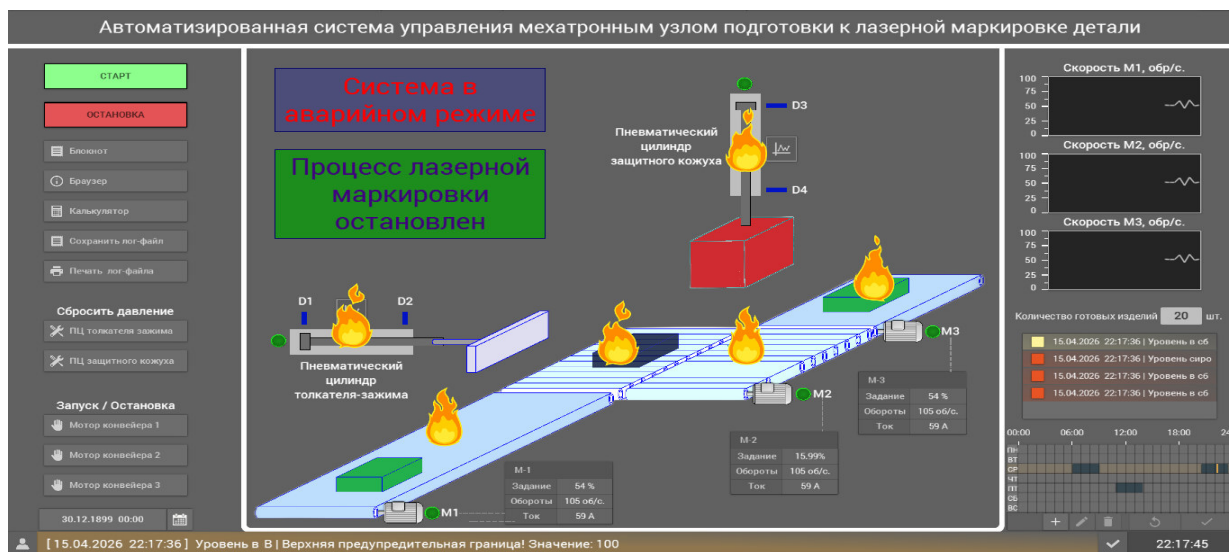


Рис. 2. Внешний вид мнемосхемы панели управления АРМа оператора в аварийном режиме работы

Заключение. Разработанные экранные формы АСУ ТП мехатронного узла подготовки к лазерной маркировке реализованы в среде Simple-Scada 2: мнемосхема штатного режима отображает состояния исполнительных механизмов и параметры цикла, а мнемосхема аварийного режима выделяет проблемные узлы цветовой индикацией.

Дальнейшая работа направлена на расширение системы визуализации за счёт включения дополнительных узлов технологического процесса лазерной маркировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Розенберг, И. Н. Разработка платформы цифровых двойников инфраструктурных объектов / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С. 26-29. – EDN

- TNIHQ5.
- 2 Соболев, А. С. Актуальность создания интегрированных систем управления на предприятии / А. С. Соболев, Е. Л. Вайтекунене // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2010. – Т. 1, № 6. – С. 441-442. – EDN TBICPT.
 - 3 Коломиец, А. С. Актуальность применения автоматных моделей в проектировании имитационных тренажеров для обучения операторов АСУ ТП / А. С. Коломиец // Наука и современность. – 2010. – № 3-2. – С. 152-157. – EDN RTBYFD.
 - 4 Simple-Scada - простая, российская SCADA-система URL: <https://simple-scada.com/> (дата обращения: 06.03.2025).
 - 5 Добромислова, А. А. Разработка системы диспетчеризации процесса изготовления резины в программе Simple-Scada / А. А. Добромислова, О. М. Власенко // Сборник научных трудов кафедры автоматизации и промышленной электроники. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2021. – С. 11-16. – EDN RTQOST.
 - 6 Бердикулова, Д. Ф. Создание мнемосхемы для винтового компрессора с использованием контроллера МАМ6080 в simple-SCADA / Д. Ф. Бердикулова // Большая студенческая конференция: сборник статей IX Международной научно-практической конференции. В 2 ч., Пенза, 05 мая 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 50-57. – EDN NIYKEX.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ ВЕБ-МОДЕЛИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО КОНЕЧНОГО АВТОМАТА И АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ФОРМАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ

А. Н. Габдуалиев¹, А. П. Припутников²

Введение. При изучении формальных языков и конечных автоматов студенту недостаточно видеть только формальное определение автомата и таблицу переходов. В теории детерминированный конечный автомат задаётся через множество состояний, алфавит, начальное состояние, функцию переходов и множество допускающих состояний. В нашем случае важно решить проблему, при которой одна строка принимается автоматом, а другая отклоняется, но причина такого результата не всегда сразу видна.

Для более наглядного изучения этой темы была разработана интерактивная веб-модель детерминированного конечного автомата. Пользователь выбирает готовый автомат, вводит строку и запускает проверку. Запустив, он видит не только финальный результат, но и весь путь, который прошёл процесс, чтобы его получить. Отображаемая информация: текущий символ, состояние автомата, таблица переходов, граф, пояснение результата. Разработка веб-инструмента поможет разобраться в работе детерминированных конечных автоматов.

Основная часть. В основе приложения лежит классическая модель детерминированного конечного автомата [1]:

$$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F),$$

где Q – множество состояний,

Σ – входной алфавит,

δ – функция переходов,

q_0 – начальное состояние,

F – множество допускающих состояний.

В программной части эта модель представлена структурой AutomatonDefinition [2]. Чтобы описать автомат, нам нужны: все его возможные «положения» (состояния), набор символов, которые он может «читать» (алфавит), с какого «положения» он начинает работу (начальное состояние), какие «положения» означают, что он успешно завершил работу

¹ Габдуалиев Акбар Нуржанович – студент группы ИСТ6-21, ЭТФ

² Припутников Алексей Петрович – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

(принимающие состояния), и как он «перемещается» между «положениями» в зависимости от прочитанных символов (правила переходов).

Приложение разработано на Vue 3 с использованием TypeScript и сборщика Vite. Для отображения графа автомата используется библиотека Cytoscape.

В проекте предусмотрена небольшая библиотека учебных автоматов [3]. Автомат `even-ones` распознаёт бинарные строки с чётным количеством единиц. Автомат `suffix-01` проверяет, заканчивается ли строка последовательностью 01. Автомат `contains-101` принимает строки, в которых встречается подстрока 101. Можно посмотреть пример `protocol-cmd`, он показывает, как программа ищет и узнает конкретную последовательность CMD.

Основная проверка строки выполняется функцией `runDfa()`. Мы смотрим на каждый символ и сравниваем его с тем, что разрешено для этого автомата. Обнаружение символа, отсутствующего в перечне допустимых, приведет к прекращению дальнейшей проверки.

После успешной проверки входа автомат начинает читать строку слева направо. На каждом шаге берётся текущий символ и текущее состояние. При обнаружении входного символа, он обращается к таблице переходов для определения следующего состояния.

Если для текущего состояния и символа не задан переход, дальнейшая проверка прекращается. Строка отклоняется с причиной отсутствия перехода. Если вся строка прочитана без такой ошибки, решающим становится последнее состояние автомата. Строка принимается только тогда, когда это состояние входит в множество допускающих состояний. По длине входной строки алгоритм работает линейно. Линейная временная сложность $O(n)$ достигается за счет однократной обработки каждого символа строки.

В реализации предусмотрена классификация причин отказа [4]. Строка может быть отклонена из-за символа вне алфавита, отсутствия перехода, недопускающего финального состояния или нарушения детерминированности. В последнем случае мы столкнулись с ситуацией, когда для одной и той же пары «состояние-символ» было определено несколько переходов. Для ДКА это недопустимо, поэтому такая ошибка должна быть обнаружена до обычной обработки строки.

Отдельная часть приложения связана с визуализацией (рис.). Граф автомата строится по списку состояний и переходов. Состояния отображаются на странице как узлы, переходы – как рёбра.

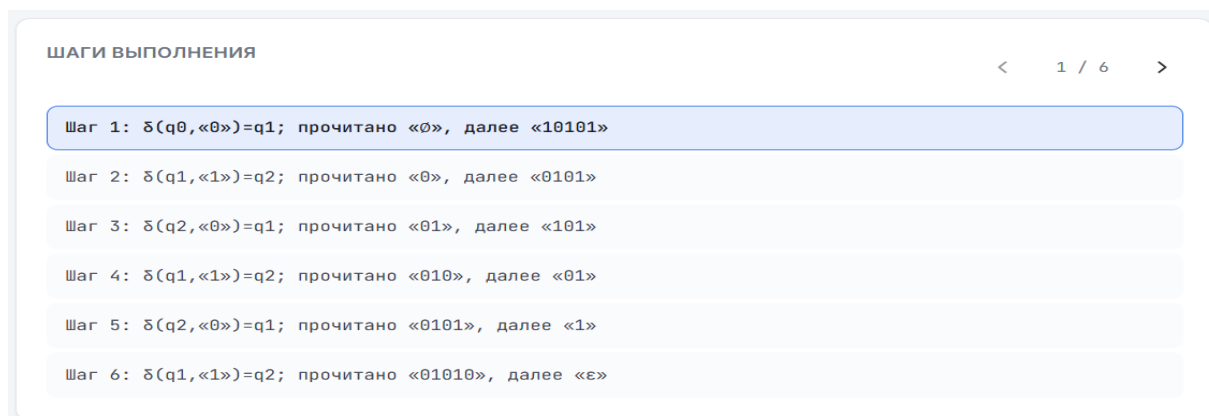


Рис. Пошаговая визуализация обработки входной строки

Таблица переходов дополняет граф. Функция δ теперь представлена в более строгой форме, позволяя с полной определённой установить, в какое состояние перейдёт автомат при заданном текущем состоянии и входном символе. Чтобы проверить модель формальных языков, используют таблицы. А чтобы показать, как устроен автомат, рисуют граф. Пошаговая трасса собирает эти данные вместе, чтобы показать пользователю, какая строка сейчас обрабатывается, какой символ прочитан и какой шаг был сделан.

Приложение включает в себя функцию тестирования наборов строк. Предусмотрен запуск различных сценариев тестирования с последующим детальным анализом полученных результатов. Это очень помогает, когда нужно разобраться, какие именно строки «понимает»

автомат. Скажем, у нас есть автомат, который ищет чётное число единиц. Тестирование автомата на чётность единиц можно провести, подавая на вход последовательности: «0», «1», «11», «101», «111» и анализируя результаты.

У текущей версии есть ограничения. Приложение работает только с детерминированными конечными автоматами [5]. Недетерминированные автоматы не поддерживаются. Входная строка обрабатывается посимвольно, без разбиения на токены. Максимальная длина строки ограничена 256 символами.

Заключение. В разработанной веб-модели обработка строки показана не только как конечный результат, но и как последовательный переход автомата из одного состояния в другое. Пользователь видит не только, принята строка или отклонена, но и весь путь по состояниям. Сама запись $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ задаёт состав автомата, но по ней не всегда удобно понять, почему одна строка принимается, а другая отклоняется. Это позволяет объяснить, почему строка была принята или отклонена.

Практическая ценность приложения связана с его учебным назначением. Оно может использоваться при изучении дискретной математики, теории автоматов и формальных языков. Граф, таблица переходов, трасса и пояснение результата дают разные взгляды на один и тот же процесс. За счёт этого студент может не просто получить ответ, а проследить причину принятия или отклонения строки.

Если развивать проект дальше, в него можно добавить конструктор автоматов, сохранение примеров и поддержку недетерминированных моделей. В дальнейшем приложение можно доработать, например, добавить конструктор автоматов, сохранение примеров и поддержку недетерминированных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рыбаков М. Н. Теория автоматов и формальных языков: учебник. – Тверь: Тверской государственный университет, 2025. – 413 с.
- 2 Вылиток А. А. Описание формальных языков L-графами // КиберЛенинка. – 2025. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opisanie-formalnyh-yazykov-l-grafami>
- 3 Чумакова, Е. А. Проектирование архитектуры обучающего программного средства для моделирования и анализа конечных автоматов и формальных языков / Е. А. Чумакова // Инновации в сфере информационных технологий: от идеи к внедрению (ИвСИТ-2025) : Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, Ивангород, 18 ноября 2025 года. – Казань: ООО "Бук", 2025. – С. 212-215. – EDN KRXJLS.
- 4 Вылиток, А. А. Проверка регулярности детерминированных бесконтекстных l-графов / А. А. Вылиток // Программирование и вычислительная математика: сборник материалов конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н.П. Трифонова, Москва, 03 декабря 2025 года. – Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2025. – С. 45-49. – DOI 10.55959/MSU012316-6-2025-45-49. – EDN QSELJD.
- 5 Детерминированные конечные автоматы // Вики конспекты Университета ИТМО. – URL: https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Детерминированные_конечные_автоматы

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА КОДА В ПРОЕКТАХ НА ПРИМЕРЕ ИНТЕГРАЦИИ SONARQUBE В СЕРВИС АВТОРИЗАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Д. В. Зорин¹, М. Н. Липатова²

Введение. В статье рассматриваются принципы статического анализа кода с использованием платформы SonarQube, а также практический опыт её интеграции в сервис авторизации пользователей. Описаны ключевые функциональные возможности инструмента, механизм обнаружения дефектов, уязвимостей и технического долга. Приведён пример конфигурации и отображения результатов анализа. Показана эффективность применения непрерывного контроля качества кода в рамках современных подходов к разработке программного обеспечения.

Качество программного кода является одним из фундаментальных факторов, определяющих надёжность, безопасность и сопровождаемость программных систем. В условиях постоянно возрастающей сложности современных приложений ручная проверка кода становится недостаточной: она требует значительных временных затрат и не гарантирует выявления всех категорий дефектов.

Особую чувствительность к качеству кода имеют компоненты, отвечающие за безопасность приложений. Сервис авторизации пользователей является именно таким критическим компонентом: уязвимости в его реализации могут привести к несанкционированному доступу, утечке учётных данных и нарушению конфиденциальности пользователей. В связи с этим непрерывный автоматизированный анализ подобного модуля является обязательным требованием.

Основная часть. Платформа SonarQube, разработанная компанией SonarSource, предоставляет комплексный инструментарий для статического анализа кода и является одним из наиболее распространённых решений в данной области. Целью настоящей статьи является анализ функциональных возможностей SonarQube и демонстрация практического применения в проекте сервиса авторизации пользователей [1].

SonarQube выявляет и классифицирует проблемы кода по следующим категориям:

1. Bugs (Ошибки) – дефекты, которые могут привести к некорректному поведению программы в процессе выполнения. Примеры: разыменование нулевого указателя, использование неинициализированных переменных, неправильная обработка исключений.
2. Vulnerabilities (Уязвимости) – места в коде, уязвимые к атакам. Для веб-приложений это SQL-инъекции, XSS, хранение паролей в открытом виде, небезопасная генерация токенов.
3. Security Hotspots (Чувствительные места) – фрагменты кода, требующие ручной проверки с точки зрения безопасности, например использование криптографических функций.
4. Code Smells (Запахи кода) – антипаттерны, снижающие читаемость и сопровождаемость, но не вызывающие непосредственных ошибок: дублирование кода, избыточная сложность методов, нарушение принципов SOLID.
5. Coverage (Покрываемость тестами) – процент строк и ветвей кода, охваченных автоматическими тестами.
6. Duplications (Дублирование) – процент повторяющихся блоков кода в рамках проекта [2].

Применение SonarQube к коду сервиса авторизации позволяет систематически обнаруживать уязвимости, критичные для данного класса приложений. В табл. приведены характерные примеры проблем, типичных для модулей аутентификации и управления сессиями, а часть ошибок, полученных в результате мониторинга проекта, отображена на рис. 1.

¹ Зорин Даниил Владимирович – студент группы ИСТб-21, ЭТФ

² Липатова Марина Николаевна – старший преподаватель кафедры «Цифровые технологии»

Примеры проблем, выявленных SonarQube в сервисе авторизации

Тип	Серьезность	Пример
Code Smell	Major	System.out вместо модуля записи событий
Code Smell	Major	Generic exception вместо кастомного
Code Smell	Minor	Лишнее объявление исключения
Code Smell	Minor	Lambda → method reference
Code Smell	Major	Вложенный тройной оператор
Bug	Major	Условная операция возвращает одинаковое значение (Reliability)
Code Smell	Critical	Дублирование сообщения "message" 4 раза

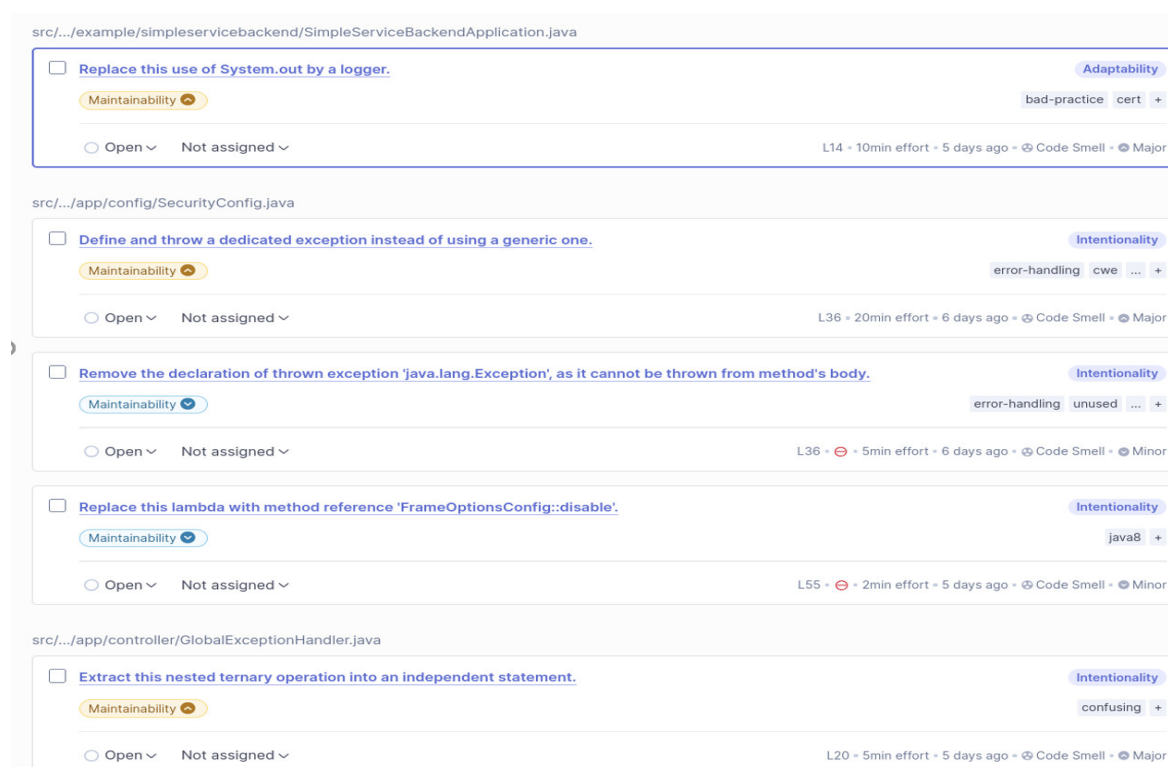


Рис. 1. Список выявленных проблем в модуле авторизации (Issues)

Ключевым понятием в SonarQube является Quality Gate – набор условий, которым должен соответствовать проект для прохождения порогового контроля качества. Статус Quality Gate отображается на главной панели (рис. 2) и может принимать значения Passed (Пройден) или Failed (Не пройден).

Для сервиса авторизации рекомендуется задать следующие условия Quality Gate: отсутствие новых Blocker/Critical уязвимостей, покрытие тестами нового кода не менее 80%, а также количество новых Code Smells не выше допустимого порога. Таким образом, контроль встраивается в рабочий процесс и не позволяет накапливать технический долг.



Рис. 2. Главная панель (Dashboard) проекта auth-service в SonarQube

Практика использования SonarQube в проектах по разработке сервисов авторизации демонстрирует ощутимые улучшения ключевых метрик качества. Регулярный анализ в рамках CI/CD-конвейера позволяет: на 40-60% сократить количество дефектов, связанных с безопасностью, обнаруживаемых на этапе тестирования; повысить покрытие кода тестами за счёт видимости метрик в едином дашборде; снизить технический долг благодаря раннему обнаружению Code Smells и прочих ошибок (рис. 3).

Define a constant instead of duplicating this literal "message" 4 times. [java:S1192](#)

String literals should not be duplicated [java:S1192](#)

Line affected: L25 • Effort: 10min • Introduced: 5 days ago • Code Smell • Critical

☐ Open ☐ Not assigned ☐ design +

Where is the issue? Why is this an issue? How can I fix it? Activity

Use constants to replace the duplicated string literals. Constants can be referenced from many places, but only need to be updated in a single place.

Noncompliant code example

With the default threshold of 3:

```

public void run() {
    prepare("action1"); // Noncompliant - "action1" is duplicated 3 times
    execute("action1");
    release("action1");
}

@SuppressWarning("all")
private void method1() { /* ... */ } // Compliant - annotations are excluded
@SuppressWarning("all")
private void method2() { /* ... */ }

public String printInQuotes(String a, String b) {
    return "\"" + a + "\"" + b + "\""; // Compliant - literal "\"" has less than 5 characters and is excluded
}

```

Compliant solution

```

private static final String ACTION_1 = "action1"; // Compliant

public void run() {
    prepare(ACTION_1); // Compliant
    execute(ACTION_1);
    release(ACTION_1);
}

```

Рис. 3. Детальный просмотр уязвимости типа Major в файле SecurityConfig.java

Особую роль SonarQube играет именно для критически важных компонентов – таких, как сервис авторизации. Уязвимость, пропущенная на этапе разработки и обнаруженная в рабочей среде, несёт несопоставимо большие затраты и риски, чем её предотвращение средствами статического анализа.

Необходимо отметить, что статический анализ имеет принципиальные ограничения. SonarQube не заменяет динамическое тестирование, тестирование безопасности и разработки кода экспертами в области безопасности. Инструмент генерирует ложноположительные срабатывания (false positives), требующие ручной оценки. Тем не менее, как компонент комплексной стратегии обеспечения качества, SonarQube значительно снижает вероятность попадания дефектов в продуктивную среду [4, 5].

Заключение. В статье проведен анализ функциональных возможности платформы SonarQube и практический опыт её применения для непрерывного мониторинга качества кода сервиса и авторизации пользователей. Показано, что инструмент обеспечивает комплексный охват метрик: от критических уязвимостей безопасности и ошибок времени выполнения до технического долга и дублирования кода.

Интеграция SonarQube в CI/CD-конвейер превращает контроль качества из периодической ручной процедуры в непрерывный автоматизированный процесс. Механизм Quality Gate позволяет формализовать требования к коду и блокировать слияние изменений, не соответствующих установленным стандартам.

Для модулей, непосредственно связанных с безопасностью – таких, как сервис авторизации, – применение SonarQube является оправданной и рекомендуемой практикой, существенно снижающей риски возникновения уязвимостей в рабочей среде. Перспектива развития работы включает в себя: расширенную настройку профилей качества под специфику проекта, интеграцию с системами управления уязвимостями и выработку организационных регламентов реагирования на результаты анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Интернет - ресурс: SonarSource. SonarQube Documentation – URL: <https://docs.sonarqube.org> (дата обращения: 10.04.2026).
- 2 Интернет - ресурс: Clean Code Programming Languages - URL: www.sonarsource.com (дата обращения: 18.10.2025)
- 3 Интернет - ресурс: OWASP Foundation. OWASP Top Ten 2021 – URL: <https://owasp.org/Top10> (дата обращения: 10.04.2026).
- 4 Fowler M. Refactoring: Clean Architecture. – Addison-Wesley Professional, 2026 г.
- 5 Humble J., Laulencu S., Continuous Delivery: SonarQube in Action. – Addison-Wesley Professional, 2025 г.

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЧАТ-БОТА КОНСУЛЬТИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПОЧЕК НА БАЗЕ ВЕБ-ПЛАТФОРМЫ

А. Р. Кокин¹, О. А. Седашкина²

Введение. Методы обработки естественного языка позволяют создавать чат-боты, применяемые в различных областях медицины, в том числе для первичного консультирования пациентов. Специфика нефрологических патологий, однако, требует особого подхода: интерпретация лабораторных показателей сложна, а рекомендации нуждаются в индивидуализации [1]. По этой причине автоматические ответы чат-бота не всегда способны полностью решить вопрос пациента, что обуславливает необходимость совмещать работу бота с индивидуальной консультацией врача-нефролога при поступлении сложных запросов.

Для помощи в работе врачей-нефрологов с пациентами с хронической болезнью почек (ХБП) разработан комплекс медицинских алгоритмов [2], реализованный в виде веб-платформы [3-5]. Платформа охватывает первичную консультацию пациентов и их дальнейшее ведение по нефрологической службе, однако не обладает инструментом автоматических ответов на открытые вопросы пациентов и врачей. В рамках работы разработана концепция интеллектуального чат-

¹ Кокин Александр Романович – студент группы ПИБ-31, ЭТФ

² Седашкина Ольга Александровна – д.м.н., доцент кафедры ФП ФГБОУ ВО СамГМУ МЗ России

бота для консультирования пациентов с ХБП с последующей интеграцией в существующую веб-платформу и возможностью эскалации запросов профильному специалисту.

Основная часть. При анализе профильной литературы и консультации с практикующими врачами-нефрологами [1] выделены категории вопросов, возникающих у пациентов с ХБП наиболее часто при обращениях. Категории вопросов с частотой обращения по ним представлены в табл.

Таблица

Распределения категорий вопросов с примерами		
Категория вопросов	Доля от общего числа, %	Примеры вопросов
Диета и питание	До 35	Что можно есть при ХБП? Нужно ли ограничивать белок?
Медицинская терапия	До 25	Какие препараты назначены? Как часто их принимать?
Образ жизни	До 20	Можно ли заниматься спортом? Как режим сна влияет на болезнь?
Интерпретация анализов	До 15	Что означает уровень креатинина? Нормально ли значение протеинурии?
Организационные вопросы	До 5	Когда следующий приём? Как получить направление?

По результатам анализа потребностей к концептуальной системе предъявляется ряд требований. По доступности и интеграции: круглосуточная работа сервиса и совместимость с существующей платформой. По качеству взаимодействия: достоверность информации с персонализацией рекомендаций, сохранение контекста диалога и эскалация сложных запросов врачу-эксперту.

На основе сформулированных требований разработана архитектура чат-бота, основанная на гибридном подходе, сочетающем автоматическую обработку типовых запросов с возможностью подключения врача-эксперта для сложных случаев. Архитектура представлена на рис., который отражает полный цикл работы чат-бота.

После отправки пользователем сообщения срабатывает модуль анализа запросов, который распознаёт намерение пациента и классифицирует запрос по тематике с извлечением значимых параметров. Затем модуль принятия решения оценивает сложность запроса и определяет стратегию ответа: автоматическое формирование из базы знаний или эскалация врачу-эксперту.



Рис. Концептуальная архитектура интеллектуального чат-бота

Заключение. В рамках работы разработана концепция интеллектуального чат-бота для консультирования пациентов с ХБП, предусматривающая гибридный подход: автоматическую обработку типовых запросов из базы знаний и эскалацию сложных случаев врачу-эксперту. Классификация вопросов выполнена на основе реальных обращений пациентов, а эскалация через мессенджер обеспечивает привычный для пользователя интерфейс взаимодействия. Реализация концепции расширит доступность консультативной помощи для пациентов с ХБП, снижая нагрузку на врачебный персонал. В дальнейшем предполагается разработка алгоритма маршрутизации запросов в гибридной системе консультирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Клинические рекомендации "Хроническая болезнь почек" (одобрены Минздравом России) / [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс: [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_514718/8efd5f17af55cb35a770f73937590c642437b7eb/ (дата обращения: 02.03.2026).
- 2 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025617001 Российская Федерация. Программный комплекс для прогнозирования и диагностики ХБП: заявл. 03.03.2025: опублик. 21.03.2025 / О. А. Седашкина, А. Р. Кокин, А. А. Седашкин. – EDN MWGCWO.
- 3 Кокин, А. Р. Веб-реализация калькулятора расчета риска хронической болезни почек у детей / А. Р. Кокин, А. А. Седашкин // LI Самарская областная студенческая научная конференция: Тезисы докладов. В 2-х томах, Самара, 14–25 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО "Эко-Вектор", 2025. – С. 373-375. – EDN SUJRZO.
- 4 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685217 Российская Федерация. Калькулятор расчета риска хронической болезни почек у детей: № 2024684572: заявл. 14.10.2024: опублик. 25.10.2024 / О. А. Седашкина, А. В. Колсанов, Р. Р. Юнусов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – EDN JSUTXI.
- 5 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685630 Российская Федерация. Программа для прогнозирования хронического течения заболевания у детей с острой патологией почек: № 2024684552: заявл. 14.10.2024: опублик. 30.10.2024 / О. А. Седашкина, А. В. Колсанов, М. Н. Мякотных [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – EDN DVHDCP.

СОЗДАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ЭРГНОМИЧНЫХ ПАРОЛЕЙ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ ПОЛИТИКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОАО «РЖД»

Д. А. Кривов¹, А. П. Припутников²

Введение. Пароль учетной записи признается фундаментальным элементом системы защиты информации. Использование ненадежных (слабых) паролей создает критическую уязвимость независимо от предполагаемой ценности или частоты использования учетной записи. Как показывает практика, компрометация даже второстепенного аккаунта может привести к негативным последствиям, а в масштабах крупной организации, такой как ОАО «РЖД», – к полномасштабной катастрофе для бизнеса и его контрагентов. С сентября 2006 года на предприятии действует политика информационной безопасности (ПИБ), регламентирующая правила и процедуры защиты данных. Соблюдение ПИБ обязательно для каждого сотрудника в силу ряда факторов: защита интеллектуальной собственности и персональных данных, минимизация юридических рисков (в частности, по 152-ФЗ), повышение доверия со стороны клиентов и партнеров, а также предотвращение операционных убытков после успешных кибератак.

Актуальной научно-технической задачей является создание генератора эргономичных паролей, сочетающего высокую энтропию с мнемоничностью и удобством ввода, что и

¹ Кривов Дмитрий Александрович – студент группы ИСТб-21, ЭТФ

² Припутников Алексей Петрович – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

составляет предмет настоящего исследования в контексте требований ПИБ ОАО «РЖД» [1].

Основная часть. В 2025-2026 годах кибератаки на крупный российский бизнес стали жёстче. Хакеры не только крадут конфиденциальную информацию, но и целенаправленно уничтожают инфраструктуру организации, удаляют данные. Основные уязвимости, которые применяют атакующие – это скомпрометированные учётные данные, фишинг и атаки через подрядчиков.

Скомпрометированные учётные данные – второй по популярности вектор атак (другие – фишинг и атаки через подрядчиков), они составляют 19 % от всего объёма украденной информации. Сложный и регулярно обновляемый пароль – это ключевая и простая в исполнении мера защиты информации в компании [2].

На основании рекомендаций NIST (National Institute of Standards and Technology), приказов ФСТЭК № 239, 21 и 117, методического документа «Меры защиты информации в государственных информационных системах» и очной встречи с представителями Самарского ИВЦ были определены функциональные и нефункциональные требования разрабатываемому генератору паролей [3-7].

Функциональные требования:

1) Генерация по заданной длине. Генератор должен позволять пользователю задавать длину пароля. Поддерживаемый диапазон: от 8 до 32 символов. Значение по умолчанию: **16 символов.**

2) Настройка набора символов. Пользователь должен иметь возможность включать и исключать следующие категории символов при генерации:

- заглавные буквы (A-Z, А-Я),
- строчные буквы (a-z, а-я),
- цифры (0-9),
- специальные символы (!@#\$%^&* и другие).

3) Исключение очевидных последовательностей. Генератор должен проверять сгенерированный пароль по встроенному словарю распространенных слов и комбинаций (на русском и английском языках) и отвергать варианты, содержащие словарные последовательности, имена, даты или простые паттерны вроде "qwerty", "123456"...

4) Оценка соответствия политике. Программа должна сообщать соответствует ли пароль выбранной политике генерации.

5) Пакетная генерация. Возможность сгенерировать несколько уникальных паролей одновременно.

6) Профили безопасности. Возможность сохранения и быстрого выбора настроек генерации под разные типы учетных записей. Например, **профиль «Администратор»:** максимальная длина, все типы символов. **Профиль «Пользователь»:** короткий, без спецсимволов.

Нефункциональные требования:

1. Криптографическая стойкость. Программа обязана использовать криптографически стойкий генератор псевдослучайных чисел (CSPRNG = Cryptographically Secure Pseudorandom Number Generator). Для разных языков программирования это будут разные библиотеки. Например, Python – `secrets`, Java – `java.security.SecureRandom`, C++ – `libsodium`. Использование стандартной детерминированной библиотеки `random` **запрещено.**

2. Генерация пароля на стороне клиента. Весь процесс генерации должен происходить локально на устройстве пользователя (в браузере или в программе, установленной на его устройство). Передача сгенерированных паролей по сети на сервер **запрещена** во избежание перехвата.

3. Производительность. Время генерации одного пароля со всеми проверками не должно превышать 1 секунды на среднестатистическом рабочем ПК сотрудника ИВЦ.

4. Логирование. Приложение **не должно** сохранять, кэшировать или записывать в логи сгенерированные пароли в открытом виде. Временное хранение допускается только в буфере обмена по команде пользователя.

5. Доступность и пользовательский интерфейс. Интерфейс должен быть интуитивно

понятным, не требующим обучения.

6. Обработка ошибок. Программа должна корректно обрабатывать ошибочные ситуации (например, если при заданных пользователем ограничениях невозможно сгенерировать пароль – должно выдаваться понятное сообщение, а не ошибка выполнения).

Также при разработке генератора паролей соблюдалось требование «эргономичный пароль». Для этого избегаются сложные для ввода последовательности (к примеру, +x,Vy*{ или 16`;"sGewWE]) и предпочтение отдаётся чередованию классов символов (слово-цифра-символ) [8].

Разработанный графический интерфейс генератора паролей представляет собой окно из 4 вкладок – «Генерация пароля», «Проверка пароля», «Политики безопасности», «Управление политиками». На рис. 1 показана вкладка «Генерация паролей», полученный результат можно скопировать в буфер обмена.

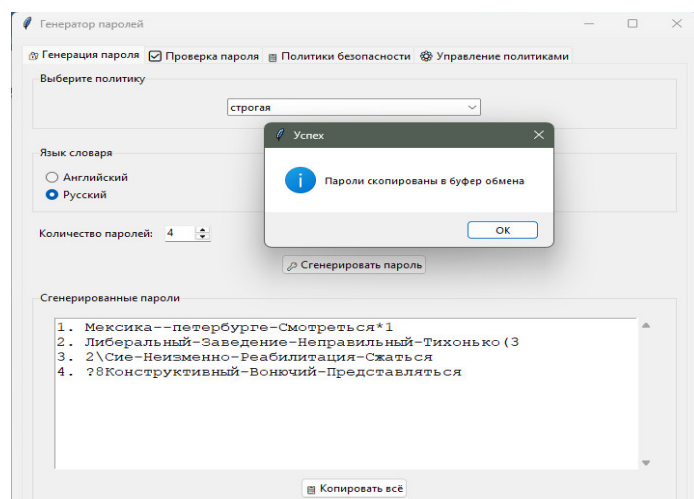


Рис. 1. Генерация пароля

В окне «Политики безопасности» можно выбрать политику из выпадающего списка и посмотреть её параметры (рис. 2).

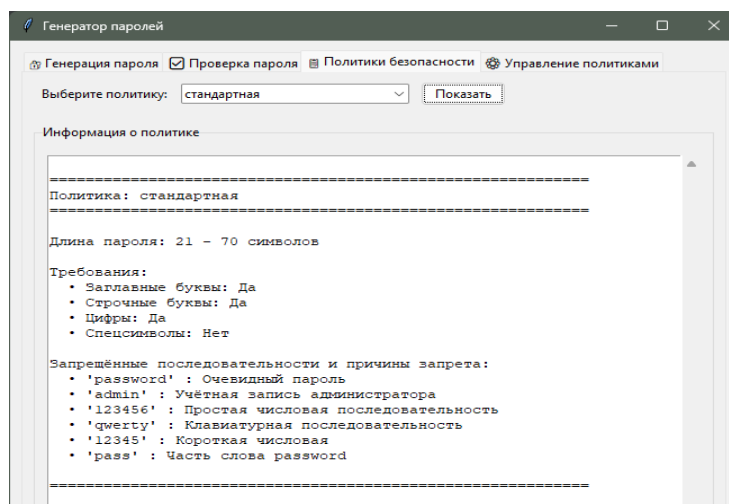


Рис. 2. Просмотр информации о политиках

В окне «Проверка пароля» пароль в поле ввода можно напечатать или вставить сочетанием клавиш Ctrl + V; пароль можно скрыть или показать. На рис. 3 показана проверка пароля, соответствующего выбранной политике безопасности.

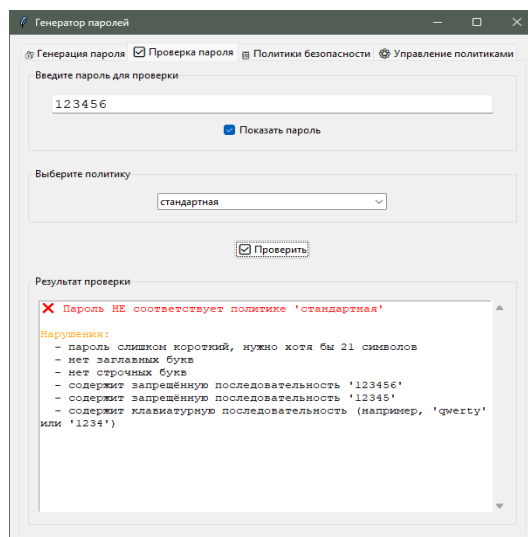


Рис. 3. Проверка пароля на соответствие политике

Заключение. В ходе выполнения работы были учтены требования ИБ ОАО РЖД к паролям, на основании которых были составлены три политики безопасности, диктующие требования к генерируемым паролям. Выявлены формальные критерии: минимальная и максимальная длина пароля, обязательное наличие символов разных классов (заглавные, строчные, цифры, специальные символы), запрет на использование определённых паролей, повторяющихся и клавиатурных последовательностей.

Исследованы принципы эргономики паролей, что позволило сформулировать подход к генерации парольных фраз из случайных слов с добавлением цифр и специальных символов.

При разработке были сформулированы функциональные и нефункциональные требования. Её тестирование показало, что она полностью им соответствует.

Генерация паролей происходит в среднем за 0,07 мс, пользователь имеет возможность сгенерировать как один, так и несколько паролей, на русском/английском языке. Выбор слов и символов для пароля производит криптографически стойкая библиотека secrets, генерация происходит на устройстве пользователя, и программа не передаёт сгенерированный пароль в другой сервис, программу или базу. В случае если пользователь вводит некорректные данные при использовании программой, этот ввод корректно обрабатывается, программа не прекращает свою работу и сообщает причину ошибки.

Написанию кода генератора эргономичных паролей предшествовали выбор архитектуры и средств разработки. По завершению, программа была протестирована, для того чтобы убедиться, что происходит корректная обработка всего пользовательского ввода, и все функции генератора эргономичных паролей работают корректно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Политика информационной безопасности / Falcongaze. – URL: <https://falcongaze.com/ru/pressroom/publications/politika-informacionnoj-bezopasnosti/politika-informacionnoj-bezopasnosti.html> (дата обращения: 01.04.2026).
- 2 Кибератаки 2026: статистика, векторы атак и главные уязвимости / Пассворк. – Автор статьи Анастасия Лебедева – 17 марта. – URL: <https://passwork.ru/blog/kiberataki-2026/> (дата обращения: 11.04.2026).
- 3 ФСТЭК. Руководящий документ. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации - 30 марта 1992 г. – URL: <https://fstec.ru/component/content/article?id=400:rukovodyashchij-dokument-gostekhkomiissiya-rossii-2003-god> (дата обращения: 02.04.2026).
- 4 Приказ ФСТЭК от 25 декабря 2017 г. № 239 об утверждении требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры российской федерации. URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-25-dekabrya-2017-g-n-239> (дата обращения: 05.04.2026).
- 5 Приказ ФСТЭК от 18 февраля 2013 г. № 21 об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных. URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse->

- dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-18-fevralya-2013-g-n-21 (дата обращения: 10.04.2026).
- 6 Требования о защите информации, содержащейся в государственных информационных системах, иных информационных системах государственных органов, государственных унитарных предприятий, государственных учреждений. Утверждены приказом ФСТЭК России от 11 апреля 2025 г. № 117. URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/trebovaniya-utverzhdeny-prikazom-fstek-rossii-ot-11-aprelya-2025-g-n-117> (дата обращения: 11.04.2026).
- 7 ФСТЭК. Методический документ «Меры защиты информации в государственных информационных системах». URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-11-fevralya-2014-g> (дата обращения: 12.04.2026).
- 8 NIST Password Guidelines / Netwrix. – URL: <https://netwrix.com/en/resources/blog/nist-password-guidelines/> (дата обращения: 20.04.2026).

ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ, МИНИМИЗАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ

Д. А. Эздеков¹, М. Н. Федоров², И. Л. Сандлер³

Введение. Изучение алгебры логики предполагает освоение методов представления, преобразования и минимизации булевых функций, применяемых при анализе и проектировании логических схем [1, 2]. При числе переменных более трёх ручное выполнение соответствующих операций становится трудоёмким и сопряжено с высокой вероятностью ошибок [3]. Программные средства, снижающие затраты на рутинные этапы вычислений, востребованы как при проведении лабораторных занятий, так и при самостоятельной подготовке [4-6].

Существующие инструменты, как правило, реализуют одну из операций без возможности последовательного прохождения всей цепочки преобразований в едином интерфейсе. Разработка системы, объединяющей генерацию, нормализацию и минимизацию с визуализацией через карту Карно, восполняет обозначенный пробел.

Цель работы: разработка интерактивной системы, охватывающей полный цикл операций с булевыми функциями, от генерации выражений и приведения к нормальным формам до минимизации и визуального представления результатов, применимой при изучении алгебры логики.

Основная часть. Настоящая работа продолжает серию публикаций, посвящённых программным реализациям операций над булевыми функциями [7, 8]. Интерфейс программы «Генератор булевых функций» реализован с применением языка программирования Rust, в качестве среды разработки использован RustRover.

Под заголовком расположена горизонтальная панель с восемью вкладками: «Выражение», «Таблица», «ДНФ/КНФ», «Минимизация», «Ввод», «Карно», «Настройки» и «Справка», внешний вид которых приведён на рис. 1-8. На главном экране, изображённом на рис. 1, в центральной области отображается сгенерированное выражение, а в нижней части выводятся перечень переменных, число минтермов и минимизированная форма функции.

¹ Эздеков Дамир Азаматович – студент группы ИСТб-41, ЭТФ

² Федоров Максим Николаевич – студент группы ИСТб-41, ЭТФ

³ Сандлер Илья Львович – старший преподаватель кафедры «Цифровые технологии»

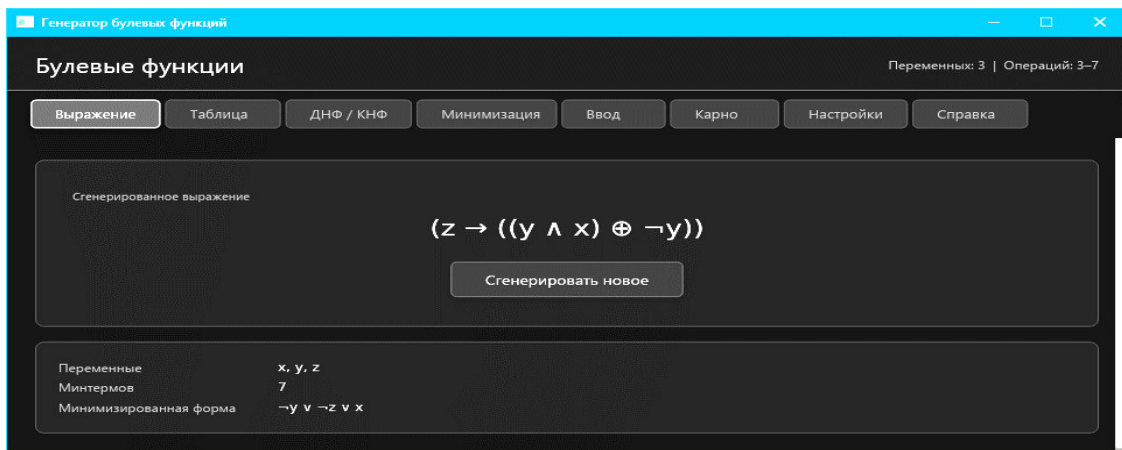


Рис. 1. Внешний вид главного экрана (вкладки «Выражение») приложения «Генератор булевых функций»

Булевы функции

Переменных: 3 | Операций: 3-7

Выражение Таблица ДНФ / КНФ Минимизация Ввод Карно Настройки Справка

Таблица истинности

$(z \rightarrow ((y \wedge x) \oplus \neg y))$

x	y	z	f
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Рис. 2. Внешний вид вкладки «Таблица» приложения «Генератор булевых функций»

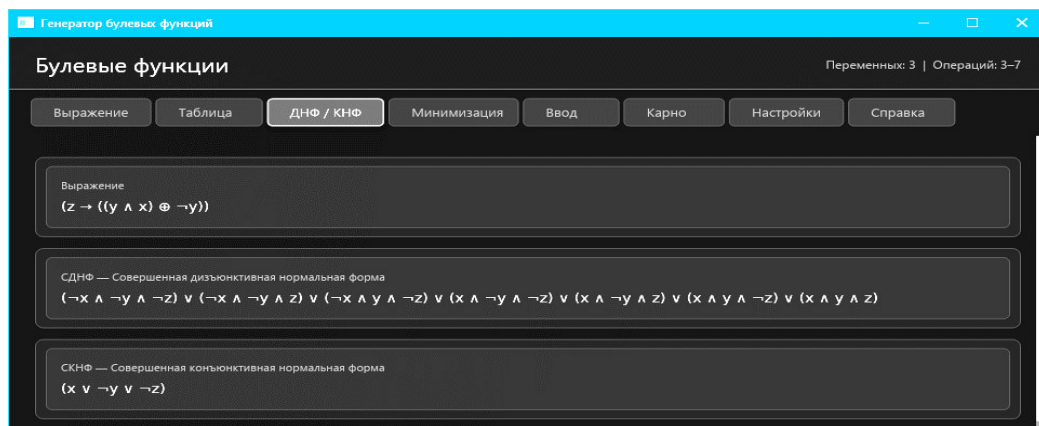


Рис. 3. Внешний вид вкладки «ДНФ/КНФ» приложения «Генератор булевых функций»

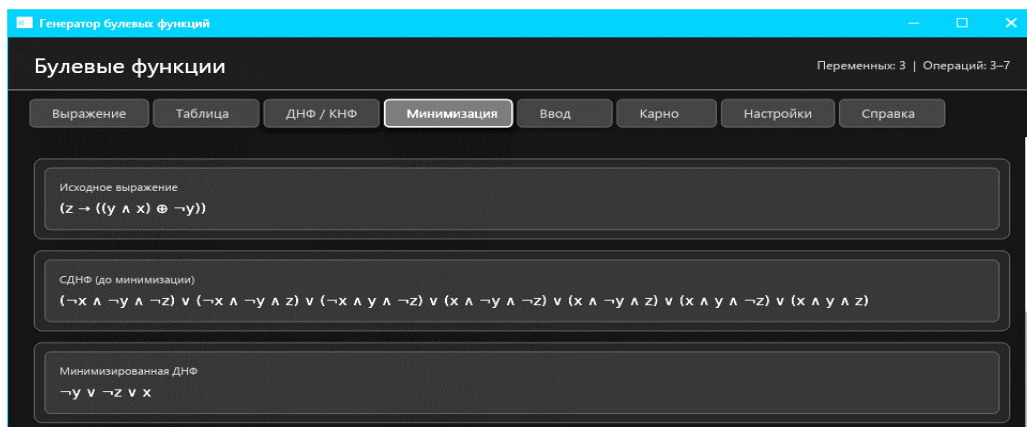


Рис. 4. Внешний вид вкладки «Минимизация» приложения «Генератор булевых функций»

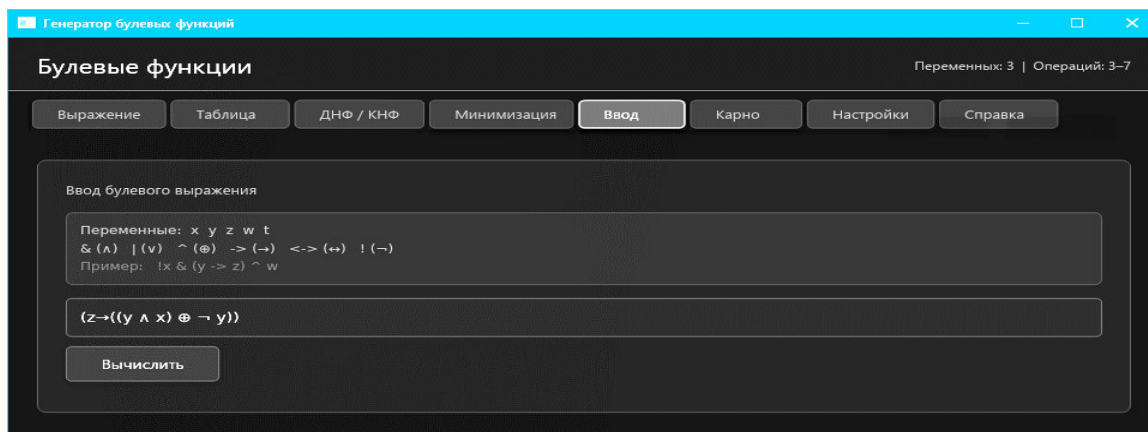


Рис. 5. Внешний вид вкладки «Ввод» приложения «Генератор булевых функций»

Вкладка «Карно», изображённая на рис. 6, реализует визуальный способ минимизации булевой функции, альтернативный алгебраическому методу, представленному на рисунке 4. Карта отображается для числа переменных от 2 до 5; переключение выполняется кнопками в верхней части раздела. Ячейки карты интерактивны: щелчок переключает значение между 0 и 1, что позволяет задавать функцию непосредственно через карту без предварительного ввода выражения. Под картой выводятся числа минтермов и макстермов, а также результаты минимизации в трёх формах: минимальная ДНФ, СДНФ и СКНФ.

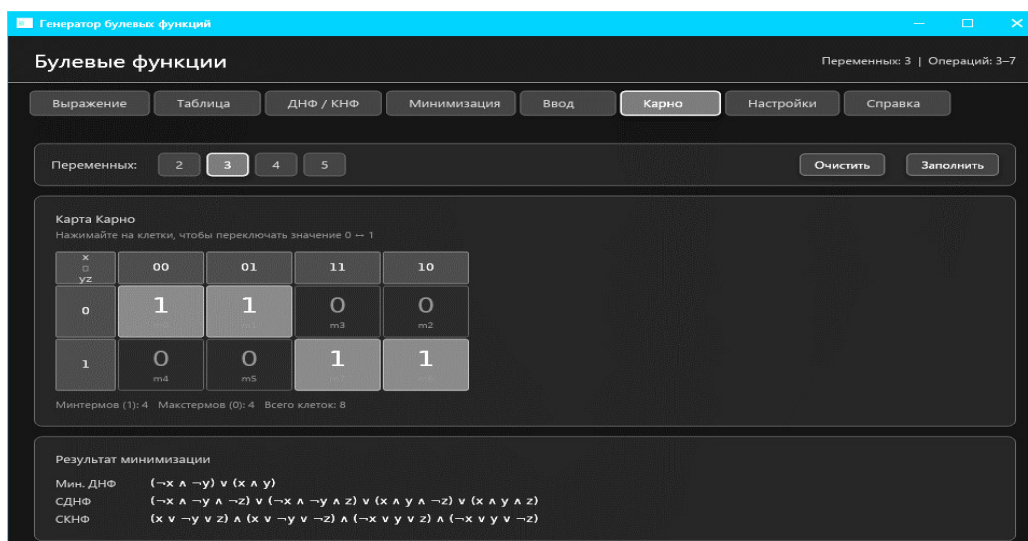


Рис. 6. Внешний вид вкладки «Карно» приложения «Генератор булевых функций»

Вкладка «Настройки», представленная на рис. 7, управляет параметрами, по которым система строит выражения во вкладке «Выражение». Ползунки верхнего блока задают число переменных, а также нижнюю и верхнюю границы количества операций в генерируемых выражениях. Нижний блок содержит набор кнопок для включения логических операций, доступных при генерации. Поддерживаются все стандартные двухместные операции и отрицание: AND, OR, XOR, IMPL, EQV, NOR, NAND, INH-A, INH-B и NOT. Состав активных операций определяет сложность генерируемых выражений, что позволяет настроить систему под конкретную учебную задачу.



Рис. 7. Внешний вид вкладки «Настройки» приложения «Генератор булевых функций»

Вкладка «Справка», изображённая на рис. 8, служит вспомогательным разделом при работе с остальными функциями приложения, в частности при ручном вводе выражений во вкладке «Ввод». Основная область содержит таблицу всех булевых функций двух переменных: для каждой функции приведены порядковый номер, символическое обозначение и формальное описание; строки упорядочены по возрастанию числа единиц в выходной функции.

№	Символ	Название	Описание
F ₁	0	Константа нуля	Всегда 0
F ₂	$\wedge$	Конъюнкция	$A \wedge B$
F ₃	$\nrightarrow$	Запрет по B	$A \wedge \neg B$
F ₄	A	Повторение A	Тождественная функция
F ₅	$\nwarrow$	Запрет по A	$\neg A \wedge B$
F ₆	B	Повторение B	Тождественная функция
F ₇	$\oplus$	Исключающее ИЛИ	Сумма по mod 2
F ₈	$\vee$	Дизъюнкция	$A \vee B$
F ₉	$\downarrow$	Стрелка Пирса (NOR)	$\neg(A \vee B)$
F ₁₀	$\leftrightarrow$	Эквивалентность	$A = B$
F ₁₁	$\neg$	Отрицание	$\neg A$
F ₁₂	$\rightarrow$	Импликация	$\neg A \vee B$
F ₁₃	$ $	Штрих Шеффера (NAND)	$\neg(A \wedge B)$
F ₁₄	1	Константа единицы	Всегда 1

Рис. 8. Внешний вид вкладки «Справка» приложения «Генератор булевых функций»

Заключение. В ходе выполнения работы реализована интерактивная система «Генератор булевых функций», объединяющая в едином приложении полный цикл операций над булевыми выражениями [7, 8]. Восемь функциональных разделов последовательно проводят пользователя по полному циклу анализа функции: от генерации выражения до его минимизации и наглядного представления через карту Карно.

Реализованный инструмент снижает трудоёмкость ручных вычислений при работе с функциями от двух до пяти переменных; возможность настройки числа переменных и набора допустимых операций позволяет варьировать сложность генерируемых выражений под конкретную учебную задачу [4-6].

Приложение применимо в учебном процессе при изучении алгебры логики и дискретной математики, а интерактивный формат работы с выражениями делает его пригодным для самостоятельной подготовки к практическим и лабораторным занятиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тюрин, С. Ф. Дискретная математика: Практическая дискретная математика и математическая логика / С. Ф. Тюрин, Ю. А. Аляев. – Москва: Финансы и статистика, 2010. – 385 с. – ISBN 978-5-279-03463-5. – EDN SUPXYT.
- 2 Тишин, В. В. Дискретная математика в примерах и задачах / В. В. Тишин. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 352 с. – ISBN 978-5-9775-0232-0. – EDN SDPQNZ.
- 3 Математика. Дискретная математика : Учебник / В. Ф. Золотухин, В. В. Ольшанский, С. В. Мартемьянов [и др.]. – Ростов-на-Дону: Институт водного транспорта имени Г.Я. Седова – филиал «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», 2016. – 129 с. – EDN YQWKVL.
- 4 Горюшкин, А. П. О применении компьютерной техники при изучении дисциплины "дискретная математика" / А. П. Горюшкин // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом вузе: Материалы XIII Всероссийской научно-методической конференции, Омск, 05–06 апреля 2024 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 20-21. – EDN CQRAFL.
- 5 Можей, Н. П. Изучение дискретной математики с применением информационных технологий / Н. П. Можей // Современные информационные технологии в образовании: МАТЕРИАЛЫ XXXI КОНФЕРЕНЦИИ, Троицк-Москва, 02–03 июля 2020 года. – Троицк-Москва: Фонд новых технологий в образовании "Байтик", 2020. – С. 209-211. – EDN JALBVC.
- 6 Водолад, С. Н. Методические особенности использования визуализаторов в преподавании дискретной математики / С. Н. Водолад // Актуальные исследования в области математики, информатики, физики и методики их изучения в современном образовательном пространстве : результаты исследований в области математики, информатики, физики и методики их изучения при реализации образовательных программ высшего образования. Том Выпуск 2. – Курск: Курский государственный университет, 2017. – С. 30-33. – EDN XVUSLZ.
- 7 Эздеков, Д.А. Программная реализация вычисления булевых функций по заданной таблице истинности / Д. А. Эздеков, М. Н. Федоров, П. А. Иваняев, А. П. Припутников // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 2. – С. 110-114. – EDN NWSOKS.
- 8 Федоров, М. Н. Программная Реализация настраиваемого генератора булевых функций / М. Н. Федоров, Д. А. Эздеков, А. П. Припутников // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 2. – С. 95-99. – EDN LDIAW.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РАБОТЫ ШИФРА АТБАШ НА ЯЗЫКЕ JAVA

И. Ю. Бакалдин¹, А. Ю. Пещеров², И. А. Тимофеев³, Ю. В. Скибин⁴

Введение. Шифр Атбаш представляет собой алгоритм симметричной подстановки, при котором каждый символ алфавита заменяется символом, находящимся на симметричной позиции с противоположного конца упорядоченного ряда [1]. Изучение подобных схем закладывает понимание базовых принципов криптографических преобразований и готовит к освоению более сложных методов защиты информации.

Освоить логику шифра по теоретическому описанию нетрудно, но проследить, как именно преобразуется конкретная строка, значительно проще при наличии работающей программы. Инструмент, воспроизводящий алгоритм в интерактивном режиме, полезен как при самостоятельной подготовке, так и на занятиях, где преподаватель может применять его для демонстрации принципа работы шифра и проверки выполненных заданий.

Для реализации выбран язык Java как кроссплатформенный и широко применяемый в учебных дисциплинах по информационным технологиям.

Цель работы: разработка программного приложения на языке Java, наглядно демонстрирующего работу шифра Атбаш.

Основная часть. В ходе работы проведён анализ принципа работы шифра Атбаш [1]. Алгоритм основан на следующем преобразовании: для символа с индексом i в алфавите длиной n

¹ Бакалдин Иван Юрьевич – студент группы ПИБ-41, ЭТФ

² Пещеров Алексей Юрьевич – студент группы ПИБ-41, ЭТФ

³ Тимофеев Иван Александрович – студент группы ПИБ-41, ЭТФ

⁴ Скибин Юрий Викторович – к.э.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

результатирующий символ имеет индекс $n-1-i$, что обеспечивает взаимно однозначное отображение каждого символа на его зеркальный аналог. Поскольку прямое и обратное преобразования совпадают, одна и та же операция используется как для шифрования, так и для дешифрования.

Для реализации приложения использовались язык программирования Java и библиотека Java Swing, предназначенная для построения графического интерфейса пользователя [2, 3]. Программа обеспечивает корректную обработку символов различного регистра, при этом пробелы и знаки пунктуации при преобразовании сохраняются без изменений. Аналогичный подход к программной реализации алгоритмов шифрования рассмотрен в работе [5].

Фрагмент программной реализации приведён на рис. 1. Архитектура построена на принципах объектно-ориентированного программирования [4]: алфавиты представлены в виде отдельных объектов, а вспомогательный метод `getAlphabet` определяет принадлежность каждого входного символа к одному из поддерживаемых алфавитов. Если символ не распознан ни в одном из них, он передаётся в результирующую строку без изменений. Основным методом `atbash` обходит входной текст посимвольно, вычисляет зеркальный индекс и формирует выходную строку через объект `StringBuilder`.

Пользовательский интерфейс приложения, изображённый на рис. 2, содержит поле ввода исходного текста и поле отображения результата преобразования. После ввода текста и нажатия кнопки шифрования результат отображается немедленно, что позволяет проследить работу алгоритма на конкретном примере без дополнительных действий. Кнопка очистки обеспечивает сброс содержимого обоих полей без перезапуска программы, что удобно при последовательной проверке нескольких текстов.

```
184 public static String atbash(String text) {
185     StringBuilder result = new StringBuilder();
186
187     for (int i = 0; i < text.length(); i++) {
188         char c = text.charAt(i);
189         Alphabet alphabet = getAlphabet(c);
190
191         if (alphabet == null) {
192             result.append(c);
193             continue;
194         }
195
196         int index = alphabet.alphabet.indexOf(c);
197         int mirroredIndex = alphabet.alphabet.length() - 1 - index;
198
199         result.append(alphabet.alphabet.charAt(mirroredIndex));
200     }
201
202     return result.toString();
203 }
204
205 private static int normalize(int value, int length) {
206     return ((value % length) + length) % length;
207 }
208
209 private static Alphabet getAlphabet(char c) {
210     if (LATIN_UPPER.indexOf(c) != -1) return new Alphabet(LATIN_UPPER);
211     if (LATIN_LOWER.indexOf(c) != -1) return new Alphabet(LATIN_LOWER);
212     if (CYR_UPPER.indexOf(c) != -1) return new Alphabet(CYR_UPPER);
213     if (CYR_LOWER.indexOf(c) != -1) return new Alphabet(CYR_LOWER);
214     return null;
215 }
```

Рис. 1. Фрагмент программной реализации, демонстрирующий основную логику работы программы



Рис. 2. Результаты работы программного обеспечения, шифрование кириллической графики

Закключение. В ходе выполнения работы реализовано программное приложение на языке Java, предназначенное для демонстрации работы шифра Атбаш. Графический интерфейс построен с применением библиотеки Java Swing [2, 3], результат преобразования отображается сразу после нажатия кнопки шифрования. Пробелы и знаки пунктуации при преобразовании сохраняются, символы различного регистра обрабатываются корректно.

На занятиях приложение удобно при объяснении принципа работы шифра. Студент может использовать его для самостоятельной проверки написанной реализации алгоритма.

Дальнейшее развитие работы предполагает расширение поддерживаемых приложением алфавитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гераскин, Н. К. Некоторые методы криптографии / Н. К. Гераскин, А. Н. Тимофеев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VII международной научно-практической конференции, Саратов, 18 апреля 2016 года / Под общей редакцией Трушкина В.А. – Саратов: ООО "Центр социальных агроинноваций СГАУ", 2016. – С. 27-30. – EDN XGQOFZ.
- 2 Кожомбердиева, Г. И. Программирование на языке Java: создание графического интерфейса пользователя: учебное пособие / Г. И. Кожомбердиева, М. И. Гарина; Г.И. Кожомбердиева, М.И. Гарина. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2012. – 67 с. – ISBN 978-5-7641-0402-7. – EDN TASMJB.
- 3 Блинов, И. Н. Java. Методы программирования: Учебно-методическое пособие / И. Н. Блинов, В. С. Романчик. – Минск: «Четыре четверти», 2013. – 896 с. – ISBN 978-985-7058-30-3. – EDN BLOIAW.
- 4 Финогенов, О. А. Функциональное программирование в объектно-ориентированном языке Java / О. А. Финогенов // Студенческий. – 2021. – № 1-1(129). – С. 43-45. – EDN XARWFX.
- 5 Создание компьютерной программы для шифрования текстовой информации / К. С. Ачекеев, У. Т. Керимов, А. Б. Салижанова, У. Б. Салижанова // Известия ВУЗов Кыргызстана. – 2022. – № 2. – С. 45-47. – EDN KUZDZS.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА ШИФРА ВИЖЕНЕРА НА ЯЗЫКЕ JAVA

И. Ю. Бакалдин¹, А. Ю. Пещеров², И. А. Тимофеев³, Ю. В. Скибин⁴

Введение. Шифр Виженера относится к классическим алгоритмам полиалфавитного шифрования: каждый символ открытого текста смещается на величину, определяемую соответствующим символом ключевого слова, причём ключ циклически повторяется на протяжении всего сообщения [1]. В отличие от простых методов замены, при полиалфавитном шифровании одинаковые символы открытого текста могут давать различные символы шифртекста в зависимости от позиции, что существенно затрудняет частотный анализ.

Изучение подобных алгоритмов входит в подготовку специалистов в области информационных технологий и информационной безопасности [2]. Понять принцип работы шифра по теоретическому описанию нетрудно, однако отследить, как именно изменяется каждый символ при конкретном ключе, значительно проще при наличии работающей программы. Возможность задавать произвольное ключевое слово и наблюдать, как его изменение влияет на результат, делает изучение шифра Виженера более осмысленным по сравнению с алгоритмами без ключа. Приложение, воспроизводящее шифрование и дешифрование в интерактивном режиме, полезно как при самостоятельном изучении, так и на занятиях при демонстрации работы алгоритма.

Для реализации выбран язык Java как кроссплатформенный и широко применяемый в учебных дисциплинах по информационным технологиям [3].

Цель работы: разработка программного приложения на языке Java, наглядно демонстрирующего шифрование и дешифрование текста по алгоритму Виженера.

Основная часть. В ходе работы проведён анализ принципа работы шифра Виженера [1]. Алгоритм относится к полиалфавитным методам шифрования: каждый символ исходного текста смещается в зависимости от соответствующего символа ключевого слова, благодаря чему одинаковые символы могут шифроваться по-разному в зависимости от позиции в тексте. Смена ключевого слова при одном и том же входном тексте даёт различный результат, что наглядно прослеживается при работе с приложением. Подходы к программной реализации шифра Виженера рассмотрены в работах [4, 5].

Для реализации приложения использовались язык программирования Java и библиотека Swing, предназначенная для построения графического интерфейса пользователя [3]. Программа обрабатывает текст на кириллице и латинице с учётом регистра символов. Пробелы и знаки пунктуации при преобразовании сохраняются без изменений. Логика шифрования отделена от интерфейса на основе объектно-ориентированного подхода.

Фрагмент программной реализации, демонстрирующий основную логику работы алгоритма, представлен на рис. 1. В коде определены строковые константы для каждого из поддерживаемых алфавитов: прописные и строчные символы латиницы и кириллицы. Принадлежность каждого входного символа к алфавиту определяется последовательной проверкой по этим константам, что обеспечивает корректную обработку текстов смешанного состава. Основная часть кода отвечает за обработку входного текста и выполнение операций шифрования и дешифрования: символы исходного текста последовательно смещаются в зависимости от букв ключевого слова, после чего результат передаётся в область вывода интерфейса.

Пользовательский интерфейс приложения, изображённый на рис. 2, содержит поле ввода исходного текста, поле для ключевого слова и область отображения результата. После ввода данных и нажатия кнопки шифрования в области результата одновременно выводятся зашифрованный и расшифрованный варианты текста, что позволяет убедиться в корректности обратного преобразования непосредственно в процессе работы. Кнопка очистки обеспечивает

¹ Бакалдин Иван Юрьевич – студент группы ПИБ-41, ЭТФ

² Пещеров Алексей Юрьевич – студент группы ПИБ-41, ЭТФ

³ Тимофеев Иван Александрович – студент группы ПИБ-41, ЭТФ

⁴ Скибин Юрий Викторович – к.э.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

сброс всех полей без перезапуска программы, что удобно при последовательной проверке различных комбинаций текста и ключевого слова.

```
1 package ciphercalc;
2
3 import javax.swing.*;
4 import java.awt.*;
5
6 public class CipherCalc {
7
8     private static final String LATIN_UPPER = "ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ";
9     private static final String LATIN_LOWER = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz";
10    private static final String CYR_UPPER = "АБВГДЕЖЗИЙКЛМНОПРСТУФХЦЧШЩЪЫЬЭЮЯ";
11    private static final String CYR_LOWER = "абвгдеёжзийклмнопрстуфхцчщъыьэюя";
12
13    public static void main(String[] args) {
14        SwingUtilities.invokeLater(CipherCalc::createWindow);
15    }
16
17    private static void createWindow() {
18
19        JFrame frame = new JFrame("CipherCalc – шифры");
20        frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
21        frame.setSize(600, 500);
22        frame.setLocationRelativeTo(null);
23
24        JTextArea inputArea = new JTextArea(5, 30);
25        inputArea.setLineWrap(true);
26        inputArea.setWrapStyleWord(true);
27
28        JTextField keyField = new JTextField(20);
29
30        JTextArea resultArea = new JTextArea(8, 30);
31        resultArea.setEditable(false);
32        resultArea.setLineWrap(true);
33        resultArea.setWrapStyleWord(true);
34
35        JButton vigenereButton = new JButton("Шифр Виженера");
36        JButton atbashButton = new JButton("Шифр Атбаш");
37        JButton clearButton = new JButton("Очистить");
38
39        JPanel mainPanel = new JPanel();
40        mainPanel.setLayout(new BorderLayout(mainPanel, BorderLayout.Y_AXIS));
41        mainPanel.setBorder(BorderFactory.createEmptyBorder(20, 20, 20, 20));
```

Рис. 1. Фрагмент программной реализации, демонстрирующий основную логику работы программы

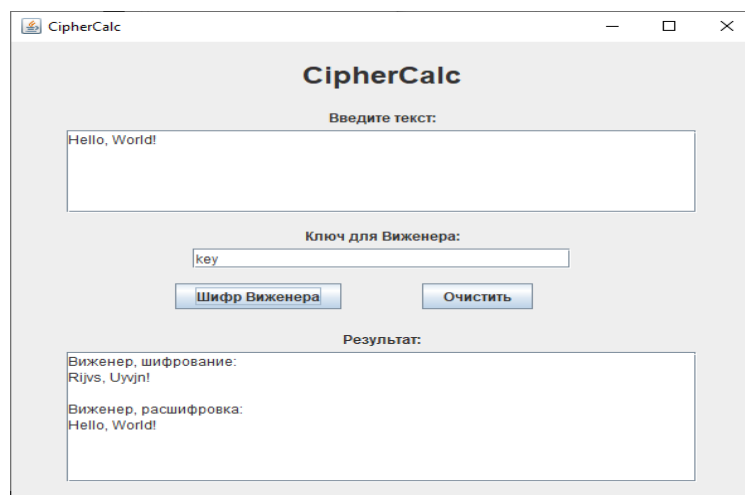


Рис. 2. Результаты работы программного обеспечения, шифрование и дешифрование латинской графики

Закключение. В ходе выполнения работы реализовано программное приложение на языке Java, предназначенное для демонстрации работы шифра Виженера. Графический интерфейс построен с применением библиотеки Swing [3], результат шифрования и дешифрования отображается сразу после нажатия кнопки. Программа обрабатывает текст на кириллице и латинице, пробелы и знаки пунктуации при преобразовании сохраняются.

На занятиях приложение удобно при объяснении принципа полиалфавитного шифрования. Студент может использовать его для самостоятельного анализа зависимости результата от выбранного ключевого слова. При необходимости функциональность приложения может быть дополнена поддержкой других алгоритмов шифрования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Попов, И. Н. Шифр Виженера: классический и модифицированный / И. Н. Попов // Обучение фрактальной геометрии и информатике в вузе и школе в свете идей академика А.Н. Колмогорова: Материалы 4-й Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, Кострома, 04–06 декабря 2025 года. – Кострома: Костромской государственный университет, 2025. – С. 178-183. – EDN JIZWBK.

- 2 Адаев, Р. Б. Программная реализация шифрования текстовых фраз / Р. Б. Адаев // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 11(83). – С. 172-180. – EDN BLNBXD.
- 3 Кожомбердиева, Г. И. Программирование на языке Java: создание графического интерфейса пользователя: учебное пособие / Г. И. Кожомбердиева, М. И. Гарина; Г.И. Кожомбердиева, М.И. Гарина. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2012. – 67 с. – ISBN 978-5-7641-0402-7. – EDN TASMJB.
- 4 Максименко, М. Н. Шифр Виженера: программная реализация / М. Н. Максименко, Т. Е. Пуриц // Информационные технологии и математические методы в экономике и управлении (ИТиММ-2024) : Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции имени А.И. Китова. В 3-х томах, Москва, 14–15 марта 2024 года. – Москва: Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 2024. – С. 28-35. – EDN IEZMCA.
- 5 Чекашкин, А. В. Алгоритм шифра Виженера и его программная реализация / А. В. Чекашкин // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее : Сборник научных статей 8-й Всероссийской молодежной научной конференции, Курск, 16–17 октября 2025 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2025. – С. 318-321. – EDN UETNYX.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТОКОЛА NMEA В ЗАДАЧАХ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ И НАВИГАЦИИ

К. А. Ключкова¹, М. В. Французова², В. А. Фатеев³

Введение. В современной транспортной логистике внедрение беспилотных технологий является приоритетным направлением, направленным на повышение безопасности и эффективности перевозок [6]. Для таких лидеров отрасли, как ОАО «РЖД», реализация автономного движения поездов невозможна без точных навигационных данных, поступающих от спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС. Ключевую роль в этом процессе играет протокол NMEA 0183 – стандарт, обеспечивающий передачу координат и параметров движения в информационные системы управления [3, 5]. В данной работе рассматриваются технические аспекты парсинга сообщений NMEA через интерфейс UART, алгоритмы обработки данных и практические возможности применения протокола для мониторинга, контроля геозон и развития систем автономной навигации.

Основная часть. Актуальность для транспортной отрасли: ОАО "РЖД", как лидер рынка перевозок, стремится к модернизации и внедрению передовых технологий. Одним из таких направлений является развитие беспилотного транспорта, что соответствует мировым тенденциям повышения безопасности и эффективности [6]. Для реализации автономного движения поездов критически важна точная навигация, получаемая от спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС в формате NMEA.

Теоретические основы протокола NMEA 0183: Протокол NMEA 0183 является стандартом де-факто для передачи данных от навигационных устройств [3, 4]. Его сообщения – это строки ASCII, начинающиеся с символа "\$", содержащие идентификатор источника (например, GP для GPS, GL для ГЛОНАСС) и тип сообщения [5]. Для логистических задач наиболее значимы следующие типы сообщений [3, 4]:

- RMC: содержит информацию о времени, статусе достоверности данных, широте, долготе, скорости и курсе;
- GGA: предоставляет координаты, количество видимых спутников и высоту над уровнем моря;
- GLL: включает широту, долготу и время.

Считывание и обработка координат: Координаты в NMEA представлены в формате "градусы и минуты" (ГГММ.МММММ для широты, ГГГММ.МММММ для долготы) [1, 4]. Для

¹ Ключкова Кира Андреевна – студент группы ПИБ-51, ЭТФ

² Французова Маргарита Владиславовна – студент группы ПИБ-51, ЭТФ

³ Фатеев Владимир Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

преобразования в десятичные градусы используется формула: десятичные градусы = градусы + (минуты / 60) [2]. Достоверность навигационных данных определяется по полю статуса в сообщении RMC (символ 'A' указывает на достоверность) [4].

Техническая реализация парсинга: Передача данных осуществляется через последовательный порт UART со стандартными параметрами (4800 бод, 8 бит данных, 1 стоп-бит) [3]. Процесс парсинга реализуется на основе конечного автомата, который последовательно выполняет следующие шаги: ожидание стартового символа '\$', накопление заголовка сообщения, прием полей данных, и, наконец, проверку контрольной суммы после символа '*' [1]. По окончании приема сообщения производится проверка правильности принятого сообщения. После этого, производится выделение отдельных полей, разделенных запятыми [2].

В транспортной логистике протокол NMEA 0183 используется достаточно широко для решения самых разных задач. Так, например, в задачах мониторинга местоположения с помощью этого протокола отслеживается географическое положение транспортных средств. Для этого существует отдельный класс устройств (трекеров), работа которых заключается в передаче NMEA-данных на сервер [4].

Задача контроля географических зон позволяет в автоматическом режиме осуществлять проверку нахождения транспортного средства в заранее определенной географической зоне. Любая попытка выхода за пределы зоны фиксируется и обрабатывается соответствующим алгоритмом. Контроль географической зоны обеспечивает соблюдение движения по маршруту [7].

Данные NMEA 0183 о перемещениях, полученные в течение длительного периода времени могут использоваться в качестве исходных для анализа. Результатом такого анализа может быть оптимизация логистических маршрутов за счет исключения или перестройки малоэффективных участков [5].

Еще одной задачей транспортной логистики с использованием данных NMEA 0183 является интеграция с диспетчерскими системами. При этом, появляется возможность отображать текущее положение транспортного средства на карте диспетчера и получать сведения о движении транспортного средства для дальнейшего составления отчетов [1].

Задача контроля скоростных режимов и безопасности позволяет в автоматическом режиме определять превышение скорости на некоторых участках маршрута [4]. Это возможно при использовании данных, содержащихся в поле RMC (поле скорости) сообщения NMEA 0183. Решение такой задачи является особенно критичным для железнодорожного транспорта при прохождении кривых малого радиуса или зон проведения ремонтных работ [7].

Используя данные NMEA 0183 можно сопоставлять их с профилем пути фиксирующем подъемы и спуски. Это дает возможность анализировать расход топлива и выбирать наиболее экономичный режим тяги [6].

Дальнейшие исследования возможностей протокола NMEA 0183 будут касаться вариантов использования его данных для реализации аппаратно-программного комплекса автономной навигации в беспилотных транспортных системах. Основными требованиями к программному модулю комплекса являются скорость обработки полученного сообщения (извлечение географических координат) и скорость расчета оптимального маршрута в зависимости от координат дорожной сети. В зависимости от вычислительной сложности алгоритмов и требований к объему используемой памяти, необходимо осуществить подбор аппаратной платформы для практической реализации комплекса автономной навигации.

Заключение. В ходе проведенного исследования был детально изучен протокол NMEA 0183 как основной источник данных для использования в комплексе автономной навигации. Данный комплекс планируется использовать в беспилотных транспортных системах. Анализ структуры протокола показал, что он способен обеспечить всеми необходимыми данными для решения задач транспортной логистики и навигации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Прием и парсинг NMEA-данных от GPS-приемника // Хабр: [сайт]. 2025. 13 авг. URL: Прием и парсинг NMEA-данных от GPS-приемника / Хабр (дата обращения: 20.04.2026).
- 2 Хорошо парсим NMEA0183 // Хабр : [сайт]. 2025. 12 дек. URL: <https://habr.com/ru/articles/975914/> (дата обращения: 21.04.2026).
- 3 Описание протокола NMEA 0183 // iarduino.ru: [вики-сайт]. URL: <https://wiki.iarduino.ru/page/NMEA-0183/> (дата обращения: 21.04.2026).
- 4 Описание NMEA протокола : [техническая документация] // ГНСС Системы : [сайт]. 2016. URL: <https://gnss.4du.ru/wp-content/uploads/2016/02/NMEA.pdf> (дата обращения: 24.04.2026).
- 5 Протокол NMEA 0183 для GPS/ГЛОНАСС систем // glonass-smart.ru: [сайт]. URL: <https://glonass-smart.ru/protokol-nmea.html> (дата обращения: 25.04.2026).
- 6 Беспилотники – уже часть нашей жизни. Вы это заметили? Часть 1 // Хабр: [сайт]. 2021. 14 дек. URL: <https://habr.com/ru/companies/singularis/articles/595563/> (дата обращения: 28.04.2026).
- 7 Как мы написали крутейший в мире автопилот для маневрового тепловоза // Хабр: [сайт]. 2020. 29 апр. URL: <https://habr.com/ru/companies/cognitivepilot/articles/499440/> (дата обращения: 29.04.2026).

РАЗРАБОТКА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЗАЩИЩЕННОГО P2P-МЕССЕНДЖЕРА ДЛЯ ДВУХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ПЛАТФОРМЕ JAVA

С. А. Кирсанов¹, А. В. Фомин², А. П. Припутников³

Введение. Современные системы обмена сообщениями (Telegram, WhatsApp*, VK Мессенджер, Яндекс Мессенджер) в большинстве случаев полагаются на централизованные серверы. Их серверные центры хранят метаданные переписки, а иногда и сами сообщения. Такая клиент-серверная архитектура создает риски утечки данных и несанкционированного доступа. Даже при использовании сквозного шифрования (E2EE) центральный сервер остается точкой контроля и потенциальной уязвимостью.

Альтернативой являются полностью децентрализованные системы [5]. В них связь устанавливается напрямую между клиентами. Такое решение обеспечивает максимальную конфиденциальность, но сопряжено с техническими трудностями: необходимость обхода NAT, динамическая смена IP-адресов, отсутствие единой точки для обмена контактными данными [1, 2].

Предлагаемый в статье сценарий взаимодействия упрощает протокол подключения и позволяет сосредоточиться на надежности прямого соединения и безопасности при передаче сообщений. Описана реализация защищенного P2P-мессенджера на языке Java, предназначенного для общения двух пользователей.

Цель работы: создание децентрализованного защищенного P2P-мессенджера для общения двух пользователей, позволяющего обмениваться сообщениями напрямую между двумя устройствами (без использования централизованных серверов).

Основная часть. P2P-мессенджер (Peer-to-Peer Messenger) – это тип мессенджера, который использует децентрализованную сеть для передачи сообщений между двумя подключенными пользователями в режиме on-line [5]. В отличие от широко-распространённых WhatsApp*, Viber* или Telegram, где все сообщения проходят через центральный сервер компании, P2P-мессенджер превращает каждый из двух подключаемых устройств в равноправный узел сети.

При создании приложения «Super Chack Messenger» решались следующие задачи:

- определение сетевых параметров подключаемых устройств,
- обеспечение прямого P2P-соединения между двумя устройствами,
- обеспечение повышенной безопасности передаваемых сообщений,
- автономность и кроссплатформенность приложения,
- простота использования для конечных абонентов,

¹ Кирсанов Степан Александрович – студент группы ПИБ-31, ЭТФ

² Фомин Алексей Валерьевич – студент группы ПИБ-31, ЭТФ

³ Припутников Алексей Петрович – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

– документирование и экспериментальная проверка программного продукта.

Каждый пользователь получает свой «почтовый адрес» в интернете – это комбинация публичного IP-адреса (например, 127.0.0.1) и номера порта (например, 45000), на котором программа слушает входящие соединения, как показано на примере созданного мессенджера (рис. 1).

Пользователи обмениваются этими адресами любым удобным способом (по телефону, в Telegram, по электронной почте или т.п.). Это одноразовая операция, заменяющая регистрацию на сервере.

Программа устанавливает прямое сетевое соединение между двумя адресами, используя технологии обхода NAT (UPnP, UDP hole punching), если компьютеры находятся за роутерами (рис. 2).

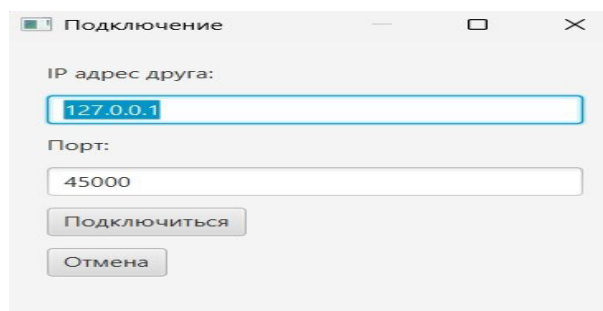


Рис. 1. Этап подключения

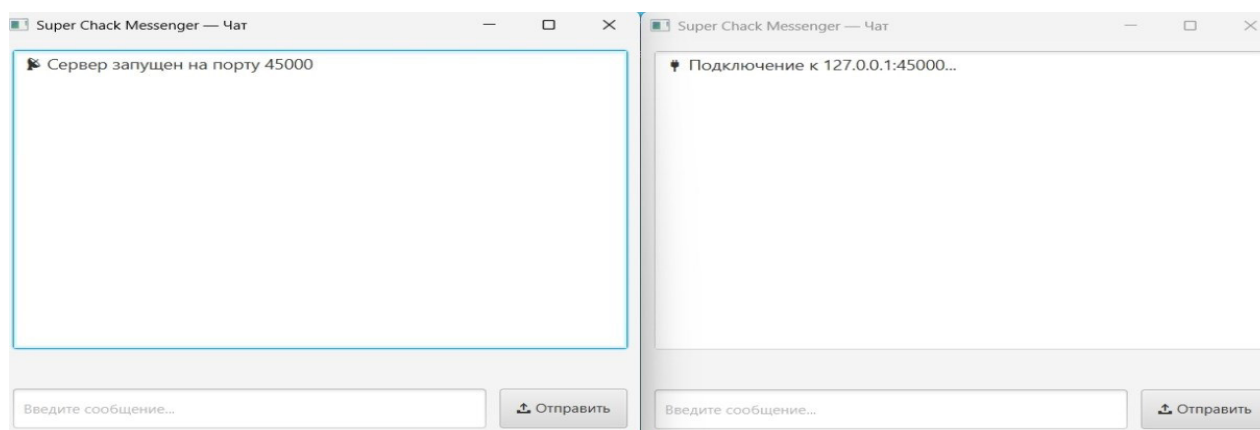


Рис. 2. Подключение успешно

Сообщения передаются напрямую – от отправителя к получателю, минуя любые сторонние серверы.

Технически для успешного соединения требуются три компонента:

1. Публичный IP-адрес – уникальный адрес устройства в глобальной сети. У большинства домашних пользователей он принадлежит роутеру, а не самому компьютеру, поэтому требуется обход NAT.
2. Свободный порт – программа должна «слушать» на определенном порту, который не занят другими приложениями. В разработанном решении порт выбирается автоматически из диапазона 45000-45020.
3. Механизм обхода NAT – чтобы запрос от друга проник через роутер к нужному компьютеру. Используются UPnP (автоматическое открытие порта на роутере) или UDP hole punching (техника «стук в дверь» через публичный STUN-сервер).

В отличие от классических клиент-серверных систем, здесь не нужны:

- выделенный хостинг или VPS,
- постоянное интернет-соединение с сервером,
- оплата облачных мощностей.

Преимущества P2P-подхода представлены в табл. 1, а недостатки и ограничения в табл. 2.

Таблица 1

Преимущества P2P-подхода и их пояснения

Преимущество	Пояснение
Полная конфиденциальность	Сообщения не хранятся на сервере, их невозможно перехватить в дата-центре. Даже провайдер видит только факт обмена пакетами, но не их содержимое (при использовании шифрования).
Независимость от внешних сервисов	Нет риска, что сервер будет заблокирован, отключен или взломан. Общение продолжается, пока оба участника онлайн.
Экономическая эффективность	Отсутствуют затраты на аренду серверов, оплату трафика, обслуживание инфраструктуры. Программа распространяется бесплатно.
Простота масштабирования	Система не требует увеличения мощностей при росте числа пользователей – каждый новый узел добавляет свои ресурсы.
Работа без интернета	В локальной сети (Wi-Fi Direct, Bluetooth) P2P-мессенджер может функционировать даже при отсутствии глобального интернета, что важно для чрезвычайных ситуаций.

Таблица 2

Недостатки и ограничения P2P-подхода

Недостаток	Пояснение	Способы смягчения
Сложность установки соединения	NAT и фаерволлы могут блокировать прямые подключения.	Использование UPnP, STUN, TURN; предоставление понятной инструкции по открытию порта.
Требование к обоим быть онлайн	Сообщения не сохраняются на сервере, поэтому если получатель офлайн, отправитель не может доставить сообщение.	Сообщения не сохраняются на сервере, поэтому если получатель офлайн, отправитель не может доставить сообщение.
Необходимость обмена адресами	Пользователи должны вручную передать друг другу свои IP и порт.	Это одноразовое действие; в перспективе можно автоматизировать через DHT или QR-коды.
Динамические IP	IP-адрес может меняться (например, после перезагрузки роутера).	Программа при каждом запуске показывает актуальный адрес, который нужно передать заново; можно использовать DDNS-сервисы.

Проводя тесты на подключение, получились результаты, что для домашних сетей с поддержкой UPnP или при ручной настройке порта соединение устанавливается в ~80 % случаев. При использовании UDP hole punching (через STUN) вероятность возрастает до 95 % при условии, что оба роутера не используют симметричный NAT. Для остальных 5 % может потребоваться ретранслятор (TURN).

P2P-мессенджер обладает выраженной экономической ценностью, особенно в контексте малого бизнеса, образовательных учреждений и частного использования:

1. Нулевые эксплуатационные расходы. Нет нужды арендовать сервера и платить за облачные мощности или покупать доменные имена. Вся инфраструктура – это компьютеры пользователей.
2. Отсутствие лицензионных отчислений. Программа распространяется бесплатно, не требует покупки лицензий, подходит для таких учреждений как: школы, библиотеки, некоммерческие проекты.
3. Снижение требований к интернет-каналу. Трафик идет только между двумя точками, нет избыточных передач на центральный сервер. Это экономит интернет-трафик, особенно актуально при лимитированных тарифах.
4. Возможность работы в изолированных сетях. В местах, где нет доступа к глобальной сети (удаленные объекты, полевые лагеря), P2P-мессенджер может функционировать через локальную Wi-Fi сеть или Bluetooth, обеспечивая связь без дополнительных затрат на спутниковый интернет.
5. Модель «скачал и пользуйся». Пользователю не нужно оплачивать подписку, покупать серверное время или разбираться в сложных настройках облака. Это снижает барьер входа и делает технологию доступной широкому кругу.

Закключение. В ходе работы была описана архитектура децентрализованного P2P-мессенджера для двух пользователей и реализована на языке Java. Основные достижения:

1. Разработаны модули автоматического определения сетевых параметров (IP, порт).
2. Реализован механизм выбора свободного порта с автоматическим перебором.
3. Создана переносимая версия приложения в виде EXE-файла, не требующая установки Java.
4. Проведено тестирование ключевых компонентов, подтвердившее их работоспособность в реальных условиях.

Направления дальнейших исследований:

1. Реализация сквозного шифрования (RSA/AES) с обменом ключами через внешний канал.
2. Интеграция библиотек ICE4J [3] для полноценной поддержки UDP hole punching.
3. Добавление графического интерфейса (JavaFX) для улучшения пользовательского опыта.
4. Расширение функционала: обмен файлами, история сообщений, статус «онлайн».
5. Создание версий для Linux и macOS с помощью jpackage [4].

Разработанный прототип может служить основой для дальнейших исследований в области децентрализованных коммуникаций и безопасного обмена информацией в условиях недоверия к централизованным сервисам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 RFC 5389: Session Traversal Utilities for NAT (STUN) – официальный стандарт протокола для обнаружения внешнего IP и типа NAT. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5389>
- 2 RFC 5766: Traversal Using Relays around NAT (TURN) – стандарт протокола-ретранслятора для случаев, когда прямое P2P-соединение невозможно. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5766>
- 3 ICE4J – библиотека на Java, реализующая методы обхода NAT (ICE, STUN, TURN). <https://github.com/jitsi/ice4j>
- 4 jpackage – официальный инструмент JDK для упаковки Java-приложений в нативные исполняемые файлы (например, .exe для Windows). <https://docs.oracle.com/en/java/javase/21/jpackage/>
- 5 G-P2P: Generalized Direct Connectivity – научная статья, предлагающая вероятностный метод для установления прямых P2P-соединений. <https://www.emergentmind.com/paper/g-p2p-generalized-direct-connectivity>

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ АНТЕНАТАЛЬНОМ ГИДРОНЕФРОЗЕ

А. Р. Кокин¹, О. А. Седашкина²

Введение. Врождённый гидронефроз (ВГН) выявляется у 1:500-1:1500 новорождённых [1] и требует своевременной диагностики. Существует алгоритм межпрофессионального взаимодействия, регламентирующий ведение беременных с расширением мочевыводящих путей у плода [2]. Многоступенчатый алгоритм охватывает пренатальные параметры (срок беременности, степень дилатации) и постнатальные данные (возраст ребёнка, динамику изменений). Оперативное воспроизведение алгоритма специалистами разных профилей затруднено, а отсутствие единого инструмента приводит к вариативности тактики [3].

В рамках работы разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм ведения пациентов с антенатально выявленным расширением мочевыводящих путей. Программа разработана на основе критериев расширения лоханки плода и вариантов маршрутизации, используемых пренатальным консилиумом перинатального центра. Критерии алгоритма представлены в табл. 1.

¹ Кокин Александр Романович – студент группы ПИБ-31, ЭТФ

² Седашкина Ольга Александровна – д.м.н., доцент кафедры ФП ФГБОУ ВО СамГМУ МЗ России

Таблица 1

Критерии алгоритма		
Этап	Критерий	Решение
I скрининг (11-14 нед)	>3 мм	Наблюдение
I скрининг	>7 мм	Консилиум + детский уролог
III триместр	>10 мм + чашечки/мочеточники	Консультация уролога
Любой срок	Двусторонний + дисплазия + кисты + маловодие	Предложение прерывания
Постнатально	Нарушение выделительной функции	Операция Хайнса-Андерсена

Основная часть. Программа написана на языке программирования Python с использованием библиотеки Tkinter. Программная архитектура включает модули данных и логики, а также модуль графического интерфейса. Главное окно программы, изображённое на рис. 1, разделено на зоны пренатальной и постнатальной оценки, а также панель управления.

Рис. 1. Главное окно программы

При нажатии кнопки «Пренатальная оценка» программа проверяет введенные данные по критериям из табл. 1 и выводит степень тяжести и рекомендацию. При наличии соответствующих критериев программа информирует о том, что пренатальный консилиум может обсуждать вопрос о прерывании беременности, подчёркивая, что окончательное решение остаётся за беременной женщиной. Кроме того, при выявлении расширения лоханки более 7 мм программа отображает состав пренатального консилиума.

Кнопка «Постнатальный план» [4] формирует рекомендацию по первому УЗИ через 72 часа после родов и определяет график контрольных УЗИ (каждые 3-6 месяцев до года, затем каждые 6 месяцев до 3 лет), а также возможность снятия с контроля.

Кнопка «Показания к операции» реализует принцип, закреплённый в клинической практике: конкретных размеров лоханки в качестве показания не существует. Единственным показанием служит нарушение выделительной функции. При его наличии программа рекомендует операцию Хайнса-Андерсена [1]. Пример работы всех алгоритмов продемонстрирован на рис. 2.

=====

а ПРЕНАТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА (по алгоритму ВГН)

=====

📌 Срок беременности: 20.0 недель
 📏 Расширение лоханки: 5.0 мм
 ➡ Степень: I/II/III

📌 Рекомендация:
 Показатели в пределах нормы

=====

б ПОСТНАТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ (по алгоритму ВГН)

=====

📌 Возраст: 6.0 месяцев
 📏 Размер лоханки: 4.0 мм

📌 Первое УЗИ (через 72 часа после родов):
☒ Постнатальное УЗИ: лоханка 4.0 мм – динамическое наблюдение

📌 План ведения:
 ➡ Уточнить вариант гидронефроза (широкая этиология)
 ⚠ Оценить морфо-функциональное состояние почек (исключить дисплазию)
 ⚠ Исключить нарушения уродинамики нижних мочевых путей
 ⚠ Исключить воспалительные изменения в мочевых путях
 ⚠ Контроль УЗИ каждые 3-6 месяцев (возраст 6.0 мес)
☒ Отмечается положительная динамика (>50% пациентов выздоравливают к 1 году)
 ➡ Высокий риск развития пиелонефрита (особенно у девочек)

=====

в ПОКАЗАНИЯ К ОПЕРАТИВНОМУ ЛЕЧЕНИЮ

=====

📌 Решение: Нарушение выделительной функции почек (контраст на 90-й минуте усилен) – операция Хайнса-Андерсена

📌 Детали:
 – Операция по методике Хайнса-Андерсена
 – Ренопротективное лечение в сочетании с операцией
 – Госпитализация в отделение урологии по федеральным стандартам

📌 Прогноз: выздоровление после операции в 91.4% случаев

➡ Важно: конкретных размеров лоханки в качестве показаний для операции не существует.
 Основной критерий – нарушение выделительной функции почек (контраст на 90-й минуте усилен).

Рис. 2. Результат работы алгоритмов

Заключение. В работе была представлена программа, реализующая алгоритм ведения пациентов с ВГН. ПО обеспечивает стандартизированную оценку пренатальных данных и персонализированное планирование наблюдения, а также чёткое определение показаний к операции. Использование программы способно снизить вариабельность тактики, сократив время на формирование заключения и повысив преемственность между специалистами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Клинические рекомендации "Гидронефроз" (одобрены Минздравом России) / [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс: [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_439376/8efd5f17af55cb35a770f73937590c642437b7eb/ (дата обращения: 02.03.2026).
- 2 Врожденный (антенатальный) гидронефроз-модифицируемый фактор риска хронической болезни почек у детей: междисциплинарный подход в контексте профилактики хронического заболевания (обзор литературы и собственные данные) / Г. Ю. Порецкова, О. А. Седашкина, Л. И. Мазур [и др.] // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2024. – Т. 103, № 1. – С. 66-76. – DOI 10.24110/0031-403X-2024-103-1-66-76. – EDN LKJWAN.
- 3 Лобач, А. Ю. Хирургическое лечение детей с рецидивом гидронефроза / А. Ю. Лобач, С. М. Шарков, О. С. Шмыров и др. // Российский педиатрический журнал. – 2024. – Т. 27, Приложение 3. – С. 174-176. – DOI 10.46563/1560-9561-2024-27-S3. – EDN IXCTDH.
- 4 Сергеева, С. В. Диагностика и лечение детей периода новорожденности и грудного возраста с тяжелой степенью гидронефроза (обзор литературы) / С. В. Сергеева // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 339-352. – DOI 10.17816/psaic681. – EDN OOPXLM.

УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕЩЕНИЕМ ГРУЗОВ В КОНТЕЙНЕРАХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Н. С. Рагулин¹, Ю. В. Скибин²

Введение. Современная контейнерная логистика, в том числе в системе РЖД, сталкивается с рядом системных ограничений: высокая доля ручного труда, субъективность визуального контроля, неоптимальное планирование размещения контейнеров на платформах и в штабелях, задержки из-за «человеческого фактора» и непредсказуемых изменений грузопотока. Приёмка контейнера, его сортировка на станции, расстановка на фитинговой платформе, управление очередями кранов [1-3] – все эти операции сегодня выполняются людьми с

¹ Рагулин Никита Сергеевич – студент группы ПИБ-31, ЭТФ

² Скибин Юрий Викторович – к.э.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

неизбежными ошибками и потерями времени.

Целью проекта является разработка и обоснование модели интеллектуальной системы управления размещением грузов в контейнерах на основе технологий искусственного интеллекта (компьютерное зрение, обучение с подкреплением, прогнозные нейросети), позволяющую: автоматизировать рутинные операции контроля и сортировки, снизить риски человеческих ошибок, повысить скорость обработки контейнеров на терминалах, оптимизировать использование площадей и ресурсов (краны, локомотивы, пути).

Основная часть. Внедрение искусственного интеллекта в процессы управления размещением грузов позволяет принципиально изменить ситуацию. Нейросетевые алгоритмы способны за доли секунды: провести полный визуальный контроль состояния контейнера (трещины, пломбы, маркировка), рассчитать оптимальную схему укладки контейнеров на платформе с учётом веса, габаритов и центра тяжести, спрогнозировать загрузку станции и предупредить перегрузки, скоординировать работу кранов и маневровых локомотивов без простоев [4, 5].

Рассмотрим, что происходит до внедрения нейросетей на объект и после.

1. Визуальный осмотр контейнера при приёмке

ДО: Приёмщик с фонариком и планшетом обходит контейнер пешком, ищет трещины, вмятины, сверяет номера пломб, проверяет маркировку. На один контейнер – 5-7 минут. Ошибки из-за усталости, плохого освещения, «замыленного глаза».

ПОСЛЕ: Камера на въезде/дрон за 2-3 секунды сканирует контейнер со всех сторон. Свёрточная нейросеть (CNN) автоматически находит микротрещины, несовпадение пломб, неправильную маркировку, даже следы протечек. 100 % объективность, 0 пропусков, скорость выросла в сотни раз.

2. Принятие решения о размещении контейнера на платформе (по весу и габаритам)

ДО: Диспетчер или крановщик «на глаз» и по опыту решает, куда поставить контейнер на фитинговой платформе. Часто возникают перекосы вагона, нарушение развесовки, потери места. Иногда грузы падают из-за неправильного центрирования.

ПОСЛЕ: Нейросеть с обучением с подкреплением (Deep Q-Network) за миллисекунды выдаёт 3D-схему размещения, оптимально распределяя вес, соблюдая центр тяжести и совместимость по направлениям. Платформа загружается плотно и безопасно, риски схода состава – к нулю.

3. Сортировка контейнеров на станции (расформирование / формирование поездов)

ДО: Составитель и крановщик физически переставляют контейнеры по ячейкам штабеля, руководствуясь бумажной накопительной ведомостью или голосовой командой диспетчера. Часто контейнер «зарывают» в глубину стека – потом тратят часы на перегрузку. Человек ошибается в очередности, создаёт лишние перемещения.

ПОСЛЕ: Графовая нейросеть (GNN) анализирует все контейнеры с их маршрутами и временем отправления, строит оптимальный план штабелирования и перестановок. Крановщик получает на планшет пошаговую инструкцию: «снять контейнер А, поставить в ряд В, следующий С – не трогать». Перестановок становится на 30-40 % меньше, простой поезда сокращается вдвое.

4. Прогнозирование загрузки станции и волн грузопотока

ДО: Диспетчер смотрит текущие заявки, график движения и телеграммы о ремонтах. Но не может предсказать резкий всплеск через 3 дня. В итоге на станции не хватает кранов, путей, людей – образуются километровые очереди контейнеров.

ПОСЛЕ: Нейросеть на основе LSTM/Transformer анализирует многолетнюю историю ЭТРАН: сезонность, погоду, праздники, дни недели, даже курс рубля (влияет на экспорт). За 72 часа выдает прогноз: «на станции Горький к вечеру четверга ожидается +45% контейнеров на Владивосток – срочно перебросить два козловых крана и расширить зону накопления». Риск внезапного коллапса почти исчезает.

5. Проверка пломб и выявление вскрытия / хищения

ДО: Человек сверил номер пломбы с накладной, дёрнул – целая. Но микро-надрез или подделку не заметит. Хищение обнаруживается только на станции назначения, когда груз уже

украден.

ПОСЛЕ: Камера высокого разрешения + нейросеть с распознаванием аномалий (автоэнкодер) сравнивает каждую пломбу с эталоном. Дополнительно – анализ изображения запорного узла: если был нештатный нагрев, пайка или надпил, ИИ выдаёт тревогу мгновенно. Воровство на маршруте сводится к абсолютному минимуму.

6. Управление очередями кранов и маневровых локомотивов

ДО: Крановщики и машинисты работают по командам диспетчера, часто конфликтуют за пути, ждут друг друга. Простои оборудования достигают 30-40 % рабочего времени.

ПОСЛЕ: Многопользовательское обучение с подкреплением (MARL) – каждый кран и локомотив – это интеллектуальный агент. Они координируются через облачную систему: нейросеть распределяет задания так, чтобы никто не простаивал, приоритет отдаётся срочным контейнерам. Производительность терминала растёт на 20-30 % без закупки новой техники.

7. Предотвращение человеческих ошибок при наведении на контейнер

ДО: Крановщик за стёклами кабины, на высоте 15 метров, вручную наводит спредер на контейнер. Риск удара, срыва строп, падения контейнера высок – особенно ночью или в туман.

ПОСЛЕ: Нейросеть компьютерного зрения с камер на кране в реальном времени определяет положение контейнера с точностью до сантиметра и даёт автопилоту команды. Человек только контролирует процесс. Аварийные столкновения и падения – на уровне статистической погрешности.

8. Оформление документов и коммуникация диспетчера с системой

ДО: Диспетчер вручную вбивает данные в ЭТРАН, сверяет номера, отвечает на телефонные звонки от клиентов. За смену – десятки рутинных операций, где легко ошибиться в цифре и отправить контейнер не туда.

ПОСЛЕ: Голосовой интеллектуальный помощник на базе NLP (BERT/GPT) – диспетчер просто говорит микрофону: «Контейнер RZDU 5678, заявка 123, поставь на поезд 488». Нейросеть сама находит нужную запись в ЭТРАН, проверяет совместимость и подтверждает действие. Ошибки устного ввода исключены, скорость обработки заявки – 3 секунды вместо 2 минут.

9. Обучение новых сотрудников

ДО: Наставник год обучает крановщика или составителя. Человек учится только на реальных ошибках, иногда дорогостоящих (повреждённый контейнер, сход вагона).

ПОСЛЕ: Имитационная среда на основе нейросетей – симулятор терминала с точными физикой и графиком. Новичок тренируется на виртуальных контейнерах, нейросеть оценивает каждое его действие и подсказывает оптимальное решение. Ошибки остаются в симуляции. В реальной работе стажер с первой смены действует почти без брака.

10. Реагирование на нештатные ситуации (сход, ураган, внезапный ремонт пути)

ДО: Диспетчер вручную пересчитывает маршруты, переставляет контейнеры, отменяет отправки – занимает часы, стресс, ошибки неизбежны.

ПОСЛЕ: Нейросеть в реальном времени перестраивает план размещения и сортировки за 15 секунд, предлагает три варианта объезда/перегрузки с расчётом рисков. Диспетчер только выбирает лучший – система автоматически выдаёт команды кранам и локомотивам. Восстановление графика ускоряется в 5-10 раз.

Заключение. В ходе выполнения проекта был проведён системный анализ текущего процесса управления размещением грузов в контейнерах на примере инфраструктуры РЖД – от момента заявки клиента до выдачи груза на терминале назначения. Выявлены ключевые «узкие места»: высокая доля ручного труда, субъективность визуального контроля, неоптимальное планирование загрузки платформ и штабелей, простои техники из-за несогласованности действий крановщиков и составителей, а также трудности прогнозирования пиковых нагрузок на сортировочных станциях.

На основе этих данных предложена концепция интеллектуальной системы управления размещением грузов, построенная на современных технологиях искусственного интеллекта: компьютерном зрении (свёрточные нейросети) для автоматической приёмки контейнеров и контроля пломб; обучении с подкреплением для оптимизации 3D-размещения контейнеров на

платформах и в штабелях; прогнозных моделях на LSTM/трансформерах для предсказания загрузки станций и предотвращения перегрузок; многопользовательском обучении с подкреплением (MARL) для координации работы кранов и маневровых локомотивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила перевозок грузов в контейнерах железнодорожным транспортом (утв. Минтранс РФ, действующая редакция). – М.: Транспорт, 2019.
- 2 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах (ТУ-14). – М.: ОАО «РЖД», 2021.
- 3 Инструкция по организации контейнерных перевозок на сети железных дорог Российской Федерации (№ ЦМ-912). – М.: РЖД, 2020.
- 4 Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с. (главы о сверточных нейросетях, автоэнкодерах, LSTM).
- 5 Саттон Р., Барто Э. Обучение с подкреплением. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 552 с. (основы Q-learning, Deep Q-Network, PPO).

OPENSTREETMAP КАК ИСТОЧНИК ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ

Е. А. Русанова¹, В. А. Фатеев²

Введение. Автоматизация формирования логистических маршрутов, особенно в контексте мультимодальных перевозок, представляет собой фундаментальную задачу в современной транспортной логистике. В условиях нарастающей динамики грузопотоков, усложнения транспортных схем и необходимости минимизации издержек особенно актуальными становятся задачи оптимизации маршрутов смешанных перевозок, предусматривающих задействование различных видов транспорта. Процесс конструирования логистического маршрута рассматривается как задача поиска оптимального пути в рамках транспортной сети. В контексте мультимодальных перевозок необходимо принимать во внимание аспекты, связанные с пересадками между различными видами транспорта, таможенным оформлением, а также специфическими характеристиками груза. Для автоматизации этих расчетов необходимо преобразовать их в формат, пригодный для цифровой обработки [1]. Актуальность исследования определяется ростом интереса к открытым данным, которые могут служить основой для разработки независимых логистических систем. В этом контексте OpenStreetMap (OSM) рассматривается как источник пространственной информации. Целью статьи является выявление возможностей применения данных OSM при построении логистических маршрутов, а также определение ограничений их использования в задачах мультимодальной транспортировки.

Основная часть. Маршрутизация в логистике представляет собой процесс выбора оптимального пути перемещения груза в транспортной сети. При организации мультимодальных перевозок необходимо учитывать не только параметры отдельных участков пути, но и особенности переходов между видами транспорта. Это требует представления транспортной системы в виде сложной графовой структуры с множеством взаимосвязанных элементов [2].

OSM представляет собой общедоступную и открытую картографическую базу данных, которая предоставляет следующую категорию информации: дорожная сеть с указанием типа дороги и направленности движения, ограничения скорости, железнодорожная инфраструктура, порты и аэропорты, промышленные зоны и складские комплексы, административные границы. Кроме того, в OSM информация постоянно обновляется пользователями, благодаря чему база данных сохраняет высокую степень актуальности и точности [3].

Архитектура данных в OSM характеризуется иерархическим строением и состоит из

¹ Русанова Елена Александровна – студент группы ПИБ-51, ЭТФ

² Фатеев Владимир Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

нескольких базовых элементов:

1. Точка (node) с географическими координатами – широтой (latitude) и долготой (longitude). Точка может быть самостоятельным объектом (светофор, родник, киоск) и входить в состав других объектов (линий, отношений). Также точками могут помечаться большие объекты – страны, города, даже континенты.
2. Линия (way) – это последовательность точек. Линии одной дороги связаны в единое целое соблюдением условия – точка окончания одной линии строго соответствует точке начала другой. Полигон – это замкнутая линия, у которой совпадают первая и последняя точки.
3. Отношение (relation) – это логическое объединение точек, линий и других отношений в единый объект.
4. Объекты и теги (tag) – это элемент (точка, линия, отношение) с набором тегов (атрибутов). Если элемент не имеет тегов, то он не является объектом, а входит в состав других объектов [3].

Модель данных OpenStreetMap базируется на использовании элементарных геометрических примитивов и их атрибутивного описания. Такая организация обеспечивает гибкость представления информации, но одновременно требует дополнительной обработки при построении аналитических моделей.

Данные OSM могут быть представлены в различных форматах, отличающихся по степени сжатия и удобству обработки. Основным форматом файлов, содержащих информацию об объектах, расположенных на общедоступной карте, является текстовый XTML-формат, а сами файлы имеют тип «osm». Заархивированный bzip2 файл занимает 45Gb, в распакованном виде – более 600GB. Альтернативный формат файла.osm.pbf позволяет хранить огромные объемы данных в относительно небольшом размере. Shapefiles (.shp) – это предварительно обработанные данные, разделенные по тематическим слоям, что делает их пригодными для применения в географических информационных системах (ГИС).

Для эффективного извлечения и последующей обработки данных в OpenStreetMap разработан широкий спектр программных инструментов:

1. Overpass API – данный сервис позволяет формировать гибкие запросы к базе OSM и извлекать объекты по заданным тегам или географическим границам. Преимуществом данного сервиса является возможность получения только релевантной информации без необходимости загрузки всей базы данных. Однако его применение ограничивается объемом допустимых запросов.
2. Osmosis – командная утилита, которая используется для обработки больших массивов. Данный инструмент позволяет фильтровать, преобразовывать, объединять файлы различных форматов (PBF, XTML). Однако отсутствует графический интерфейс и есть необходимость работы в командной строке.
3. GraphHopper и OSMR – специализированные сервисы маршрутизации, которые используются для непосредственного построения маршрутов. Их преимуществом является высокая производительность и наличие API для интеграции в прикладные системы. Однако данные решения ориентированы на стандартные сценарии навигации и не всегда учитывают специфические логистические ограничения (весогабаритные параметры груза, требования к мультимодальности и т.д.) [4].

Заключение. OpenStreetMap является надежным и легкодоступным источником геопространственной информации, который хорошо подходит для планирования логистических маршрутов. Открытый характер платформы и высокая степень детализации информации создают предпосылки для ее широкого применения. В то же время специфика мультимодальных перевозок требует глубокой адаптации и структурирования данных. Без этого невозможно учесть специфику мультимодальных перевозок и обеспечить необходимую точность расчетов. Следовательно потребность разработки собственного ПО для извлечения данных из файлов OSM обусловлена рядом факторов: необходимость в автоматической фильтрации объектов релевантных данных, в создании графической структуры с учетом специфики перевозок, в

настройке весовых коэффициентов для разных типов транспорта и в глубокой интеграции с внутренними системами [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Нырков А.П., Соколов С.С., Ежгуров В.Н., Мальцев В.А. Автоматизация управления мультимодальными перевозками // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2013. №2 (18). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-upravleniya-multimodalnymi-perevozkami> (дата обращения: 29.04.2026).
- 2 Красильников П.А., Соколов М.Ю., Роменский Д.Ю. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СТАНДАРТА OPENSTREETMAP ДЛЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА // Известия Транссиба. 2023. №3 (55). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-dannyh-standarta-openstreetmap-dlya-zadach-svyazannyh-s-ekspluatatsiey-zheleznodorozhnogo-transporta> (дата обращения: 30.03.2026)
- 3 OpenStreetMap // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap> (дата обращения: 23.02.2026).
- 4 GeoJSON // Wikipedia: The Free Encyclopedia – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/GeoJSON>, свободный. – Дата обращения: 29.04.2026.
- 5 Сахаров В.В., Сикарев И.А., Чертков А.А. Автоматизация поиска оптимальных маршрутов и грузовых потоков в транспортных сетях средствами целочисленного линейного программирования // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2018. №3. С.648 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-poiska-optimalnyh-marshrutov-i-gruzovyh-potokov-v-transportnyh-setyah-sredstvami-tselochislennogo-lineynogo> (дата обращения: 29.04.2026).
- 6 OpenStreetMap: «Википедия» в мире карт // S7 Airlines. URL: <https://www.s7.ru/media/community/openstreetmap-vikipediya-v-mire-kart/> (дата обращения: 15.03.2026).
- 7 Иванова Л.Н., Иванов С.Е. Методы оптимизации и алгоритм маршрутизации в транспортной логистике // ЭПИ. 2024. №4. С.28 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-i-algoritm-marshrutizatsii-v-transportnoy-logistike> (дата обращения: 29.04.2026).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ

Д. М. Храмова¹, А. А. Юдакова², В. А. Фатеев³

Введение. Транспортная логистика представляет собой комплексную систему по организации перевозки любых видов товаров, сырья, веществ и материальных предметов из начальной точки (отправителя) в конечную (получателя) [1, 4, 5]. Главная особенность этой системы – прокладка оптимального маршрута, который учитывает не только расстояние, но и множество других критериев. Благодаря грамотному применению транспортной логистики становится возможным не только быстро доставить груз, но и обеспечить максимальную сохранность перевозимых предметов, минимизируя риски повреждений, краж или потерь в пути [4].

Основная часть. Для экономики страны транспортная логистика играет критически важную роль. Во-первых, она даёт возможность развивать промышленность, сельское хозяйство и торговлю даже в небольших и отдалённых (в том числе труднодоступных) регионах, связывая их с крупными экономическими центрами [1]. Во-вторых, логистика обеспечивает население многочисленными рабочими местами – от водителей и диспетчеров до аналитиков и IT-специалистов. Помимо внутренних эффектов, Россия активно сотрудничает в области перевозок с другими странами, что благоприятно влияет на экономику транспортной логистики нашей страны, развивает международные коридоры и привлекает инвестиции [5].

Транспортная логистика в качестве одной из главных задач рассматривает задачу построения логистических маршрутов [1, 4]. Логистический маршрут строится с целью обеспечения своевременной доставки грузов из пункта отправления в пункт назначения. При этом,

¹ Храмова Дарья Максимовна – студент группы ПИБ-51, ЭТФ

² Юдакова Алина Андреевна – студент группы ПИБ-51, ЭТФ

³ Фатеев Владимир Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры «Цифровые технологии»

финансовые, временные и ресурсные затраты должны быть минимальными. Такая постановка вопроса требует учета достаточно большого количества факторов. Среди них основными являются такие факторы как: загруженность транспортных путей, сезонность, погодные условия, различные ограничения груза по габаритам и весу. Немаловажным фактором являются и законодательные требования, действующие на территории разных стран и регионов [5].

Особой категорией транспортных задач является построение маршрутов для обеспечения мультимодальных перевозок. Для современной логистики решение подобных задач наиболее актуально [4]. Тем не менее, это очень сложная задача, которая решается поиском оптимального маршрута движения с последовательным использованием транспортных средств разного типа. Для перевозки груза по маршруту может использоваться железнодорожный, автомобильный, морской, речной или авиационный транспорт. На эффективность такого маршрута оказывают влияние следующие факторы: время в пути, стоимость, надежность и стабильность.

Геоинформационные системы используют карты и географические данные, а также помогают прокладывать наилучшие логистические маршруты, благодаря которым можно уменьшить расходы и сократить поставку [2, 3].

Из доступных геоинформационных систем было решено рассмотреть такие российские картографические сервисы как Яндекс.Карты, 2ГИС, MAPS.ME. В ходе исследования были выявлены достоинства и недостатки каждого из сервисов.

Яндекс.Карты. Достоинства: умная навигация с учётом пробок в реальном времени, специализированный режим для грузового транспорта, навигация при потере сигнала GPS, построение мультимодальных маршрутов, функция «поделиться геопозицией».

Недостатки: не работает построение маршрутов без Интернет-соединения, скачанные карты регионов периодически становятся недоступными, устаревшие запреты и ограничения (информация о перекрытиях и расположении знаков дорожного движения недостоверна), неверное местоположение объектов, зависит при запуске на слабых устройствах, плохо работает за пределами России и стран СНГ.

2ГИС. Достоинства: специализированная навигация для грузового транспорта, интеграция с бортовыми системами КАМАЗ, В2В-сервис «2ГИС ГеоПоток» (мониторинг и планирование выездных сотрудников и транспорта), поддержка отечественной ОС «Аврора», точные и детализированные офлайн-карты, подробный справочник организаций.

Недостатки: проблемы с определением геолокации, высокое энергопотребление, проблемы с офлайн-картами (навигация работает некорректно), устаревшие данные о дорожной обстановке, некорректное построение маршрутов, проблемы с камерами и полосами (неточно подсказывает траектории по полосам и некорректно информирует о камерах фиксации нарушений).

MAPS.ME. Достоинства: работа в офлайн-режиме, высокая детализация (карты основаны на OpenStreetMap: много мелких дорог, троп, достопримечательностей), экономия заряда батареи, актуальность данных (регулярные обновления карт благодаря сообществу OpenStreetMap).

Недостатки: ограниченная точность в отдалённых локациях (не все тропы и временные объекты отражены), зависимость от OpenStreetMap (Если в OSM нет данных, их не будет и в MAPS.ME), устаревшие сведения о закрытых заведениях или новых дорогах, зависимость от GPS (при слабом сигнале местоположение может определяться некорректно).

Заключение. OpenStreetMap (OSM) – это важнейший источник геоданных для построения логистических маршрутов, особенно в случаях, когда требуется нестандартная или высокодетализированная карта [2, 3]. Ключевое преимущество OSM заключается в том, что его данные находятся в бесплатном доступе для любого использования (включая коммерческое, с указанием авторства). Благодаря этому многие логистические компании используют OSM как основу для собственных ГИС-решений, корректируя и дополняя карты под свои нужды [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Антонова, Т. С. Транспортная логистика: учебное пособие / Т. С. Антонова. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 52 с. – ISBN 978-5-9239-1204-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/166691>
- 2 Геоинформационные системы: учебное пособие / составители О. Л. Гиниятуллина, Т. А. Хорошева. –

- Кемерово: КемГУ, 2018. – 122 с. – ISBN 978-5-8353-2232-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/120040>
- 3 Зольников, И. Д. Введение в геоинформационные системы и дистанционное зондирование: учебник для вузов / И. Д. Зольников, Н. В. Глушкова. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 118 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-18577-5. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/568930>
- 4 Неруш, Ю. М. Транспортная логистика: учебник для среднего профессионального образования / Ю. М. Неруш, С. В. Саркисов. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2026. – 301 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-19152-3. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/587780>
- 5 Транспортная логистика: учебное пособие / составители к.т.н. [и др.]. – Орел: ОрелГАУ, 2016. – 155 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106977>

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БУЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ЗАДАННОЙ ДИАГРАММОЙ ЭЙЛЕРА-ВЕННА

Д. А. Эздеков¹, М. Н. Федоров², И. Л. Сандлер³

Введение. Диаграммы Эйлера-Венна традиционно применяются в дискретной математике для наглядного представления множеств и логических операций [1, 2]. Перевод графического образа диаграммы в булеву функцию вручную связан со значительными временными затратами, а при числе множеств свыше трёх вдобавок с высокой вероятностью ошибок [3]. Программные инструменты визуализации логических конструкций востребованы как при проектировании цифровых устройств, так и в образовательных системах для изучения алгебры логики [4-8].

Существующие решения, ориентированные на задачи дискретной математики, как правило, не предоставляют интерактивного режима работы с диаграммой: пользователь задаёт параметры статично, без возможности перемещения элементов с автоматическим пересчётом выражения. Разработка веб-приложения с поддержкой режима реального времени восполняет обозначенный пробел.

Цель работы: разработка веб-приложения для определения булевой функции, заданной диаграммой Эйлера-Венна, которое может использоваться как в учебном процессе, так и при решении прикладных задач, связанных с анализом логических зависимостей и построением цифровых схем.

Основная часть. В ходе работы пользовательский интерфейс реализован с применением HTML, CSS и JavaScript, а в качестве среды разработки использован WebStorm. Настоящая статья продолжает серию публикаций, посвящённых программным реализациям операций над булевыми функциями [4, 5].

Рис. 1 отражает рабочее поле приложения с панелью инструментов в верхней части страницы. На панели расположены инструменты управления диаграммой: «Выбор» – для отметки областей пересечений, «Перемещение» – для изменения расположения фигур, «Удалить фигуру» – для удаления выбранного элемента. Для добавления геометрических примитивов предусмотрены отдельные кнопки: круг, прямоугольник, эллипс. Инструмент «Сброс» снимает все отмеченные области, не затрагивая расположение фигур; «Очистить всё» полностью удаляет содержимое рабочей области.

¹ Эздеков Дамир Азаматович – студент группы ИСТб-41, ЭТФ

² Федоров Максим Николаевич – студент группы ИСТб-41, ЭТФ

³ Сандлер Илья Львович – старший преподаватель кафедры «Цифровые технологии»

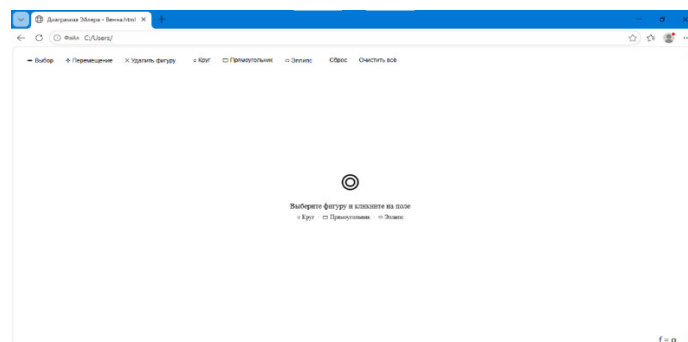


Рис. 1. Внешний вид главного экрана веб-приложения «Диаграмма Эйлера-Венна»

В режиме работы с приложением пользователю доступно построение диаграмм произвольной топологии. На рабочее поле (рис. 2) выносятся фигуры нужных типов (круг, прямоугольник или эллипс), после чего с помощью инструмента «Перемещение» задаётся требуемое взаимное расположение множеств. Фигуры могут располагаться как изолированно, так и с частичным или полным перекрытием областей в любых сочетаниях. Выбор областей пересечения и перемещение элементов выполняются в режиме реального времени: при изменении топологии диаграммы булева функция пересчитывается автоматически и остаётся актуальной до тех пор, пока не изменится состав отмеченных областей. На рабочее поле выводится до 10 фигур одновременно.

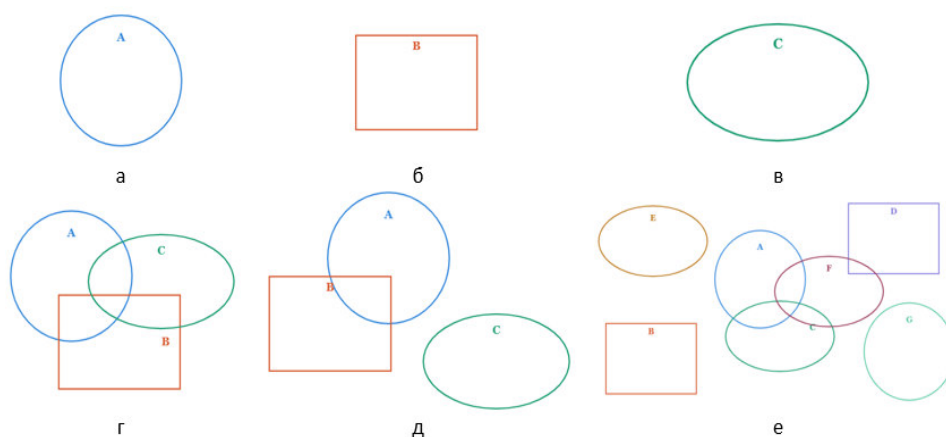


Рис. 2. Рабочее поле веб-приложения: варианты расположения фигур (множеств)

Каждому элементу диаграммы присваивается буквенное обозначение по алфавиту (А, В, С...) и двоичный вес 2^{n-1} , где n – порядковый номер элемента; тем самым вес однозначно кодирует вклад элемента в индекс минтерма. Индекс конкретной области пересечения равен сумме весов входящих в неё элементов – это обеспечивает взаимно однозначное соответствие между геометрической конфигурацией диаграммы и записью булевой функции в форме суммы минтермов $\sum m(i_n, \dots, i_k)$, где $i_n, \dots, i_k$ – индексы выделенных областей. При наведении указателя мыши на область диаграммы она подсвечивается, а в нижней части экрана отображается соответствующий терм в алгебраической форме; знак операции («+» или «-») указывает на текущее состояние области – не выделена или выделена соответственно (рис. 3).

В результате объединения выделенных областей веб-приложение формирует булеву функцию в форме СДНФ, где каждой отмеченной области пересечения ставится в соответствие один минтерм, после чего полная функция выводится в правом нижнем углу рабочей области как дизъюнкция всех полученных минтермов.

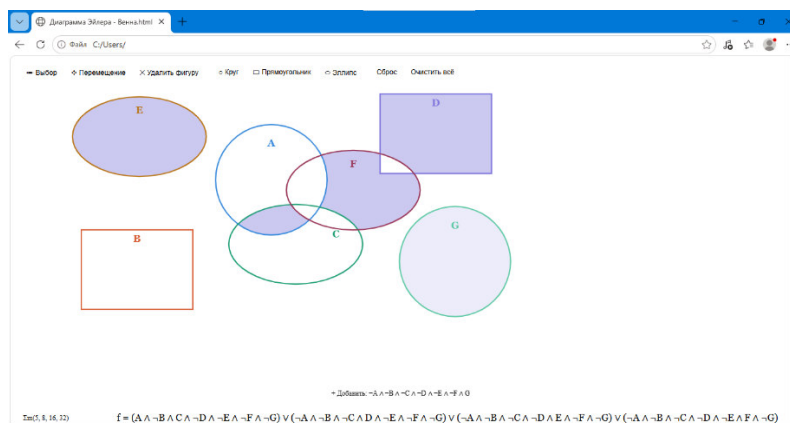


Рис. 3. Демонстрация работы веб-приложения

Закключение. В ходе выполнения работы реализовано веб-приложение для определения булевой функции по диаграмме Эйлера-Венна. Алгоритм преобразования графического представления диаграммы в булеву функцию разработан по результатам анализа существующих подходов к обработке логических выражений.

Пользовательский интерфейс поддерживает интерактивный режим: перемещение элементов и выбор областей пересечения сопровождаются пересчётом результата в реальном времени [6, 8].

Исключение ручного разбора областей пересечения устраняет основной источник ошибок при составлении СДНФ – особенно это ощутимо при числе множеств более трёх, когда комбинаций пересечений становится значительно больше. Реализация на веб-технологиях при этом обеспечивает работу приложения в браузере на любом устройстве без установки дополнительного программного обеспечения.

Область применения охватывает учебный процесс при изучении дискретной математики, а также прикладные задачи анализа логических схем [6, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тюрин, С. Ф. Дискретная математика: Практическая дискретная математика и математическая логика / С. Ф. Тюрин, Ю. А. Аляев. – Москва: Финансы и статистика, 2010. – 385 с. – ISBN 978-5-279-03463-5. – EDN SUPXYT.
- 2 Тишин, В. В. Дискретная математика в примерах и задачах / В. В. Тишин. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 352 с. – ISBN 978-5-9775-0232-0. – EDN SDPQNZ.
- 3 Математика. Дискретная математика : учебник / В. Ф. Золотухин, В. В. Олышанский, С. В. Мартемьянов [и др.]. – Ростов-на-Дону: Институт водного транспорта имени Г.Я. Седова – филиал «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», 2016. – 129 с. – EDN YQWKVL.
- 4 Эздеков, Д.А. Программная реализация вычисления булевых функций по заданной таблице истинности / Д. А. Эздеков, М. Н. Федоров, П. А. Иванаев, А. П. Припутников // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 2. – С. 110-114. – EDN NWSOKS.
- 5 Федоров, М. Н. Программная Реализация настраиваемого генератора булевых функций / М. Н. Федоров, Д. А. Эздеков, А. П. Припутников // Наука и образование транспорту. – 2025. – № 2. – С. 95-99. – EDN LDIJAW.
- 6 Горюшкин, А. П. О применении компьютерной техники при изучении дисциплины "дискретная математика" / А. П. Горюшкин // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом вузе: Материалы XIII Всероссийской научно-методической конференции, Омск, 05–06 апреля 2024 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 20-21. – EDN CQRAFL.
- 7 Можей, Н. П. Изучение дискретной математики с применением информационных технологий / Н. П. Можей // Современные информационные технологии в образовании: МАТЕРИАЛЫ XXXI КОНФЕРЕНЦИИ, Троицк-Москва, 02–03 июля 2020 года. – Троицк-Москва: Фонд новых технологий в образовании "Байтик", 2020. – С. 209-211. – EDN JALBVC.
- 8 Водолад, С. Н. Методические особенности использования визуализаторов в преподавании дискретной математики / С. Н. Водолад // Актуальные исследования в области математики, информатики, физики и методики их изучения в современном образовательном пространстве : результаты исследований в области математики, информатики, физики и методики их изучения при реализации образовательных программ высшего образования. Том Выпуск 2. – Курск: Курский государственный университет, 2017. – С. 30-33. – EDN XVUSLZ.

СЕКЦИЯ 5

Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности и охраны труда на железнодорожном транспорте

РАЗРАБОТКА БЮДЖЕТНОЙ СИСТЕМЫ БЫТОВОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ

К. А. Корякова¹, К. Мартыненко², Ю. А. Холопов³

Обоснование. Качество воздуха дома обычно оценивают по ощущениям: стало душно, появился запах, запотели окна, после проветривания на подоконнике и мебели быстрее заметна пыль. Такая бытовая диагностика понятна, но она запаздывает и не дает возможности сравнить разные режимы проветривания между собой. В ГОСТ Р ИСО 16000-1-2007 подчеркивается, что воздух замкнутых помещений не является статичной средой: концентрации загрязняющих веществ меняются под влиянием источников, деятельности человека, воздухообмена и внешних условий [1]. Нормативные требования к микроклимату жилых и общественных зданий также связывают комфортную внутреннюю среду не только с температурой, но и с влажностью, качеством воздуха и организацией воздухообмена [2, 3]. Поэтому, для обеспечения безопасной и комфортной среды в своем помещении, каждый человек может самостоятельно собрать и использовать простой прибор, который помогает определить ухудшение качества воздуха и понять, не сопровождается ли открывание окна притоком уличной аэрозольной потенциально вредной взвеси.

Цель работы – разработать доступную систему бытового мониторинга качества воздуха, которую можно собрать из недорогих электронных модулей и использовать для учебной демонстрации, домашнего наблюдения и сравнения трех режимов: закрытое окно, обычное проветривание, проветривание через фильтрующий модуль.

Методы. В основу макета заложен сравнительный подход: сначала фиксируется фоновое состояние помещения, затем динамика при открытом окне, после чего отдельно оценивается проветривание через фильтрующий модуль. Аппаратная часть построена на контроллере ESP32; показания выводятся на OLED-дисплей, поэтому устройство может работать автономно, без постоянного подключения к ноутбуку. В измерительный блок включены SCD40 для углекислого газа, температуры и относительной влажности, а также PMS5003 для PM1, PM2.5 и PM10. Компоненты устанавливаются на универсальный корпус и соединяются без пайки, прибор можно собрать в домашних условиях по понятной схеме, используя готовые электронные модули. Углекислый газ принят как удобный индикатор накопления выдыхаемого воздуха и недостаточного воздухообмена: отметка около 1000 ppm используется в проекте как сигнал проверить вентиляцию. Предполагается, что для аэрозольной части важны не единичные абсолютные значения, а изменение PM2.5 и PM10 в одинаковых бытовых сценариях, что соответствует логике предварительного мониторинга воздуха замкнутых помещений [1]. Санитарные нормативы по загрязняющим веществам атмосферного воздуха используются как ориентир для выставления показателей и составления рекомендаций по проветриванию на экране прибора. [4]. Параллельно с измерительным блоком рассматривается простой оконный фильтрующий модуль на основе рамки москитной сетки: в неё последовательно устанавливаются фильтрующие слои G4, F7 и угольная ткань, а по периметру предусматривается проклеивание уплотнённой клейкой лентой для предотвращения прохода воздуха мимо

¹ Корякова Ксения Андреевна – студент, группа ТТПм-51, ИУЭ

² Мартыненко Кирилл – студент, группа ЭЖД-13, ИУЭ

³ Холопов Юрий Александрович – к.с.-х.н., зав. кафедрой «Безопасности жизнедеятельности и экология»

фильтра. Для ускорения воздухообмена оптимально добавить портативный вентилятор, удовлетворяющий целям и бюджету пользователя.

Результаты. В первой предлагаемой версии система отображает CO₂, PM1, PM2.5, PM10, температуру и относительную влажность на экране текстом на русском языке. Пользователь сразу видит поведение воздуха в комнате, где проводит измерение: как меняются показатели ночью, после уборки, при обычном проветривании или при включении вентилятора фильтрующего модуля. Программное обеспечение устройства при фиксировании высоких показателей загрязнения само порекомендует пользователю проветривание сигналом на экране. Расчетная стоимость макета находится в пределах 3,5–5,4 тыс. рублей, что оставляет проект в бюджетной категории и позволяет повторить его в учебной лаборатории или дома. Фильтрующий модуль рассчитан прежде всего на снижение поступления в помещение уличной пыли и аэрозольных частиц, в том числе фракций PM10 и PM2.5, которые могут проникать через открытое окно при обычном проветривании. Предварительный слой G4 задерживает более крупную пыль, пух, сажевые и механические включения, слой F7 работает как основной барьер для мелкодисперсных частиц, а угольная ткань дополнительно снижает выраженность неприятных запахов и части летучих примесей бытового и уличного происхождения, в том числе некоторых аллергенов, таких как пыльца. Такой модуль не рассматривается как абсолютная защита от высоких концентраций газообразных загрязнителей, однако в бытовых условиях он позволяет сделать проветривание более контролируемым и является бюджетным способом улучшить качество воздуха.

Выводы. Практический смысл макета состоит в том, что проветривание становится полезной экологической привычкой, а прибор лёгок к воссозданию любым пользователем и применим в любом помещении. Подтверждение эффективности и пользы проекта будет далее зафиксировано накоплением серий измерений в разных бытовых сценариях, сопоставлением данных до, во время и после проветривания через оконный фильтрующий модуль, а также по отзывам разных пользователей.

Ключевые слова: качество воздуха в помещении; бытовой мониторинг; углекислый газ; мелкодисперсная пыль; PM2.5; ESP32; SCD40.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ Р ИСО 16000-1-2007. Воздух замкнутых помещений. Часть 1. Отбор проб. Общие положения. URL: <https://protect.gost.ru/gost/details/a7d23c06-b7d1-4dcf-ab97-6bd7464fb751> (дата обращения: 17.05.2026).
- 2 ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=5279108> (дата обращения: 17.05.2026).
- 3 СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003. URL: https://rags.ru/documents/prod/metodika/0/sp_60.html (дата обращения: 17.05.2026).
- 4 СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <https://library.mededtech.ru/rest/documents/sp1.2.3685-21/> (дата обращения: 17.05.2026).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ МИКРОПЛАСТИКА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

К. А. Кулямин¹, Ю. А. Холопов²

Введение. Известно, что микропластиком принято называть фрагментированные кусочки размером не более 5 мм. Микропластик является одним из самых масштабных и серьезных загрязнителей в современном мире. В настоящее время микропластик трудно удалить из окружающей среды, его распространение возрастает в геометрической прогрессии, начиная с 1950 года. Микропластик обнаруживается в наземной, водной, воздушной среде,

¹ Кулямин Кирилл Алексеевич – студент группы ЭЖД-31, ИУЭ

² Холопов Юрий Александрович – к.с.-х.н., зав. кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и экология»

демонстрируя достаточно высокий риск для всех живых организмов на Земле, а также являясь серьёзной угрозой механического, химического и биологического характера.

Учёные установили, что у растений микропластик обладает свойством подавления фотосинтеза, прорастания семян и поглощения питательных веществ, а также роста корней и листьев. Микропластик снижает биомассу растений и продуктивность агроценозов.

Микропластик попадает в организм человека через воздушное пространство, через воду, а также при накоплении по пищевым цепям. Ощущения дискомфорта у человека после воздействия микропластика могут возникнуть спустя несколько лет, это является препятствием установления причинно-следственных связей при выявлении этиологии и патогенеза различных заболеваний [1].

Основная часть. На сегодняшний день масштабы распространения микропластика являются глобальной проблемой, частицы микропластика образуются при разложении пластиковых бутылок, упаковки, предметов под воздействием солнечного света, воды, механических факторов [2]. Микропластик обнаружен в пищевых продуктах: фруктах и овощах, мясе, рыбе, молочных продуктах, хлебе, соли, меде, яйцах, питьевой воде и даже в чайных пакетиках. Масштаб проблемы определяется в первую очередь колоссальными объемами производства полимерных материалов. Ежегодно в мире производится около 400 млн. т пластика. Из этого объема, по разным оценкам, от 52 до 82 млн. т пластиковых отходов ежегодно попадает в окружающую среду из-за неэффективного управления отходами; в мировой океан ежегодно сбрасывается 11 млн. т пластика. Если существующие тенденции сохранятся, то к 2040 году эта цифра может возрасти до 29 млн. т в год, что эквивалентно 50 кг пластиковых отходов на каждый метр береговой линии в мире. Особую тревогу вызывает то, что лишь 9 % всей производимой пластмассы подвергается переработке. Остальная масса накапливается в экосистемах, где под воздействием ультрафиолетового излучения, механической абразии и биологических факторов подвергается фрагментации до микрочастиц. При этом ежегодно более 2 млн. т микропластика целенаправленно добавляется в различные продукты повседневного использования – косметику, чистящие средства, краски, удобрения и промышленные материалы [3].

Микропластик оказывает комплексное воздействие на микроорганизмы, которое выходит далеко за рамки простого отравления. Исследования показывают, что он способен не только подавлять рост микробов, но и стимулировать образование защитных биопленок, способствовать распространению устойчивости к антибиотикам и даже изменять состав целых микробных сообществ.

Мировой океан является основным резервуаром пластикового загрязнения. Согласно современным модельным оценкам, в океанах планеты плавает более 170 трлн. пластиковых частиц. При этом парадоксальным образом ученые обнаруживают значительный дисбаланс: только около 1 % пластиковых отходов находятся на поверхности океана. Остальные 99 % – так называемый «потерянный пластик» – находится в толще воды (водной колонне), в донных осадках или уже поглощены морскими организмами [4].

Анализ состава микропластика в сточных водах показывает, что полиэстер составляет от 28 до 89 % всех частиц, полиэтилен – от 4 до 51 %, полиэтилентерефталат – от 4 до 35 %, а полиамид – от 3 до 30 %. При этом волокнистая форма микропластика обнаруживается в 52,7 % случаев, а фрагментарная – в 28,8 % [5].

Заключение. Таким образом, масштабы распространения микропластика в биосфере достигли уровня, сопоставимого с глобальными биогеохимическими циклами. Частицы пластика присутствуют во всех исследованных средах: от поверхности океана до глубоководных осадков, от атмосферы до почвенного профиля, от полярных льдов до тропических морей. Атмосферный и океанический перенос обеспечивает трансграничное распространение загрязнителя, делая проблему глобальной и не зависящей от национальных границ. Включение микропластика в пищевые цепи и его накопление в тканях живых организмов, включая человека, создает долгосрочные риски, масштабы которых еще предстоит оценить. Текущие данные однозначно свидетельствуют: человечество столкнулось с экологической проблемой планетарного масштаба, требующей безотлагательных скоординированных действий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сизова, Е. Н. Микропластик как загрязнитель окружающей среды, его влияние на здоровье человека: монография / Е. Н. Сизова. – Киров: Кировский ГМУ, 2024. – 82 с.
- 2 Исламова С.В., Микрюкова Е.Ю. Изучение воздействия микропластика на экосистемы // Вестник науки. 2024. №12 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-vozdeystviya-mikroplastika-na-ekosistemy>.
- 3 Соколов Ю.И. Риски тотального пластикового загрязнения планеты // Проблемы анализа риска. 2020. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/riski-totalnogo-plastikovogo-zagryazneniya-planety>
- 4 Микропластик: невидимая угроза мировому океану и человеку. Быховская районная инспекция природных ресурсов и охраны окружающей среды. 2026. URL: <https://www.bykhov.by/soczialnyj-proekt-ekonavigacziya/277261/>
- 5 Мир начинает борьбу с микропластиком. Лига переработчиков макулатуры. 2026 URL: <https://www.liga-pm.ru/news/mir-nachinaet-borbu-s-mikroplastikom/>

ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫЕ СМЕСИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Т. П. Осипова¹, Ю. А. Холопов²

Введение. В зимнее время года обеспечение безопасного движения пешеходов и транспорта становится одной из приоритетных задач для коммунальных служб и дорожных организаций. Один из эффективных и распространенных инструментов борьбы с гололедом - использование противогололедных смесей (ПГС). Эти вещества имеют важную роль в предотвращении травматизма среди населения. Принцип использования противогололедных смесей заключается в их физико-химическом процессе: при контакте со льдом или же снегом действующее вещество понижает температуру замерзания, что в последующем приводит к разрушению ледяной корочки. Но помимо преимуществ главные вещества, входящие в состав ПГС, наносят большой вред не только окружающей природе, но и людям. Среди наиболее значимых негативных последствий можно выделить, такие как: высокое засоление почвы [1, 2]; повышение электропроводности грунта, что особенно опасно при укладке кабельных сетей под землей; ускорение коррозии и деструкция несущих конструкций [3], химическое раздражение и аллергия у людей и животных; массовая гибель почвенной биоты из-за деградации плодородного слоя [4]; испарение летучих компонентов, которые могут привести к респираторным заболеваниям.

Цель статьи – определить эколого-экономическую целесообразность применения ПГС, найти оптимальные варианты борьбы с гололедом.

Материалы и методы. В работе приводятся данные анализа литературных источников и собственные рассуждения авторов исследования, основанные на характеристиках используемых ПГС.

Результаты и обсуждение. Главный вопрос: как уменьшить агрессивное воздействие противогололедных материалов на граждан и окружающую среду, при этом сохранить высокий уровень безопасности на дорогах и тротуарах. Без использования реагентов возрастет число дорожно-транспортных происшествий и количество травм у граждан. Следовательно, необходимо использовать наиболее щадящие компоненты и составы.

Использование реагентов производится лишь на строго определенных территориях повышенной опасности: пешеходные зоны, остановки пешеходного транспорта, проезжие части, мостовые переходы, путепроводы и взлетно-посадочные полосы аэропортов. Для осознанного выбора реагентов необходимо понимать, какие составы наносят наибольший экологический ущерб, а какие являются относительно безопасными.

1. Наиболее агрессивные (традиционные хлориды): техническая соль (NaCl) и хлористый кальций (CaCl₂). Они максимально вредны для почвы, вызывают сильную коррозию металла

¹ Осипова Татьяна Павловна – студент, группа ПСЖД-32, ИТСПС

² Холопов Юрий Александрович – к.с.-х.н., зав. кафедрой «Безопасности жизнедеятельности и экология»

(кузова автомобилей, опоры мостов), портят кожаную обувь и бетонные покрытия. Кроме того, они вымывают кальций из структуры грунта, что приводит к потере плодородия и пылению почв весной [1, 2].

2. Средняя степень воздействия: бишофит (хлористый магний, $MgCl_2$), это природный минерал, эффективный при температурах до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Он менее агрессивен к металлу по сравнению с технической солью, однако при систематическом перерасходе угнетает корневую систему растений и накапливается в придорожных водоемах [2].

3. Малоопасные составы: формиаты (соли муравьиной кислоты). Они биоразлагаемы, полностью распадаются в почве за 5–7 дней, обладают низкой коррозионной активностью и безопасны для домашних животных при случайном слизывании с лап. Рабочий диапазон – от $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Практически инертные (фрикционные материалы): мраморная, базальтовая крошка, гранитный отсев, песок. Они не вступают в химическую реакцию со льдом, а работают исключительно как абразив, увеличивая сцепление подошвы и шин с поверхностью. Главный недостаток – они не плавят лед, а только делают его шероховатым. Весной эти материалы требуют механизированной уборки.

5. Наиболее экологичные, но дорогие: ацетаты, они полностью разлагаются до углекислого газа и воды, не оказывают никакого влияния на почвенную биоту [4]. Однако высокая стоимость (в 5–10 раз выше, чем у технической соли) ограничивает их массовое применение.

Руководители коммунальных служб и подрядные организации часто выбирают техническую соль из-за её низкой закупочной цены. Приведем ориентировочные цифры по рынку РФ (на 2025 год):

- Техническая соль ($NaCl$): 5–10 тыс. руб./т
- Бишофит: 12–18 тыс. руб./т
- Формиат натрия/калия: 25–35 тыс. руб./т
- Ацетаты: 50–80 тыс. руб./т

Однако выбор противогололедных средств, основанный только на цене, игнорирует долгосрочный скрытый ущерб. Засоление газонов и придорожных полос ведет к гибели многолетних трав и деревьев [2]. Посадка одного взрослого дерева в городе стоит от 20 до 50 тыс. руб., а восстановление плодородного слоя почвы на 1 га – млн. руб. Техническая соль ускоряет износ дорожной техники, подземных коммуникаций (трубопроводов, кабельных линий) и автомобилей граждан в 3–5 раз. Снег, обработанный солью, нельзя сбрасывать в городские водоемы или на газоны. Его нужно вывозить на специальные снегоплавильные пункты [5], что увеличивает транспортные расходы.

Кажущаяся экономия на дешевой соли в итоге обходится городскому бюджету значительно дороже из-за необходимости восстанавливать экологическое состояние, ремонтировать технику и восстанавливать зеленые насаждения. Поэтому экономически обоснованным является переход на формиаты или жидкие рассолы, требующие на 30% меньшего расхода вещества на ту же площадь.

Еще одна проблема заключается в культуре применения ПГС. Часто дорожные рабочие сыпят ПГС «на глаз» и в любую погоду. Грамотный регламент предполагает учет следующих моментов:

1. Зависимость расхода от температуры: при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ достаточно $20\text{--}30\text{ г/м}^2$. При $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ норма возрастает до $60\text{--}80\text{ г/м}^2$. При $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже расход может достигать $100\text{--}150\text{ г/м}^2$.

2. Последовательность операций (критически важно): запрещено сыпать реагент на рыхлый снег до его уборки. Это бессмысленно и вредно – большая часть ПГС уходит в толщу сугроба, не достигая поверхности льда. Правильный цикл включает предварительную механическую уборку (сметание) рыхлого снега и лишь после распределение реагента тонким слоем по оставшейся ледяной корке.

3. Температурные плато: ни один химический реагент не работает эффективно в диапазоне от $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ из-за эвтектических свойств солевых растворов. В этом интервале

необходимо либо увеличивать расход, либо полностью переходить на фрикционные материалы (крошку).

4. Хранение в теплое время: запрещено хранить реагенты под открытым небом навалом. Допускаются только закрытые склады с гидроизоляцией, чтобы талые и дождевые воды не уносили соли в грунт и ливневую канализацию.

Интересен и зарубежный опыт. В Норвегии активно используют системы подогрева дорожного полотна: под асфальтом прокладывают тепловые коммуникации (трубы с горячей водой или электрические нагреватели), что полностью исключает образование наледи без применения химии. В Финляндии практикуют использование гранитной крошки, которую в зимний период разбрасывают по дорогам для повышения сцепления, а весной собирают специальными вакуумными машинами, очищают и используют повторно. Эти методы требуют значительных первоначальных вложений, но окупаются за счет сохранения состояния экологической среды и снижения затрат на рекультивацию земель.

Применение менее вредных составов должно внедряться в комплексе с правильным регламентом работ. Такой подход позволит значительно снизить экологический ущерб.

Заключение. Использование ПГС остается вынужденной, но объективно необходимой мерой для обеспечения безопасного передвижения граждан и работы транспорта в условиях снежной и морозной зимы. Полный отказ от химических реагентов в большинстве регионов России приведет к коллапсу инфраструктуры, росту ДТП и травматизма среди пешеходов.

Для минимизации вреда окружающей среде, здоровью людей и домашних животных необходимо реализовать комплекс из четырех шагов:

1. Переход на экологичные составы (формиаты, жидкие рассолы, бишофит) и инертные абразивы (гранитная, мраморная крошка) с отказом от дешевой технической соли там, где это возможно [2, 4].

2. Строгое соблюдение регламентов применения – дозировка по температуре, последовательность «сначала уборка снега, потом реагент», отказ от обработки при неподходящих температурах (-8°C ... -12°C).

3. Организация централизованного сбора и промышленной переработки загрязненного снега с извлечением химикатов, а не сбросом его в водоемы или на газоны [5].

4. Проведение регулярного мониторинга качества почвы и воды в весенний период [1, 2], а также информирование населения о мерах защиты (мытьё лап животных, выбор обуви).

Только такой сбалансированный подход – с учетом экономики, экологии, мирового опыта и социальных ожиданий – позволит сохранить безопасность человека зимой, не уничтожая при этом городскую природу и не нанося скрытый финансовый ущерб бюджету.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рагимов, А. О. Влияние противогололедных реагентов на физико-химические свойства почв на территориях различной антропогенной нагрузки / А. О. Рагимов, Н. В. Чугай // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2026. – № 1. – С. 86-100. – DOI 10.5281/zenodo.19179570.
2. Николаева, О. В. Оценка чувствительности газонных трав к солевому загрязнению почвогрунтов г. Москвы методом лабораторного фитотестирования / О. В. Николаева, А. С. Полянцева, О. А. Чистова // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2025. – Т. 80, № 2. – С. 106-113. – DOI 10.55959/MSU0137-0944-17-2025-80-2-106-113.
3. Донцов, С. А. Экологические особенности подбора противогололедных материалов для городских агломераций на примере Санкт-Петербурга / С. А. Донцов // Наука и образование транспорту. – 2024. – № 2. – С. 91-95.
4. Герасимов, А. О. Оценка влияния засоления на аллелопатическую активность микромицетов в дерново-подзолистой почве / А. О. Герасимов, Ю. М. Поляк // Агрохимия. – 2021. – № 3. – С. 51-59. – DOI 10.31857/S0002188121030078.
5. Кулдошина, В. В. Современные подходы к решению проблем утилизации снега / В. В. Кулдошина, А. В. Жогаль, М. Ю. Лупунчук // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 5. – С. 79-84.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В ГОРОДАХ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТРАНСПОРТА

К. А. Сутягин¹, Р. В. Халдеев², О. Е. Валиуллина³

Введение. Состояние здоровья городского населения определяется комплексом факторов: от образа жизни и наследственности до качества медицинского обслуживания и экологической обстановки. В городах с высокой концентрацией промышленности и транспорта именно техногенное загрязнение становится одним из ключевых дестабилизирующих факторов. Интенсивное развитие металлургии, нефтехимии, энергетики и логистических комплексов сопровождается эмиссией вредных веществ в атмосферу, гидросферу и почву. В Российской Федерации насчитывается более 200 городов с крупными производственными мощностями, где масштабы техногенного прессинга не только сохраняются, но и продолжают нарастать, создавая высокие экологические риски для проживающего там населения [1].

Основные источники и вещества-загрязнители. В индустриальных центрах совокупный объем промышленных выбросов нередко превышает 50 тыс. т ежегодно. Главными стационарными источниками загрязнения выступают предприятия металлургического и химического комплексов, теплоэнергетики, а также объекты капитального строительства. Существенный, а в некоторых городах и доминирующий вклад вносит автомобильный транспорт. В перечне приоритетных загрязняющих веществ, представляющих наибольшую опасность для здоровья человека, выделяются:

- диоксид серы (SO₂) и оксиды азота (NO_x);
- летучие органические соединения (формальдегид, бензол);
- тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть).

Данные ксенобиотики обладают способностью к биоаккумуляции, провоцируя развитие хронических патологий дыхательной системы, нарушение сердечно-сосудистой деятельности, аллергизацию населения и рост онкологических заболеваний [2].

Влияние качества атмосферного воздуха на заболеваемость. Статистические данные фиксируют устойчивый тренд к росту первичной заболеваемости в регионах локализации крупных промышленных узлов. Наиболее чувствительным индикатором экологического неблагополучия выступают болезни органов дыхания, уровень которых за последние годы увеличился более чем на 20 %. Исследования показывают, что увеличение концентрации поллютантов в приземном слое атмосферы даже на 1 % коррелирует с ростом числа хронических респираторных патологий в среднем на 15–16 случаев на тысячу человек [3].

Экологическая обстановка в городах напрямую зависит от отраслевой специализации. Так, в Дзержинске (Нижегородская область) – центре химической промышленности – многолетнее накопление токсичных отходов привело к включению города в список наиболее неблагоприятных территорий мира. В Норильске, где базируются крупнейшие металлургические предприятия, уровень заболеваемости в зонах влияния комбината в 1,5 раза превышает среднегородские показатели, а ожидаемая продолжительность жизни почти на десятилетие ниже общенационального уровня [4].

Еще одним примером может послужить город Самара, в котором расположен Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод. Завод является источником выбросов целого ряда вредных веществ:

- оксиды серы, которые вызывают раздражение дыхательных путей, усугубляют астму и бронхиты;
- оксиды азота - способствуют образованию смога и озона у поверхности земли;
- летучие органические соединения (бензол, толуол, формальдегид и др.).

Специфика воздействия на организм. Загрязнение атмосферного воздуха оказывает как острое, так и хроническое воздействие. Острые эффекты (токсические туманы, смоги)

¹ Сутягин К.А. – гр. ЭЖД-43, ИУЭ,

² Халдеев Р.В. – гр. ЭЖД-43, ИУЭ,

³ Валиуллина О.Е. – ст. преподаватель, зав. кафедрой «Безопасности жизнедеятельности и экология»

возникают при аварийных выбросах или резких изменениях метеоусловий, приводящих к накоплению примесей в приземном слое. Хроническое действие развивается исподволь, при длительном поступлении в организм малых доз токсикантов.

Респираторная система является первым барьером и основной мишенью для аэрополлютантов, что обуславливает широкое распространение бронхиальной астмы, хронических бронхитов, пневмоний и рака легких. По данным Всемирной организации здравоохранения, неблагоприятные факторы окружающей среды, связанные с качеством воздуха, ежегодно становятся причиной миллионов преждевременных смертей в глобальном масштабе [5].

В последние годы все большее внимание уделяется влиянию загрязнителей на сердечно-сосудистую систему. Мелкодисперсные частицы (PM_{2.5} и PM₁₀) и токсичные газы способны проникать через альвеолярно-капиллярный барьер в кровоток, индуцируя системное воспаление, повышая риск тромбообразования, развития гипертонии, ишемической болезни сердца и инфарктов миокарда. Кроме того, содержащиеся в выбросах полициклические ароматические углеводороды и формальдегид обладают доказанной канцерогенной активностью.

Направления снижения экологических рисков. Минимизация ущерба здоровью населения требует реализации многоуровневой системы мер, включающей:

- модернизацию производственных мощностей с внедрением наилучших доступных технологий и высокоэффективных систем газоочистки;
- совершенствование системы государственного экологического надзора и нормирования;
- оптимизацию санитарно-защитных зон с учетом розы ветров и фактического рассеивания примесей;
- развитие сети экологического мониторинга, включая автоматизированные станции контроля качества воздуха [6].

На индивидуальном уровне к мерам профилактики относятся: минимизация времени пребывания вблизи крупных автомагистралей и промзон, регулярное проветривание помещений, отказ от вредных привычек (курения), поддержание активного образа жизни для повышения резистентности организма.

Заключение. Экологические риски, обусловленные выбросами промышленности и транспорта, представляют серьезную угрозу здоровью населения крупных городов. Сложность и многообразие негативных эффектов требуют комплексного подхода к решению проблемы на основе консолидации усилий государства, бизнеса и научного сообщества. Внедрение системных решений, опирающихся на объективные данные мониторинга и современные научные исследования, позволит снизить антропогенную нагрузку, улучшить качество жизни и обеспечить устойчивое развитие урбанизированных территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году». – URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2024_/ (дата обращения: 24.01.2026).
- 2 Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А. и др. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика // Гигиена и санитария. 2022. №10. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-atmosfernyh-zagryazneniy-na-zdorovie-naseleniya-diagnostika-otsenka-i-profilaktika> (дата обращения: 24.01.2026).
- 3 Росстат. Здравоохранение в России. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 24.01.2026).
- 4 Клюев Н.Н., Яковенко Л.М. «Грязные» города России: факторы, определяющие загрязнение атмосферного воздуха // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – URL: <https://journals.rudn.ru/ecology/article/view/20190> (дата обращения: 24.01.2026).
- 5 Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) и здоровье человека. – URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 24.01.2026).
- 6 Лукенюк, Е.В. Экологический мониторинг крупного города с транспортно-железнодорожным узлом: Монография / Е.В. Лукенюк, А.И. Лукенюк, Б.А. Анфилофьев. – Самара: СамГУПС, 2013. – 147 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

Организация и управление процессами перевозок и грузовой работой. Проблемы безопасности на железнодорожном транспорте

Грузд А. А., Бабичева А. Н., Мисюрин В. Г. Разработка защитной сетки для снижения последствий поражения объектов железнодорожной инфраструктуры осколками БПЛА.....	3-7
Клабуков Д. В., Бондаренко О. А. Методы повышения участковой скорости поездов на железной дороге.....	8-10
Круглов В. С., Егорова В. В., Бондаренко О. А. Разработка межрегионального железнодорожного тура по Поволжью как направления развития туристских продуктов ОАО «РЖД»	10-13
Кулаков К. В., Леонова С. А. Повышение качества обслуживания пассажиров на железнодорожном вокзале.....	14-16
Лаврова Е. А., Леонова С. А. Повышение качества обслуживания маломобильных пассажиров в транспортно-пересадочных узлах.....	17-19
Мансурова С. В., Москвичев О. В. К вопросу развития транспортно-логистической инфраструктуры Самарской области	19-22
Навалова Ю. М., Бондаренко О. А. Доступность железнодорожной инфраструктуры для маломобильных граждан	23-24
Попсуйко Д. Д., Иванчин С. Ю. Повышение эффективности работы сортировочной станции за счет применения современных технологий	25-27
Клабуков Д. В., Эрлих Н. В. Снижение времени простоя при грузовых операциях на станциях: причины задержек и методы управления	28-30
Киреева О. Д., Мазько Н. Н. Механизация и автоматизация складских работ с сыпучими грузами.....	31-33
Егорова В. В., Круглов В. С., Эрлих Н. В. Совершенствование маневровой работы на железнодорожной станции С	33-37
Жарикова Д. Д., Прусов М. В. Цифровая логистика: интеллектуальные транспортно-логистические системы	38-41
Балашов Д. А., Варламов А. В. Совершенствование технологического процесса взаимодействия грузовой станции с путями необщего пользования.....	41-43
Кулямин К. А., Ключанов А. В. Эффективность применения автономных маневровых устройств для передвижения грузовых вагонов	43-45

СЕКЦИЯ 2

Подвижной состав железных дорог, муниципальный пассажирский транспорт и транспортная техника

Аравин В. Д., Свечников А. А. Защита газотурбинной установки от помпажа.....	46-47
Банникова В. С., Ляшенко В. В. Бережливое производство в эксплуатации на железнодорожном транспорте	48-50
Бучнев Д. А., Балакин А. Ю. Методические аспекты оценки экономической эффективности устройств пассивной безопасности маневровых локомотивов на основе анализа стоимости жизненного цикла.....	50-52
Ваулин В. А., Семенов Н. Д., Муратов А. В. Влияние параметров окружающей среды на точность тепловизионной диагностики дизельных двигателей тепловозов	53-55

Денисюк Д. М., Ляшенко В. В. Применение топливных смесей для снижения расхода дизельного топлива в магистральных тепловозах	55-56
Катаев К. А., Свечников А. А. Система беспилотной доставки узлов тепловоза и слесарного инструмента.....	57-59
Костин Д. О., Свечников А. А. Системы контроля действий локомотивной бригады в пути следования на основе искусственного интеллекта	60-62
Терентьев М. В., Сосевич Н. М. Повышение защищенности тепловоза от атак беспилотных летательных аппаратов.....	63-64
Уколова В. А., Иванов В. В. Перспективы внедрения системы ремонта тепловозов по техническому состоянию	65-66
Шахназарян Р. А., Семенов Н. Д., Муратов А. В. Повышение энергоэффективности транспортных дизелей за счет модернизации используемого топлива.....	67-68
Андреев К. Ю., Жебанов А. В. Минимизация человеческого фактора при проведении текущего отцепочного ремонта грузовым вагонам	69-71
Борисов Р. Ю., Киселев Г. Г. Автоматизация комплексного контроля технического состояния грузовых вагонов для повышения безопасности движения	71-73
Вильданов А. Р., Жебанов А. В. Возможности БПЛА при техническом обслуживании грузовых вагонов за пределами ПТО	74-76
Глухова Н. А., Козак Р. В. Применение систем видеофиксации для контроля технического состояния грузовых вагонов	77-80
Данильцев Г. А., Жебанов А. В. Цифровизация процесса организации работ по формированию комплекса инженерных грунтовых сооружений верхнего строения железнодорожного пути	81-83
Ефремов Г. Ю., Киселев Г. Г. Повышение эффективности текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов на основе ресурсосбережения	83-86
Осипова Т. П., Шмойлов А. Н. Оптимизация производственных процессов вагоноремонтного депо как фактор повышения качества ремонта грузовых вагонов	87-89
Осипова Т. П., Киселев Г. Г. Интеграция технического обслуживания и коммерческого осмотра грузовых поездов на станциях	89-92
Печенкина Ю. А., Коркина С. В. Цифровизация процесса контроля технического состояния грузовых вагонов на ПТП.....	92-94
Печенкина Ю. А., Коркина С. В. Применение технологий технического зрения для контроля технического состояния грузовых вагонов в эксплуатации.....	94-96
Родин М. С., Паренюк М. А. Применение систем видеоконтроля и видеоаналитики технологических процессов на ПТО.....	97-99
Говендяев К. А., Мингалимов Р. Р., Старикова А. Г. Канатная дорога в мегаполисах: перспективы нового транспортного маршрута	99-101
Строганова А. А., Свечников А. А. Прочностной расчет лопастного колеса компрессора электровоза 2ЭС6 «Синара»	102-103
Сутягин К. А., Ляшенко В. В. Повышение эффективности движение поездов в режиме тяги	104-105
Устюжанин Г. И., Ляшенко В. В. Оптимизация расхода электроэнергии на тягу поездов.....	106-108
Халдеев Р. В., Ляшенко В. В. Повышение эффективности системы рекуперативного торможения	108-110

Чинков Г. М., Анахова М. В. Предпосылки к цифровизации инструментального хозяйства сервисного локомотивного депо.....	110-112
--	---------

СЕКЦИЯ 3

Железнодорожный путь и строительство

Исхакова А. Ф. Работа ГНСС в условиях сильных радиопомех	113-117
Жаткин А. И., Кадыров Т. Р. Проектирование биклотоидных кривых для заданного участка.....	118-121
Власова С. Е., Белко А. С. Дилатансия грунтов: нерешённая проблема механики грунтов.....	122-124
Лавренева М. А., Кадыров Т. Р. Сетевое взаимодействие беспилотных летательных аппаратов для мониторинга железнодорожной инфраструктуры в условиях радиоэлектронного подавления	124-127
Хрисанов Д. М. История и развитие аэрофотосъемки.....	128-130
Фахрутдинов Д. Ф. Историческое развитие тахеометров	131-134
Баранов А. С., Бокиев Б. Б. Водонепроницаемость и долговечность обделок тоннелей: новые мембраны и самовосстанавливающиеся материалы	135-137
Бокиев Б. Б., Новикова В. Н. Балластные и безбалластные пути на мостах: влияние на усталость, комфорт и стоимость жизненного цикла	137-139
Жданова А. И., Соколова С. В. Исследование свойств жаростойких бетонов с целью повышения их физико-термических характеристик и долговечности.....	140-141
Кузнецова С. Р., Кадыров Т. Р. Разработка концепции устройства для автоматизированного контроля уровня возвышения наружного рельса в кривой ..	142-145
Белко А. С. Разработка интеллектуального устройства автоматизированного контроля угона рельсовых плетей бесстыкового пути	146-149
Атапин В. В., Синдюков Е. Р. Предложения по совершенствованию нагревательной установки рельсовых плетей	150-152
Рыжков П. В., Соколова С. В. Исследование физико-механических свойств штучных шамотных огнеупоров	152-155
Коновалов Д. В., Баранов А. С. Создание цифровых двойников искусственных сооружений	155-159
Жвавая А. А., Баранов А. С. Обследование искусственных сооружений, в том числе подводных частей опор	160-163
Нечушкин А. С., Грекова Д. В., Трегубова Е. С. Исследование влияния боковых сил в условиях несоблюдения оптимального возвышения наружного рельса в кривой.....	163-165
Атапин В. В., Пестов К. М. Влияние отступлений в геометрии рельсовой колеи на силовые переменные системы «Колесо-рельс»	166-169
Жвавая А. А., Власова С. Е. Анализ геологического строения и геофизических особенностей Красноуфимского разлома	170-173
Власова С. Е., Дмитриев С. В. Исследование конструктивных методов устройства железнодорожного земляного полотна в условиях развития карста.....	174-176
Бусалова В. М. Исследование механизмов воздействия воды на прочность грунтовых массивов	177-180
Бондаренко А. А., Зибиров Р. Р. Особенности эксплуатации высоких насыпей в сложных природных условиях.....	181-186

Нечушкин А. С., Пестов К. М. Исследование влияния отступлений в плане на величину боковых сил при движении грузового вагона в кривых разного радиуса .. 186-190

СЕКЦИЯ 4

Автоматизация, информатизация, телекоммуникации и энергосбережение на железнодорожном транспорте

Галиуллин И. Ф., Добрынин Е. В. Перевод участка системы тягового электроснабжения с однопутного на двухпутный	191-194
Ефимов М. Ю., Харитонов Т. В. Стационарная диагностика секционных изоляторов ...	194-196
Тулемесов А. А., Харитонов Т. В. Использование мультивибратора на объектах транспорта	197-198
Подкорытов А. С., Харитонов Т. В. Источники питания на биполярных транзисторах .	199-200
Сидоров В. В., Хохрин А. С. Проектирование отказоустойчивой локальной вычислительной сети предприятия железнодорожного транспорта	201-203
Акифьев И. О., Баева В. С., Исайчева Н. А. К вопросу интеграции беспилотных летательных аппаратов в процесс технического диагностирования рельсовой линии	204-206
Астапенкова А. А., Хозяинова Е. А., Исайчева А. Г. Анализ инструментов интеграции данных системы технического диагностирования и мониторинга со смежными хозяйствами	207-208
Евстифеева А. Н., Тарасов Е. М. Модернизация автоматической переездной сигнализации подсистемой удаленного оповещения водителей автотранспортных средств	209-211
Ильина К. А., Капаров Д. В., Надежкин В. А. Анализ влияния конструкций изолирующих стыков на электрические параметры примыкающих рельсовых цепей	212-215
Клюев А. А., Данилин К. С., Юсупов Р. Р. О возможности применения аналитического метода исследования помех в каналах АЛС при проезде зон стрелочных переводов ...	215-218
Кутенков М. С., Ижболдин Т. О., Исайчева А. Г. Расширение функциональных возможностей системы АБТЦ-МП	218-220
Поройкова Д. А., Курышин Н. В. Перспективы развития способов контроля технического состояния стрелочных электроприводов	221-223
Шестакова Е. Ю., Башаркин М. В. Разработка системы поддержки принятия решения при поиске и устранении отказов устройств АТДП метрополитена	223-226
Алексеев К. В., Ларкина А. А. Разработка автоматизированной системы диспетчеризации и управления вытягивающего механизма производства ПВХ-покрытий	226-228
Алексеев К. В., Никульников Н. В. Разработка автоматизированной системы диспетчеризации и управления наматывающего устройства производства ПВХ-покрытий	229-231
Журжа Н. А., Засов В. А. Моделирование вычислительного устройства для обнаружения сигналов в сильно зашумленном потоке данных	231-234
Кокин А. Р., Седашкина О. А. Концепция аналитического модуля анализа динамики клинических показателей пациента во времени в веб-калькуляторе расчёта риска развития хронической болезни почек у детей	235-236
Морунов А. В., Засов В. А. Адаптивные подавители помех с виртуальным опорным входом	237-239
Палагин В. О., Засов В. А. Адаптивное подавление коррелированных нестационарных помех в приёмных устройствах автоматической локомотивной сигнализации	239-241
Шаталов Д. А., Иванов Д. В. Применение описательной статистики для первичного анализа геометрии железнодорожного пути	242-244

Эздеков Д. А., Федоров М. Н., Сандлер И. Л. Разработка автоматизированной системы управления мехатронным узлом подготовки к лазерной маркировке детали	244-246
Габдуалиев А. Н., Припутников А. П. Разработка интерактивной веб-модели детерминированного конечного автомата и анализ алгоритмов обработки формальных языков.....	246-248
Зорин Д. В., Липатова М. Н. Мониторинг качества кода в проектах на примере интеграции Sonarqube в сервис авторизации пользователей	249-252
Кокин А. Р., Седашкина О. А. Концепция интеллектуального чат-бота консультирования пациентов с хронической болезнью почек на базе веб-платформы.	252-254
Кривов Д. А., Припутников А. П. Создание генератора эргономичных паролей, соответствующих политике информационной безопасности ОАО «РЖД».....	254-258
Эздеков Д. А., Федоров М. Н., Сандлер И. Л. Интерактивная система генерации, минимизации и визуализации булевых функций для изучения алгебры логики	258-262
Бакалдин И. Ю., Пещеров А. Ю., Тимофеев И. А., Скибин Ю. В. Разработка программного обеспечения для демонстрации работы шифра Атбаш на языке JAVA.....	262-264
Бакалдин И. Ю., Пещеров А. Ю., Тимофеев И. А., Скибин Ю. В. Разработка программного обеспечения для демонстрации работы Алгоритма шифра Виженера на языке JAVA.....	265-267
Клочкова К. А., Французова М. В., Фатеев В. А. Использование протокола NMEA в задачах транспортной логистики и навигации	267-269
Кирсанов С. А., Фомин А. В., Припутников А. П. Разработка децентрализованного защищенного P2P-мессенджера для двух пользователей на платформе JAVA	269-272
Кокин А. Р., Седашкина О. А. Разработка и реализация локальной программной системы поддержки принятия решений при антенатальном гидронефрозе	272-274
Рагулин Н. С., Скибин Ю. В. Управление размещением грузов в контейнерах на основе искусственного интеллекта	274-277
Русанова Е. А., Фатеев В. А. Openstreetmap как источник данных для построения логистических маршрутов	277-279
Храмова Д. М., Юдакова А. А., Фатеев В. А. Использование геоинформационных систем для транспортной логистики.....	279-281
Эздеков Д. А., Федоров М. Н., Сандлер И. Л. Разработка веб-приложения для определения булевой функции заданной диаграммой Эйлера-Венна	281-283

СЕКЦИЯ 5

Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности и охраны труда на железнодорожном транспорте

Корякова К. А., Мартыненко К., Холопов Ю. А. Разработка бюджетной системы бытового мониторинга качества воздуха в жилом помещении	284-285
Кулямин К. А., Холопов Ю. А. Экологические последствия циркуляции микропластика в окружающей среде	285-287
Осипова Т. П., Холопов Ю. А. Противогололедные смеси и экологические последствия их применения.....	287-289
Сутягин К. А., Халдеев Р. В., Валиуллина О. Е. Экологические риски для здоровья населения в городах с высокой концентрацией промышленности и транспорта	290-291