

Сетевой научно-практический журнал
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ
ТРАНСПОРТ**

№1 (37)
апрель 2026



СТРАТЕГИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ
ОТРАСЛИ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТРАНСПОРТНЫЕ
СИСТЕМЫ

ОБЗОРНЫЕ РАБОТЫ

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ,
ТРАНСПОРТНАЯ,
ИНФОРМАЦИОННАЯ
И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ
НА ТРАНСПОРТЕ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Издается с 2017 года

Издатель:



АО «НИИАС»

Адрес редакции:

Россия, г. Москва, Орликов переулок,
д.5, стр.1

Email: journal@vniias.ru

Телефон: +7 (495) 967-77-01

Сайт: <http://www.intelligent-transport.ru/>

Зарегистрирован в Федеральной службе
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
свидетельство о регистрации
Эл № ФС77-91565 от 6 мая 2026 г.

Журнал включен в базу данных
Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ)

Сетевой научно-практический журнал
«Интеллектуальный транспорт» публикует
основные научные результаты соискателей
учёной степени кандидата и доктора
наук по следующим специальностям
и соответствующим им отраслям науки:

- 1.2.1. Искусственный интеллект
и машинное обучение
(технические науки)
- 2.9.1. Транспортные и транспортно-
технологические системы страны,
ее регионов и городов, организация
производства на транспорте
(технические науки)
- 2.9.4. Управление процессами перевозок
(технические науки)
- 2.9.8. Интеллектуальные транспортные
системы (технические науки)

Полная или частичная перепечатка,
сканирование любого материала текущего
номера возможны только с письменного
разрешения редакции.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Суханов Андрей Валерьевич

к.т.н., доцент, главный эксперт Департамента
научных исследований, аналитики
и совершенствования научно-технической
деятельности АО «НИИАС»

Член Российской ассоциации
искусственного интеллекта

Эксперт комиссии по вопросам
научно-технологического развития
и образования Общественного совета
при Минтрансе России

Алиев Вугар Амирович

д.ф.-м.н., профессор,
главный научный сотрудник Института физики,
Генеральный директор AMIR Technical Services
Company, Республика Азербайджан

Бочков Константин Афанасьевич

д.т.н., профессор «БелГУТ»,
Республика Беларусь

Бутакова Мария Александровна

д.т.н., профессор, профессор РГУПС

Гришаев Сергей Юрьевич

к.т.н., заместитель Генерального директора –
директор Ростовского филиала АО «НИИАС»

Зуев Александр Валерьевич

д.т.н., доцент, начальник управления
организационной и экспертной деятельности –
заместитель главного ученого секретаря
ДВО РАН, ДВО РАН, заведующий
лабораторией аэрокосмических
и морских робототехнических комплексов
ИАПУ ДВО РАН

Ковалев Сергей Михайлович

д.т.н., профессор, научный руководитель
Ростовского филиала АО «НИИАС»

Котенко Алексей Геннадьевич

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник
АО «ВНИИЖТ»

Матюхин Владимир Георгиевич

д.т.н., председатель Экспертного совета
АО «НИИАС»

Пазойский Юрий Ошарович

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Железнодорожные станции
и транспортные узлы», РУТ (МИИТ)

Попов Павел Александрович

к.т.н. заместитель директора
Научно-исследовательского
института транспорта РУТ (МИИТ)

Соколов Сергей Викторович

д.т.н., профессор, профессор РГУПС,
главный научный сотрудник АО «НИИАС»

Хатламаджиян Агоп Ервандович

к.т.н., доцент, заместитель
Генерального директора АО «НИИАС»

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Розенберг Ефим Наумович

д.т.н., профессор, первый заместитель
Генерального директора АО «НИИАС»

Ответственный секретарь

Соловьева Юлия Геннадьевна

Главный специалист Департамента
корпоративных коммуникаций АО «НИИАС»

Выпускающий редактор

Левшина Анна Андреевна

Специалист 1 категории Департамента
научных исследований, аналитики
и совершенствования научно-технической
деятельности АО «НИИАС»

Бородин Андрей Федорович

д.т.н., профессор, начальник отдела
АО «ИЭРТ»

Броневиц Андрей Георгиевич

д.ф.-м.н., главный научный сотрудник
АО «НИИАС»

Грибова Валерия Викторовна

чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор,
заместитель директора по научной работе
ДВО РАН

Гуров Юрий Владимирович

к.т.н., начальник ОСКиДИ
Ростовского филиала АО «НИИАС»

Коваленко Николай Иванович

д.т.н., профессор РУТ (МИИТ)

Ли Инь

к.ф.-м.н.,
доцент Харбинского технологического
института, КНР

Ольгейзер Иван Александрович

к.т.н., доцент, заместитель начальника
опытно-конструкторского бюро АО «НИИАС»

Папич Любиша

д.т.н., профессор,
директор Исследовательского центра DQM,
Республика Сербия

Сабанов Алексей Геннадьевич

д.т.н., доцент, главный эксперт НТК ТИО

Хабаров Валерий Иванович

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
СГУПС

Чжан Дачжи

Профессор Харбинского технологического
института, КНР

Шубинский Игорь Борисович

д.т.н., профессор, главный эксперт
АО «НИИАС», заместитель генерального
директора ООО «ИБ Транс»

Яковлев Константин Сергеевич

к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ФИЦ
ИУ РАН

Шабалин Николай Григорьевич

д.т.н., профессор, научный руководитель
АО «НИИАС»

ОГЛАВЛЕНИЕ

СТРАТЕГИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Бочков А.В., Озеров А.В., Куроптева А.П.

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРАКТИКИ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ РАЗРАБОТКАМИ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ: МОДЕЛИ, СТРАТЕГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ	5
--	---

Ахмадов Г.Д., Давыдов Р.Д.

ТЕНДЕНЦИИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В СФЕРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	25
--	----

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ, ТРАНСПОРТНАЯ, ИНФОРМАЦИОННАЯ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ

Кукушкин С.С., Кукушкин Л.С., Махов Ф.С.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ КОДИРОВАНИЯ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ	40
--	----

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Душкин Р.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	51
---	----

Воробьев А.И., Маркаров А.И., Селезнев Д.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ВОДИТЕЛЯ В УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ	61
--	----

Овтин В.И.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ МАСЛА ЛОКОМОТИВА	69
---	----

ОБЗОРНЫЕ РАБОТЫ

Бочков А.В.

ГОД ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ: ИТОГИ РАБОТЫ НТС АО «НИИАС» В 2025 ГОДУ	80
---	----



НИИАС празднует юбилей



В феврале АО «НИИАС» отметил 70-летие со дня основания – значимую веху для отечественной железнодорожной науки и отрасли в целом. За семь десятилетий институт прошёл путь от разработчика первых систем автоматики и телемеханики до одного из ведущих научно-технологических центров, формирующих современную цифровую повестку железных дорог.

Сегодня НИИАС играет ключевую роль в создании и внедрении интеллектуальных систем управления движением, цифровых платформ, решений в области имитационного моделирования, роботизации и беспилотных технологий. Разработки института направлены на повышение безопасности, надёжности и эффективности перевозочного процесса, а также на развитие единой цифровой экосистемы железнодорожного транспорта.

Выступая с приветственным словом на юбилейном мероприятии, генеральный директор – председатель правления ОАО «РЖД» Олег Белозёров подчеркнул: «Семь десятилетий – целая эпоха. Всё это время НИИАС является локомотивом научно-технического прогресса на железных дорогах», отметив стратегическую роль института в развитии отрасли.

В свою очередь генеральный директор НИИАС Александр Долгий акцентировал внимание на преемственности научных школ и эволюции института – от первых систем автоматики до современных цифровых платформ, робототехнических комплексов и беспилотных технологий. По его словам, история НИИАС – это история непрерывного технологического развития железнодорожного транспорта.

Юбилей стал поводом подвести итоги и наметить дальнейшие ориентиры, связанные с цифровой трансформацией и внедрением передовых решений на сети ОАО «РЖД».



АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРАКТИКИ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ РАЗРАБОТКАМИ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ: МОДЕЛИ, СТРАТЕГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Бочков Александр Владимирович, д.т.н., ученый секретарь, АО «НИИАС», Москва, Россия,
E-mail: a.bochkov@vniias.ru

Озеров Алексей Валерьевич, начальник Международного управления – начальник Центра управления
интеллектуальной собственностью, АО «НИИАС», Москва, Россия,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru

Куроптева Алеся Павловна, главный специалист, АО «НИИАС», Москва, Россия,
E-mail: A.kuropteva@vniias.ru

АННОТАЦИЯ

В статье представлен всесторонний анализ международных подходов к управлению научно-техническими разработками в железнодорожной отрасли. Рассмотрены модели организации НИОКР в США, других странах Европейского Союза, Германии, Южной Кореи, Японии, Китае и Индии. Особое внимание уделено анализу российской модели управления, включая наднациональный уровень координации в рамках Совета по железнодорожному транспорту СНГ, корпоративный уровень холдинга «РЖД» и его научно-отраслевого комплекса. Выявлены ключевые тенденции: определяющая роль государства как стратега и источника финансирования, консолидация усилий в рамках государственно-частных партнерств, а также универсальность приоритетных направлений исследований. Представлен расширенный сравнительный анализ моделей управления по множеству критериев. Отдельное внимание уделено методологии реальных опционов как инструменту повышения эффективности управления инновационными проектами в условиях высокой неопределенности. Предложена математическая модель для оценки стоимости гибкости управления проектами НИОКР на основе формулы Блэка–Шоулза. Сделан вывод о том, что выбор модели управления разработками определяется не только экономической эффективностью, но и геополитическими стратегиями.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, управление НИОКР, инновации, государственно-частное партнерство, сравнительный анализ, реальные опционы, модель Блэка–Шоулза, цифровизация, интероперабельность, технологический суверенитет.

Введение

Железнодорожная отрасль в XXI веке переживает период глубокой технологической трансформации. Глобальные вызовы, такие как необходимость декарбонизации транспорта, повышение безопасности и пропускной способности сетей, а также интеграция с цифровыми платформами «мобильность как услуга», требуют от участников рынка значительных инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР). Однако высокая капиталоемкость, длительные сроки реализации проектов и жесткие требования к надежности и безопасности делают управление инновациями в этой сфере особенно сложной задачей [1, 2].

Необходимость реализации стратегических задач развития привела к тому, что ведущие компании коренным образом изменили подходы к сотрудничеству с научно-исследовательскими учреждениями. В мировой практике сложились две основные модели организации НИОКР: интегрированная (корпоративная), предполагающая создание собственных научных центров внутри крупных корпораций, и кооперационная (сетевая), основанная на делегировании функций стратегического управления специализированным органам и аутсорсинге исследований [3].

Цель данной работы – провести сравнительный анализ международной практики управления научно-техническими разработками в железнодорожной отрасли, выявить ключевые тенденции и факторы успеха, а также предложить методологический подход к повышению эффективности управления инновационными проектами на основе теории реальных опционов.

1. Обзор международных моделей управления НИОКР

1.1 Соединенные Штаты Америки: создание инновационной среды

В США, где насчитывается около 700 частных грузовых железнодорожных компаний при доминировании гигантов (BNSF, Union Pacific, Norfolk Southern, CSX), а пассажирские перевозки представлены как общенациональным оператором Amtrak, так и частными пригородными компаниями, государство не управляет разработками напрямую. Вместо этого оно создает «инновационный лифт», финансируя рискованные исследования, предоставляя уникальную испытательную инфраструктуру и обеспечивая трансфер знаний [4].

Ключевую роль в этой модели играет Федеральное железнодорожное агентство (FRA) при Министерстве транспорта США. Изначально созданное для контроля безопасности, FRA со временем взяло на себя функции стимулирования инноваций. Большую часть спонсируемых FRA исследований проводят подрядчики и получатели грантов – университеты, научно-исследовательские институты и консалтинговые фирмы. Контракты заключаются на конкурсной основе по принципу наилучшего соотношения цены и качества [5].

Важнейшим элементом инфраструктуры является Транспортный технологический центр (TTC) в Пуэбло, штат Колорадо – крупнейший в мире полигон, располагающий 78 км испытательных путей и высокотехнологичными лабораториями. TTC финансируется за счет государственных субсидий (не более 30%) и частных инвестиций членов Ассоциации американских железных дорог.

Отдельного внимания заслуживает Совет по транспортным исследованиям (TRB) при Национальной академии наук. Эта некоммерческая организация, финансируемая на паритетных началах государством и частным капиталом, выполняет функции связующего звена между наукой и бизнесом. TRB способствует формированию междисциплинарных исследовательских групп, оказывает консультативную поддержку, организует международные конференции и, что самое важное, занимается распространением и внедрением результатов интеллектуальной деятельности. TRB ежегодно проводит более 200 мероприятий, объединяя свыше 7000 постоянных членов и сотрудничая с более чем 150 университетами по всему миру [6].

Американская модель доказала свою высокую эффективность в создании «инновационной среды» и быстром поиске решений через широкий круг исполнителей, но она требует развитой системы венчурного финансирования и отлаженных механизмов трансфера технологий.

1.2 Европейский Союз: консолидация ради интероперабельности

В Европе, где остро стоит задача создания единого железнодорожного пространства, была выбрана прямо противоположная стратегия – консолидация усилий и ресурсов. Флагманскими инициативами стали программы Shift2Rail (2014-2024) и её преемник Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail).

EU-Rail представляет собой государственно-частное партнерство и институт Европейского Союза с совокупным бюджетом более 1,2 млрд евро [7]. В рамках партнерства объединены 30 ключевых игроков: производители (Alstom, Siemens Mobility, Hitachi Rail), операторы (Deutsche Bahn, SNCF, Ferrovie dello Stato Italiane), управляющие инфраструктурой (ADIF, ProRail) и научные организации (DLR, CEIT) из разных стран ЕС [8].

Ключевой особенностью европейского подхода, выгодно отличающей его от многих других, является обеспечение полноценной преемственности. Новые участники и исследовательские консорциумы имеют доступ ко всей истории развития технологий: от первых концепций и промежуточных результатов до финальных отчетов и спецификаций, разработанных в рамках предыдущих программ Shift2Rail. Это позволяет избежать дублирования работ и концентрировать ресурсы на решении новых, более сложных задач, а также способствует разработке интероперабельных решений, пригодных для использования во всех странах-членах ЕС.

Исследования в рамках EU-Rail сгруппированы в несколько инновационных блоков (Innovation Programme, IP), охватывающих все аспекты железнодорожной системы:

- IP1: Пассажирские поезда, включая высокоскоростные;
- IP2: Системы управления движением (ERTMS) и безопасности;

- IP3: Оптимизация использования инфраструктуры и техническое обслуживание;
- IP4: Цифровые сервисы в концепции «мобильность как услуга» (MaaS);
- IP5: Устойчивое развитие грузовых перевозок, включая цифровую автоматическую сцепку (DAC);
- IP6: Инструменты оперативного моделирования и классификатор энергоэффективности EN 50591.

На начало 2025 года Европейская комиссия рассматривает новую инициативу в рамках следующего многолетнего финансового плана, предусматривающую выделение 3 млрд евро на дальнейшее развитие технологий ERTMS, FRMCS (Future Railway Mobile Communication System) и DAC, а также на поддержку перехода от исследований к предварительному внедрению в масштабах всей сети ЕС [2].

1.3 Германия: открытые инновации и национальная стратегия

Германия, являясь локомотивом европейской экономики и железнодорожной отрасли, реализует собственную стратегию, гармонизированную с общеевропейскими инициативами. Основным оператором выступает государственный холдинг Deutsche Bahn AG (DB). Компании холдинга, как правило, не ведут НИОКР самостоятельно, а выступают инициаторами и заказчиками, действуя в рамках принципов «открытых инноваций» [9]. Они проводят отбор решений, отвечающих текущим и стратегическим целям.

В 2018 году была представлена инициатива «Цифровые железные дороги Германии» (Digitale Schiene Deutschland, DSD) [10]. Для управления проектами внедрения цифровых систем микропроцессорной централизации (МПЦ) и ETCS в 2019 году была учреждена дочерняя компания Digitale Schiene Deutschland.

Цифровизация DSD реализуется поэтапно. Первый этап – создание базовой цифровой инфраструктуры (внедрение МПЦ и ETCS). На последующих этапах планируется развертывание интеллектуальной системы диспетчерского управления пропускной способностью (CTMS), системы автоведения (АТО) и интегрированной системы управления движением на основе поездоцентричной логики безопасности – Advanced Protection System (APS). Логика APS разрабатывалась в тесной кооперации: сначала в рамках швейцарской программы SmartRail 4.0, затем в европейской инициативе RCA, и в 2023 году DB InfraGO совместно с партнерами приступила к подготовке финальных спецификаций.

Эта модель демонстрирует, как государство в лице DB и правительства задает стратегические цели, подключается к общеевропейским проектам для разработки стандартов, а затем выступает гарантированным заказчиком для частных компаний-разработчиков. Важно отметить, что две трети всех НИОКР в Германии финансируются частным сектором, и лишь одна треть – государством, при этом расходы немецкого бизнеса на исследования за рубежом растут быстрее внутренних [11].

1.4 Южная Корея: государственное планирование и трансфер технологий

Южнокорейская модель представляет собой яркий пример государственного стратегического планирования и концентрации ресурсов на прорывных направлениях. Научно-исследовательская деятельность контролируется Министерством науки, информационных технологий и перспективного планирования, которое покрывает до 80% стоимости исследований за счет государственных субсидий. Приоритет отдается проектам, соответствующим национальным стратегиям «цифрового» и «зеленого» роста и укрепляющим позиции страны на мировом рынке высокоскоростных железных дорог [12].

Ключевыми элементами системы являются три государственных института:

1. Корейский институт оценки и планирования строительства и транспорта (KICTEP) – занимается стратегическим планированием, оценкой эффективности проектов и вовлечением малого и среднего бизнеса в инновационную деятельность.
2. Корейский институт железнодорожных исследований (KRRRI) – ведущий научный центр, реализующий прикладные исследования, разрабатывающий отраслевые стандарты и проводящий экспертизу. Бюджет KRRRI составляет около 100 млн долл. США (80% – госсубсидии, 20% – заказы промышленности), штат – 373 сотрудника, из которых 262 имеют докторскую степень [13].

3. Корейский институт машиностроения и материалов (КИММ) – проводит НИОКР в области машиностроения и материаловедения, обеспечивая трансфер технологий, в том числе для малых и средних предприятий, что позволяет им впоследствии вырасти в средние и крупные компании.

Основной оператор – Корейская государственная железнодорожная корпорация (KORAIL) – определяет практические задачи и внедряет готовые разработки институтов и производителей (Hyundai Rotem). Государственное финансирование является основой для стратегических разработок. Например, в проекте высокоскоростного поезда EMU-370 с общим бюджетом 22,5 млрд вон государство выделило 18 млрд вон (80%), а частные компании – 4,5 млрд вон (20%) [12].

1.5 Япония: эволюционное развитие и корпоративная ответственность

Японская модель управления НИОКР в железнодорожной отрасли сформировалась под влиянием уникальной корпоративной культуры с ее методами мотивации, коллективной ответственностью и использованием инициативы «снизу» (правило «ринги»). После приватизации национальных железных дорог в 1987 году была создана Japan Railway Group, состоящая из восьми частных компаний, а функции научного центра были переданы НИИ железнодорожного транспорта (RTRI) [14].

RTRI – это мощная научная организация, сотрудники которой (534 человека, из них 207 докторов наук) объединены в 17 отделов и обладают развитой экспериментальной базой из 4 испытательных центров. Задачи RTRI включают активизацию НИОКР для повышения безопасности, освоение передовых технологий и удержание мирового лидерства. Доход института от основной деятельности составляет 17,7 млрд йен (около 8,5 млрд руб.) [14].

Каждые пять лет RTRI разрабатывает долгосрочный план НИОКР. План на 2025-2030 годы включает пять проектных направлений:

1. Повышение устойчивости к стихийным бедствиям.
2. Развитие автоматизированного управления поездами.
3. Экономия трудозатрат на техническое обслуживание.
4. Декарбонизация железнодорожных систем.
5. Изучение специфических явлений с помощью моделирования.

Инвестиции в НИОКР на этот период составят 16,7 млрд йен. Новые разработки проходят жесткую процедуру: тестирование на стендах оператора, экспертизу и сертификацию в RTRI, утверждение Советом директоров JR Group и только затем вводятся в эксплуатацию. Японская модель отличается высокой степенью интеграции науки и бизнеса, долгосрочным планированием и фокусом на эволюционное совершенствование.

1.6 Китай: мобилизационная модель и глобальное лидерство

Китай демонстрирует наиболее масштабный и централизованный подход к управлению железнодорожными НИОКР. Исследования координируются Министерством транспорта КНР и Китайской государственной железнодорожной компанией (CR) в рамках национальных стратегий, таких как «Сделано в Китае 2025» и программа «Инновации 2035». Значительная часть финансирования поступает из государственного бюджета, и Китай занимает первое место в мире по абсолютным расходам на железнодорожные НИОКР. Например, на разработку поездов серии «Фусин» (Fuxing) было направлено более 4 млрд долл. США.

Ключевые игроки:

1. Китайская академия железнодорожных наук (CARS) – ключевой государственный НИИ, занимающийся разработкой технологий высокоскоростных поездов, управлением движением, стандартизацией, испытаниями и сертификацией. В CARS работают 2468 сотрудников, из которых более 1300 – научные сотрудники [15].
2. Китайская корпорация CRRC – крупнейший в мире производитель подвижного состава. Корпорация имеет 11 научных центров национального уровня, 22 технологических центра и сеть из 16 отечественных и 18 зарубежных исследовательских центров (на-

пример, CRRC Qingdao Sifang, CRRC Zhuzhou Locomotive). Затраты CRRC на НИОКР составляют 5-6% от годовой выручки – это один из самых высоких показателей в тяжёлом машиностроении (средний по отрасли обычно 3-4%).

3. Ведущие вузы (Юго-западный университет Цзяотун, Пекинский университет Цзяотун) готовят кадры и проводят фундаментальные исследования.

Китайская модель демонстрирует высочайшую эффективность в реализации крупных, капиталоемких проектов с четко определенными сроками, но требует значительных бюджетных вливаний и менее гибка по сравнению с рыночными моделями.

1.7 Индия: догоняющая модель и борьба за суверенитет

Индийская железнодорожная система – одна из крупнейших в мире, и страна сталкивается с колоссальными вызовами по ее модернизации. Однако модель управления НИОКР здесь существенно отличается от лидеров отрасли. Индия пока заметно отстает по масштабам финансирования науки: внутренние затраты на исследования и разработки (ВЗИР) составляют лишь 0,65% ВВП, а доля частного сектора в финансировании – 36,4%, тогда как в странах-конкурентах этот показатель превышает 70%. Серьезной проблемой остается «утечка умов» (по данным NSF, в 2021 г. 29% всех иностранных ученых и инженеров в США были выходцами из Индии) [18].

НИОКР в индийских железных дорогах представляют собой экосистему, где центральная роль принадлежит государственной Организации по исследованиям и стандартам (RDSO) при Министерстве железных дорог. RDSO выполняет функции головного научного центра, разработчика стандартов, испытательного полигона и сертификационного органа. Главная цель RDSO – снижение зависимости от иностранных технологий через программу Make in India. RDSO разработало и утвердило более 1000 стандартов и выступает главным фильтром для допуска технологий на сеть, занимаясь также расследованием причин отказов и материаловедческими исследованиями.

Несмотря на значительные инвестиции в инфраструктуру (около \$30 млрд ежегодно), индийская система НИОКР на данном этапе построена как «догоняющая модель» с попыткой опереться на национальные НИИ и импортозамещение. Она ориентирована на стандартизацию и безопасность существующей сети, а не на прорывные исследования, что несет риск превращения страны в сборочный цех без права голоса в разработке новых поколений техники [17].

2. Российская модель управления научно-техническими разработками в железнодорожной отрасли

Российская система управления научно-техническими разработками представляет собой многоуровневую структуру, сочетающую элементы наднациональной координации, государственного стратегического планирования и корпоративного управления в рамках холдинга «РЖД». В отличие от рассмотренных ранее моделей, российская система характеризуется высокой степенью централизации и интеграции науки в структуру государственной компании-монополиста, что определяет ее уникальные особенности.

2.1 Наднациональный уровень: координация в рамках СНГ

Важной особенностью российской модели является ее интеграция в более широкий контекст сотрудничества железнодорожных администраций государств-участников Содружества Независимых Государств (СНГ). основополагающим документом, регламентирующим этот процесс, выступает «Положение по организации планирования, финансирования, выполнения и приемки работ, направленных на научно-техническое развитие железнодорожного транспорта», утвержденное Советом по железнодорожному транспорту государств-участников СНГ [26].

Этот документ, регулярно обновляемый (последняя редакция – июнь 2025 года), устанавливает единые правила для работ, включенных в План НИОКР Совета. Ключевыми элементами этой системы являются:

1. **Централизованное планирование:** Формирование проекта Плана НИОКР осуществляется на основании решений Совета, совещаний уполномоченных представителей железнодорожных администраций и предложений рабочих органов Совета. Исполнители (юридические лица) готовят заявки на включение работ в проект Плана НИОКР и направляют их в Дирекцию Совета до 1 июня года, предшествующего планируемому [26].
2. **Долевое финансирование:** Финансирование работ осуществляется железнодорожными администрациями в долях, установленных Советом. Сумма средств для каждой администрации определяется по формуле:

$$B_i = C \times \frac{\Pi_i}{\sum \Pi_i}, \quad (1)$$

где B_i – сумма средств i -й железнодорожной администрации; C – общая стоимость работы; $\sum \Pi_i$ – сумма долей финансирования всех участвующих администраций (в процентах); Π_i – доля финансирования i -й администрации [26].

Средства перечисляются на счет Дирекции Совета двумя траншами: 50% – в первом квартале планового года, оставшаяся часть – после приемки выполненных работ. Предусмотрен механизм перерасчета долей при присоединении новых участников к финансированию конкретной работы.

3. **Работы общесетевого характера:** Отдельно выделяется категория работ, связанных с реализацией единых подходов к технологическим процессам, обеспечивающим межгосударственные перевозки. Переход на новую технологию по результатам таких работ предусматривается всеми железнодорожными администрациями на основе технико-экономической целесообразности. При этом неучастие в финансировании не исключает возможность использования новой технологии с согласия разработчиков, но может повлечь риски, связанные с ограничением использования результатов работ [26].

Таким образом, на наднациональном уровне формируется единое нормативное и финансовое пространство для проведения НИОКР, результаты которых имеют значение для всего железнодорожного транспорта на постсоветском пространстве.

2.2 Корпоративный уровень: стратегическое планирование и научно-отраслевой комплекс

Основным центром управления отраслевой наукой в России выступает холдинг «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). Стратегические приоритеты определяются в документах холдинга, ключевым из которых является Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и перспективу до 2030 года (известная как «Белая книга») [24]. На ее основе формируются Комплексная программа инновационного развития холдинга (КПИР) и программы инновационного развития дочерних обществ.

Ключевую роль в выполнении НИОКР играет научно-отраслевой комплекс (НОК) холдинга «РЖД». В его состав входят ведущие отраслевые институты, такие как АО «НИИАС», АО «ВНИИЖТ», АО «ИЭРТ», АО «ВНИКТИ», а также проектно-конструкторские бюро. Для обеспечения взаимодействия этих организаций создан Координационный совет институтов НОК, на заседаниях которого обсуждаются единые подходы к управлению совместными проектами, формирование единой научно-исследовательской программы в контексте национальных проектов (например, «Эффективная транспортная система»), а также вопросы привлечения внешнего финансирования [24].

Инструментом реализации научно-технической политики холдинга является План научно-технического развития ОАО «РЖД». Для его формирования и контроля исполнения была создана и внедрена автоматизированная система «Единая база знаний», обеспечивающая регистрацию, учет и хранение результатов научно-технических и консультационных работ с целью исключения их повторного выполнения. Это позволяет эффективно решать задачи накопления и повторного использования интеллектуального капитала в масштабах всего холдинга [25].

В 2023 году в рамках реализации КПИР были осуществлены следующие ключевые инновационные проекты [24]:

- внедрение инновационного подвижного состава для пассажирских перевозок;
- разработка электровоза ЕМКА2 с комбинированным (контактно-аккумуляторным) питанием и маневровых локомотивов на альтернативном топливе;
- внедрение интеллектуальных и автоматизированных систем обслуживания клиентов грузовых перевозок, включая «Автоагент», «Электронное досудебное урегулирование убытков», «RZD Market»;
- внедрение технологии виртуальной сцепки (беспроводной межвагонной связи) и технологии управления грузовым поездом без помощника машиниста;
- разработка и испытания систем компьютерного зрения для организации движения высокоавтоматизированных электропоездов на МЦК;
- развитие технологий квантовых коммуникаций: новые сегменты квантовой сети доведены до общей протяженности 3295 км, ведется 25 научно-исследовательских проектов по созданию отечественного оборудования и компонентов.

2.3 Политика импортозамещения программного обеспечения

Важным направлением научно-технической политики холдинга «РЖД» является переход на преимущественное использование отечественного программного обеспечения. В 2023 году целевые показатели по импортозамещению были достигнуты [24]:

- 173 автоматизированные системы, принадлежащие РЖД, зарегистрированы в Едином реестре российских программ и баз данных;
- доля расходов на закупку российского ПО и сопутствующих услуг достигла 81,76% от общих затрат на программное обеспечение, превысив целевой показатель в 78,0%;
- на отечественное ПО переведено более 144 тысяч пользователей систем электронного документооборота, 133,7 тысячи пользователей ERP-систем, более 31 тысячи пользователей систем бизнес-аналитики.

Российская модель управления научно-техническими разработками представляет собой вертикально-интегрированную систему, ядром которой является холдинг «РЖД» и его научные институты. При сохранении высокой степени централизации, система демонстрирует способность к реализации масштабных проектов в области цифровизации и импортозамещения, а также интегрирована в наднациональные структуры координации на пространстве СНГ.

3. Расширенный сравнительный анализ моделей управления

Проведенный обзор позволяет выделить множество ключевых параметров, по которым модели управления НИОКР в разных странах существенно различаются. Добавление российской модели в сравнительную матрицу позволяет выявить ее уникальные черты и место в мировой практике. Для более глубокого понимания проведем сравнительный анализ по нескольким основным критериям: организационная структура, механизмы финансирования, трансфер технологий, управление интеллектуальной собственностью, координация и планирование, а также адаптивность к внешним изменениям.

3.1 Организационная структура и институциональная среда

Организационная структура управления НИОКР является фундаментальной характеристикой, определяющей все остальные аспекты модели. В рассмотренных странах можно выделить три базовых типа структур: вертикально-интегрированная (Россия, Китай, Южная Корея, Япония), сетевая (США) и кооперационная (ЕС, Германия).

Российская вертикально-интегрированная модель базируется на мощном научно-отраслевом комплексе (НОК) внутри государственного холдинга «РЖД». Это обеспечивает непосредственную связь между заказчиком (оператором) и исполнителями (научными институтами). Институты НОК, такие как ВНИИЖТ, НИИАС, ИЭРТ, не просто выполняют

исследования, но и участвуют в формировании единой технической политики, разработке нормативной базы и проведении экспертизы. Координация осуществляется через специально созданные органы, такие как Координационный совет институтов НОК, что позволяет избежать дублирования работ и консолидировать усилия на ключевых направлениях. Уникальной особенностью является наличие наднационального уровня координации в рамках Совета по железнодорожному транспорту СНГ, что создает единое нормативное поле на постсоветском пространстве и позволяет распределять затраты на разработки, имеющие значение для нескольких стран.

Китайская модель во многом схожа с российской по степени централизации, но отличается масштабами и наличием мощного производственного крыла в лице корпорации CRRC. CARS выступает в роли главного академического центра, а CRRC – главного индустриального партнера, причем оба находятся под жестким государственным контролем. Создание 18 зарубежных исследовательских центров CRRC свидетельствует о глобальной экспансии и стремлении встраиваться в локальные инновационные экосистемы по всему миру.

Японская модель представляет собой особый случай, где после приватизации была создана специализированная научная структура (RTRI), обслуживающая все компании JR Group на коммерческой основе. Это сочетает элементы вертикальной интеграции (RTRI исторически и функционально тесно связан с операторами) и рыночных отношений (институт финансируется за счет взносов и заказов компаний группы). Модель отличается высокой долей докторов наук в штате (более 50%) и фокусом на долгосрочные (пятилетние) планы развития.

Южнокорейская модель построена на системе из нескольких специализированных государственных институтов (KICTEP, KRRI, KIMM), которые разделили между собой функции стратегического планирования, прикладных исследований и трансфера технологий. Это создает четкое разделение труда и позволяет эффективно вовлекать малый и средний бизнес в инновационные процессы через механизмы технологического трансфера.

Американская сетевая модель радикально отличается от всех вышеперечисленных. При наличии гигантских частных операторов (BNSF, UP) государство не создает собственных отраслевых НИИ. Вместо этого FRA и TRB формируют «инновационную среду», выступая в роли заказчиков и координаторов, а непосредственными исполнителями выступают университеты, консалтинговые фирмы и стартапы. TTC в Пуэбло является уникальным примером государственно-частной инфраструктуры, доступной для всех игроков. Эта модель максимально гибка и ориентирована на быстрый поиск решений.

Европейская кооперационная модель (EU-Rail) представляет собой попытку создать единое исследовательское пространство для множества стран с разными научными и промышленными традициями. Объединение в консорциум 30 ключевых игроков, включая прямых конкурентов (например, Siemens и Alstom), является сложной организационной задачей, но позволяет добиться синергии и, что самое важное, разрабатывать интероперабельные стандарты, пригодные для всей европейской сети.

3.2 Механизмы финансирования и распределения ресурсов

Финансовые механизмы являются вторым критическим параметром, определяющим устойчивость и эффективность модели.

Как видно из Таблицы 1, модели кардинально различаются по доле частного финансирования. В США и Германии частный сектор играет определяющую роль, что стимулирует конкуренцию и коммерциализацию результатов. В азиатских моделях и России доминирует государственное финансирование, что обеспечивает стабильность и возможность реализации долгосрочных программ, но снижает гибкость.

Уникальным является механизм долевого финансирования в рамках Совета по железнодорожному транспорту СНГ. Формула (1) позволяет странам с разным экономическим потенциалом участвовать в совместных разработках пропорционально своим возможностям, при этом результаты становятся доступными всем участникам. Это пример эффективной наднациональной кооперации, не имеющей аналогов в других регионах мира.

Таблица 1

Сравнение механизмов финансирования НИОКР

Модель	Основные источники финансирования	Механизмы распределения	Доля частного сектора
Россия	Бюджет холдинга «РЖД», госпрограммы, долевое финансирование в рамках СНГ	Централизованное планирование через КПИР и План НТР, конкурсные процедуры	Низкая (преимущественно в рамках дочерних обществ)
США	Госбюджет (через FRA), частные инвестиции членов AAR	Конкурсные контракты (лучшее соотношение цены и качества), гранты университетам	Высокая (ТТС финансируется на 70% частным капиталом)
ЕС	Бюджет ЕС (Horizon Europe), взносы участников консорциумов	Целевые программы (IP), конкурсный отбор проектов в рамках EU-Rail	Средняя (государственно-частное партнерство)
Германия	Частный сектор (2/3), госбюджет (1/3)	Открытые инновации, заказ со стороны DB, участие в европейских программах	Высокая
Корея	Госсубсидии (до 80%), частные инвестиции (20%)	Целевое финансирование через KICTEP, распределение по институтам	Средняя (с акцентом на софинансирование)
Япония	Взносы компаний JR Group, доходы от коммерческой деятельности RTRI	Долгосрочное планирование (5-летние планы RTRI)	Высокая (через систему взносов)
Китай	Госбюджет, средства CR и CRRC	Централизованное планирование в рамках нацстратегий	Низкая
Индия	Госбюджет	Централизованное через RDSO	Очень низкая (36,4% ВЗИР в целом по стране)

3.3 Трансфер технологий и управление интеллектуальной собственностью

Механизмы трансфера технологий и подходы к управлению интеллектуальной собственностью (ИС) являются ключевыми факторами, определяющими, насколько быстро результаты НИОКР внедряются в практику и приносят экономический эффект.

В **российской модели** трансфер технологий осуществляется преимущественно внутри вертикально-интегрированной структуры. Результаты НИОКР, выполненные институтами НОК, передаются для внедрения в дочерние общества холдинга «РЖД». Инструментом накопления и повторного использования знаний служит «Единая база знаний», которая предотвращает дублирование работ и позволяет эффективно управлять интеллектуальным капиталом [25]. Права на ИС, как правило, остаются у холдинга, что обеспечивает контроль, но может снижать мотивацию сторонних разработчиков к сотрудничеству.

В **американской модели** трансфер технологий является одной из главных функций TRB. Совет активно занимается распространением результатов исследований через публикации, конференции и онлайн-платформу. Университеты, получающие гранты FRA, как правило, сохраняют права на свои разработки, что стимулирует их к дальнейшей коммерциализации через создание стартапов или продажу лицензий. Это создает динамичный рынок технологий.

Европейская модель в рамках EU-Rail решает задачу управления ИС в условиях кооперации множества партнеров. Соглашения о консорциуме четко определяют права на фоновые (внесенные участниками) и форграундные (созданные в ходе проекта) знания. Главной целью является не столько коммерческая выгода от лицензирования, сколько обеспечение интероперабельности и широкого внедрения разработанных стандартов (ERTMS, FRMCS, DAC) по всей Европе. Тот, кто формирует стандарт, получает контроль над будущим рынком, и европейская модель демонстрирует это наиболее ярко.

В азиатских моделях (Китай, Корея, Япония) трансфер технологий часто носит целенаправленный, программный характер. Например, в Корее KIMM специально ориентирован на передачу технологий малому и среднему бизнесу, чтобы помочь им вырасти в более крупные компании. В Японии новые разработки проходят жесткую многоступенчатую процедуру утверждения (RTRI – JR Group), что гарантирует безопасность и надежность, но может замедлять внедрение.

3.4 Координация и стратегическое планирование

Способы координации исследовательской деятельности и горизонты планирования существенно различаются.

Российская и китайская модели характеризуются жестким централизованным планированием. В России это реализуется через «Стратегию научно-технологического развития холдинга «РЖД» и Комплексную программу инновационного развития (КПИР), которые увязывают научные разработки с инвестиционными программами. В Китае стратегические приоритеты задаются на высшем государственном уровне в рамках национальных программ («Сделано в Китае 2025»).

Японская и корейская модели также используют долгосрочное планирование (5-летние планы RTRI, государственные программы KISTER), но оставляют больше пространства для инициативы исполнителей. В Японии значительную роль играет инициатива «снизу» (правило «ринги»), когда идеи генерируются на местах и затем проходят процедуру согласования.

Европейская модель координации через EU-Rail является попыткой синхронизировать национальные исследовательские программы 30 стран-участниц и десятков компаний. Это чрезвычайно сложная задача, решаемая через создание тематических инновационных блоков (IP) и строгую отчетность. Преимуществом является устранение дублирования усилий в масштабах всего континента.

Американская модель делает ставку на рыночную координацию. FRA определяет приоритетные направления, но не диктует, кто и как будет проводить исследования. Рынок сам отбирает наиболее эффективных исполнителей через конкурсные процедуры.

3.5 Адаптивность к изменениям и устойчивость

Способность модели быстро реагировать на изменения внешней среды (технологические сдвиги, политические кризисы, санкции) является критически важной в современном мире (Таблица 2).

Российская модель в последние годы продемонстрировала высокую устойчивость к внешним шокам, связанным с санкционным давлением. Политика импортозамещения, развернутая в холдинге «РЖД», позволила достичь целевых показателей по переходу на отечественное ПО (81,76% в 2023 году) и продолжить разработку критически важных технологий (квантовые коммуникации, системы автоведения). Вертикальная интеграция и наличие собственного НОК позволяют оперативно перенаправлять ресурсы на наиболее приоритетные направления. Однако сохраняется риск технологической изоляции от глобальных трендов, что требует поддержания внутренней конкурентоспособности разработок.

Таблица 2

Сравнение адаптивности и устойчивости моделей

Модель	Сильные стороны в адаптации	Слабые стороны / Риски	Устойчивость к внешним шокам
Россия	Способность к мобилизации ресурсов на критических направлениях, политика импортозамещения	Риск технологической изоляции, бюрократизация, зависимость от одного заказчика	Высокая (за счет господдержки и вертикальной интеграции)
США	Высокая гибкость, огромное количество независимых игроков, развитый венчурный рынок	Зависимость от рыночной конъюнктуры, сложность быстрой мобилизации на стратегических направлениях	Средняя (зависит от состояния экономики)
ЕС	Широкая кооперация, распределение рисков, сильная политическая воля	Бюрократизация, медленное принятие решений из-за необходимости согласования интересов многих стран	Высокая (за счет диверсификации)
Китай	Высочайшая скорость мобилизации ресурсов, четкое выполнение директив	Зависимость от импортных технологий на старте, долговая нагрузка	Очень высокая (государственный контроль)

Американская модель, будучи максимально гибкой, сильно зависит от состояния экономики и рыночной конъюнктуры. В периоды кризисов частные компании могут сокращать инвестиции в долгосрочные НИОКР, что снижает общую инновационную активность. Однако развитая система венчурного финансирования и огромное количество стартапов позволяют быстро находить новые точки роста.

Европейская модель демонстрирует высокую устойчивость за счет диверсификации: проблемы в одной стране-участнице могут быть компенсированы усилиями других. Однако согласование интересов 30 партнеров требует времени, что снижает скорость принятия решений в кризисных ситуациях.

Китайская модель показывает наивысшую скорость мобилизации ресурсов. Государство может директивно направить миллиардные средства на разработку нового поколения высокоскоростных поездов и в кратчайшие сроки получить результат. Однако эта модель требует постоянных и очень высоких бюджетных вливаний, что создает риски возникновения долговой нагрузки. Для наглядного представления результатов анализа приведем сводную матрицу, объединяющую ключевые характеристики всех рассмотренных моделей (Таблица 3).

Таблица 3

Сводная матрица сравнительного анализа

Критерий	Россия	США	ЕС	Германия	Китай	Япония/Корея
Тип модели	Вертикально-интегрированная + наднациональная координация	Сетевая (рыночная)	Кооперационная (ГЧП)	Смешанная (открытые инновации)	Мобилизационная (государственно-интегрированная)	Государственно-интегрированная / Специализированные институты
Роль государства	Стратег, владелец, заказчик	Создатель инфраструктуры и «инновационной среды»	Координатор, соинвестор, разработчик стандартов	Заказчик (через DB), участник евро-программ	Главный стратег и источник финансирования	Стратег, координатор, основной инвестор
Ключевые игроки	ОАО «РЖД», НОК (ВНИИЖТ, НИИАС), Совет СНГ	FRA, TRB, TTC, частные операторы	EU-Rail, Siemens, Alstom, DB, SNCF	DB, VDB, частные компании	CARS, CRRC, Минтранс	KRRI, KTRIL, KORAIL, Hyundai Rotem
Финансирование	Преимущественно гос./корпоративное + долевое в СНГ	Гос. (гранты) + частное (70% TTC)	Гос. (бюджет ЕС) + взносы участников	Частное (2/3) + гос. (1/3)	Преимущественно гос.	Преимущественно гос. (80%) / система взносов
Планирование	Долгосрочное, централизованное (КПИР, «Белая книга»)	Среднесрочное, через приоритеты FRA, конкурсный отбор	Долгосрочное, программно-целевое (Innovation Programmes)	Стратегическое (DSD), участие в европейских планах	Долгосрочное, в рамках нацстратегий	Долгосрочное (5-летние планы)
Трансфер технологий	Внутри холдинга, «Единая база знаний»	Через TRB, университеты, стартапы	Через разработку стандартов, обязательства по внедрению	Через открытые инновации, заказы DB	Через гос. программы, экспорт	Через KIMM (для МСП), через систему утверждения JR Group
Управление ИС	Централизованное, права у холдинга	Гибкое, права у разработчиков (университетов)	Распределенное, фокус на интероперабельность	У разработчиков, лицензирование	Государственный контроль	Государственный / корпоративный контроль
Адаптивность	Высокая устойчивость к внешним шокам, риск изоляции	Высокая гибкость, зависимость от рынка	Средняя скорость, высокая устойчивость за счет диверсификации	Высокая гибкость, зависимость от глобальных цепочек	Высокая скорость мобилизации, риск долговой нагрузки	Средняя, зависимость от госбюджета
Приоритеты НИОКР	Цифровизация, импортозамещение, безопасность, квантовые коммуникации	Безопасность, РТС, экологичность, новые материалы	ERTMS, FRMCS, DAC, АТО, устойчивое развитие	Цифровизация (DSD), ETCS, АТО, APS	BCM, глобальное лидерство, «Инновации 2035»	BCM, автоматизация, сейсмостойкость, «зеленые» технологии

3.6 Выводы из сравнительного анализа

Проведенный расширенный анализ позволяет сделать несколько обобщающих выводов.

1. **Отсутствие идеальной модели.** Ни одна из рассмотренных моделей не является универсально лучшей. Выбор модели определяется историческим контекстом, структурой собственности в отрасли, геополитическим положением и национальными приоритетами. Российская вертикально-интегрированная модель, американская сетевая, европейская кооперационная и азиатские государственно-интегрированные модели – каждая имеет свои сильные и слабые стороны.
2. **Конвергенция подходов.** Несмотря на различия, наблюдается тенденция к конвергенции. Рыночные модели (США) усиливают элементы государственного стратегического планирования (через FRA и TRB). Государственные модели (Россия, Китай) внедряют рыночные механизмы (конкурсные процедуры, коммерциализацию разработок). Европейская модель изначально строится на балансе государственно-частного партнерства.
3. **Критическая роль координации и управления знаниями.** Во всех успешных моделях создаются механизмы, предотвращающие дублирование работ и обеспечивающие накопление и повторное использование знаний. Это и TRB в США, и «Единая база знаний» в РЖД, и программные библиотеки EU-Rail, и пятилетние планы RTRI. Создание единого информационного пространства становится обязательным условием эффективности НИОКР.
4. **Управление стандартами как высшая форма управления НИОКР.** Европейская модель наиболее ярко демонстрирует, что в зрелых железнодорожных системах разработка интероперабельных стандартов (ERTMS, FRMCS, DAC) становится главной целью НИОКР. Тот, кто контролирует стандарт, контролирует будущее развитие всей отрасли. Китай, развивая собственную линейку высокоскоростных поездов и экспортируя их, также стремится к формированию глобальных стандартов.
5. **Устойчивость и суверенитет.** В условиях глобальной нестабильности на первый план выходят вопросы технологического суверенитета. Российская модель с фокусом на импортозамещение и наличие собственного НОК продемонстрировала высокую устойчивость к санкционному давлению. Азиатские модели изначально строились с прицелом на национальную независимость в критических технологиях. Американская и европейские модели, будучи более открытыми, сталкиваются с вызовами, связанными с сохранением контроля над цепочками поставок и критическими технологиями.

Очевидно, что выбор и развитие модели управления НИОКР в железнодорожной отрасли – это сложная многокритериальная задача, решение которой должно учитывать не только сиюминутную экономическую эффективность, но и долгосрочные стратегические цели, включая обеспечение технологического суверенитета и возможности влиять на формирование будущих отраслевых стандартов.

4. От сравнительного анализа к методологии оценки: проблема «невидимой» стоимости

Проведенный сравнительный анализ моделей управления НИОКР в мировой и российской практике отчетливо демонстрирует, что эффективность научно-технического развития определяется не только объемом финансирования или степенью централизации управления, но и способностью адекватно оценивать результаты интеллектуальной деятельности. Однако именно в оценке эффективности возникает фундаментальное противоречие, корнящееся в глубоком институциональном разрыве, который, как ни парадоксально, заложен уже в самом языке управления.

Английский термин R&D (Research and Development) описывает единый конвейер, непрерывную цепочку создания стоимости, которая тянется от фундаментального поиска через прикладные исследования и опытно-конструкторские работы к опытному образцу, а затем к серийному производству и рыночному успеху. В этом контексте Research (НИР) – это лишь первый, начальный этап, создающий потенциал, а Development

(ОКР и внедрение) – этап, превращающий этот потенциал в осязаемый результат. Российская же практика управления, унаследовавшая советское разделение труда, часто оперирует сокращением НИР как самостоятельной и самодостаточной единицей планирования и финансирования.

Возникает классический разрыв ожиданий: заказчик констатирует, что «деньги потрачены, а изделия в металле нет», объявляя НИР неэффективной и уничтожившей стоимость. На самом же деле стоимость была уничтожена не самим исследованием, а отсутствием в системе следующих, незапланированных этапов – ОКР и внедрения, которые только и способны превратить потенциальную стоимость, созданную наукой, в реальную.

Эта ситуация ярко высвечивает главную методологическую проблему: требование «осязаемой» экономической эффективности, предъявляемое к этапу Research, методологически несостоятельно. Если для этапа Development (ОКР) классические финансовые показатели вроде NPV или IRR, основанные на прогнозе денежных потоков, вполне применимы, то для ранних НИР они работают как «убийца стоимости». Высокая ставка дисконтирования, отражающая неопределенность, обесценивает будущее, отдаленные на годы выгоды, а отсутствие предсказуемого денежного потока в краткосрочном периоде делает проект формально убыточным. Однако истинная ценность НИР заключается не в сиюминутной прибыли, а в создании того, что в корпоративных финансах называется продленной стоимостью (continuing value) и создании стратегических опционов. Проводя фундаментальное исследование, НИИ не производит товар, оно создает платформу – техническую документацию, кадры, понимание физических процессов, объекты интеллектуальной собственности, – которая станет источником денежного потока через 5-10 лет, когда пройдет стадию внедрения. НИР устраняет технический риск, создавая знание о том, как это сделать. По сути, она формирует «опцион» на будущее производство.

Инструментом, который позволяет количественно оценить эту незримую стоимость, превратить «веру» экспертов в обоснованные финансовые параметры, как раз и является методология реальных опционов. Она позволяет рассматривать инвестиции в ранние стадии НИОКР не как затраты на получение немедленного денежного потока (которого не будет), а как премию за приобретение стратегического опциона – права на коммерциализацию технологии в будущем, если разрешится техническая и рыночная неопределенность.

В отличие от классического метода дисконтированного денежного потока, где волатильность (риск) «убивает» стоимость проекта, в опционной модели она является источником ценности: чем выше неопределенность (например, вокруг возможности импортозамещения критически важной технологии), тем дороже стоит опцион на ее разработку.

Таким образом, методология реальных опционов может стать тем самым мостом через пропасть между «исследованием» и «разработкой», позволяя перекинуть количественную связку от сегодняшних затрат на НИР к завтрашней стоимости создаваемого ими права на технологическое будущее.

Однако, прежде чем перейти непосредственно к обсуждению методологии реальных опционов применительно к железнодорожной отрасли, следует особо подчеркнуть, что ее реальное применение потребует принципиальной смены управленческой парадигмы в области управления НИОКР, а именно перехода от оценки НИОКР как потока прибылей к оценке НИОКР как портфеля стратегических опционов, стоимость которых лишь отчасти заключена в текущем денежном потоке и в значительной мере – в продленной стоимости создаваемых знаний и технологических платформ.

5. Методология реальных опционов в управлении НИОКР

Несмотря на различия в организационных моделях, все компании и страны сталкиваются с общей проблемой – высокой неопределенностью и длительными сроками окупаемости инвестиций в железнодорожные НИОКР. Традиционные методы оценки инвестиционных проектов, такие как дисконтированный денежный поток (Discounted Cash Flow, DCF) и расчет чистой приведенной стоимости (Net Present Value, NPV), часто оказываются неадекватными в этих условиях. Высокая ставка дисконтирования, применяемая к далеко отстоящим во времени прибылям, может «убить» самые перспективные проекты. Например, при ставке дисконтирования 12% деньги потеряют половину своей стоимости через 6 лет, а через 20 лет их ценность составит менее 12% от первоначальной [19]. Многим успешным железнодорожным технологиям, от новых систем управления до инновационных конструкций пути, требуется не менее 10-15 лет, чтобы пройти путь от концепции до полной коммерциализации.

Методология реальных опционов предлагает инструмент для количественной оценки управленческой гибкости, которая в таких условиях становится критически важной [19, 21]. Ключевое преимущество опционного подхода заключается в признании того, что планы являются опционами. Менеджмент получает право, но не обязательство, осуществлять последующие инвестиции по мере получения новой информации и снижения неопределенности. Возможность прекратить проект на ранней стадии, если обнаруживаются «фатальные» технические или рыночные проблемы, создает асимметричность доходности: потенциал роста при ограниченном риске снижения. Это и есть главный источник стоимости в портфеле исследовательских проектов.

5.1 Модель Блэка–Шоулза для оценки реальных опционов

Для формализации опционного подхода в управлении НИОКР может быть использована адаптированная модель Блэка–Шоулза, изначально разработанная для оценки финансовых опционов [20]. Стоимость реального опциона «колл» на право реализации инвестиционного проекта (C) рассчитывается по формуле:

$$C = P \cdot N(D_1) - X \cdot e^{-rt} \cdot N(D_2), \quad (2)$$

где P – текущая стоимость базового актива (например, NPV проекта, рассчитанная на момент принятия решения о коммерциализации, но с учетом вероятности успеха на ранних стадиях). Часто используется формула $P = p \cdot NPV$, где p – кумулятивная вероятность успеха проекта; X – цена исполнения опциона (инвестиции, необходимые для завершения разработки и вывода продукта на рынок); r – безрисковая ставка процента (обычно принимается равной доходности долгосрочных государственных облигаций); t – время до истечения опциона (период, в течение которого компания может принять решение об инвестициях, сохраняя конкурентное преимущество); $N(D)$ – функция кумулятивного стандартного нормального распределения.

Параметры D_1 и D_2 рассчитываются следующим образом:

$$D_1 = \frac{\ln\left(\frac{P}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}, \quad (3)$$

$$D_2 = D_1 - \sigma\sqrt{t}. \quad (4)$$

Ключевым параметром, отличающим этот подход от классического DCF-анализа, является σ – волатильность или неопределенность стоимости базового актива. В финансовом мире волатильность рассматривается как риск, снижающий стоимость. В модели реальных опционов она является благоприятным фактором: чем выше неопределенность в отношении будущего технологии (новые научные открытия, изменение рыночной конъюнктуры, действия конкурентов), тем выше стоимость опциона на ее разработку.

5.2 Пример расчета стоимости опциона для проекта в железнодорожной отрасли

Рассмотрим гипотетический проект разработки новой цифровой системы управления движением поездов на основе искусственного интеллекта, аналогичный разрабатываемым в рамках DSD, EU-Rail или НИИАС. Исходные данные для расчета представлены в Таблице 4.

Таблица 4

Исходные данные для расчета стоимости реального опциона

Параметр	Обозначение	Значение
NPV проекта (при успешной коммерциализации)	NPV	100 млн долл.
Кумулятивная вероятность успеха на начальной стадии	p	15%
Текущая стоимость базового актива	$P = p \cdot NPV$	15 млн долл.
Инвестиции, необходимые для завершения разработки	X	30 млн долл.
Безрисковая ставка	r	5%
Время до принятия окончательного решения	t	5 лет
Волатильность (неопределенность)	σ	40%

Подставляя значения в формулы (3), (4) и (2), получаем:

$$D_1 = \frac{\ln(15/30) + (0,05 + 0,4^2/2) \cdot 5}{0,4 \cdot \sqrt{5}} = \frac{-0,6931 + (0,05 + 0,08) \cdot 5}{0,4 \cdot 2,236} \approx \frac{-0,6931 + 0,65}{0,8944} \approx -0,0482$$

$$D_2 = -0,0482 - 0,4 \cdot \sqrt{5} = -0,0482 - 0,8944 = -0,9426.$$

Значения функции нормального распределения находим по таблицам или с помощью встроенных функций (например, в Excel): $N(D_1) \approx 0,4808$, $N(D_2) \approx 0,1730$.

Тогда стоимость опциона составит:

$$C = 15 \cdot 0,4808 - 30 \cdot e^{-0,05 \cdot 5} \cdot 0,1730 = 7,212 - 30 \cdot 0,7788 \cdot 0,1730 \approx 7,212 - 4,042 \approx 3,17 \text{ млн долл.}$$

Полученная стоимость в 3,17 млн долл. – это та дополнительная ценность, которую создает сама возможность гибкого управления проектом. Даже если традиционный анализ показывает, что ожидаемая NPV (15 млн долл.) меньше требуемых инвестиций (30 млн долл.), опцион на разработку имеет положительную стоимость благодаря потенциалу успеха и возможности отказаться от проекта в будущем, если неопределенность разрешится неблагоприятным образом. Эта сумма может быть включена в общую оценку стоимости портфеля НИОКР компании и служить обоснованием для инвестиций на ранних, наиболее рискованных стадиях.

5.3 Анализ чувствительности и практическое применение

Важным преимуществом рассмотренной модели является возможность анализа чувствительности стоимости опциона к изменению ключевых параметров, особенно волатильности и времени. Для железнодорожной отрасли, где многие факторы (политика регулирования, появление новых конкурентных технологий, готовность операторов) труднопредсказуемы, наличие такого инструмента позволяет руководству компаний более взвешенно подходить к распределению ресурсов, понимая, что «благоприятные допущения» в традиционных моделях (более короткие временные рамки и меньшая изменчивость) работают против стоимости в модели опциона.

Интеграция методологии реальных опционов в систему управления научно-техническими разработками позволяет:

1. Количественно оценить стратегическую гибкость, присущую инновационным проектам.
2. Обосновать инвестиции в высокорисковые, но потенциально прорывные проекты, где традиционные критерии NPV дают заниженные результаты.
3. Создать общий язык между техническими специалистами и финансовым руководством, так как финансисты хорошо понимают характеристики опционов.
4. Более эффективно управлять портфелем проектов, рассматривая его как набор опционов с разными сроками и уровнями риска.

Этот подход особенно ценен для оценки проектов, которые могут стать основой для целого семейства будущих продуктов и решений – от цифровых двойников инфраструктуры до систем предиктивной аналитики, что в конечном итоге обеспечивает устойчивое конкурентное преимущество и создает долгосрочную стоимость для компании.

Заключение

Проведенный анализ международной практики управления научно-техническими разработками в железнодорожной отрасли, включая детальное рассмотрение российской модели, позволяет сделать следующие ключевые выводы.

1. **Определяющая роль государства.** Во всех рассмотренных странах (Россия, США, ЕС, Германия, Корея, Япония, Китай, Индия) государство выступает ключевым стратегом и источником финансирования, особенно для фундаментальных и рискованных исследований. Однако его роль варьируется от создания «инновационной среды» и инфраструктуры (США) до прямого управления и финансирования через государственные корпорации и институты (Россия, Китай, Корея). Эффективность достигается не столько через администрирование, сколько через создание национальных экосистем инноваций, объединяющих государственное планирование с частной инициативой.
2. **Консолидация как ключевая тенденция.** Наблюдается устойчивое стремление к объединению компетенций и ресурсов для решения масштабных и дорогостоящих задач. Наиболее ярко это проявляется в Европе, где создание государственно-частных партнерств типа EU-Rail является обязательным условием для получения финансирования. В Азии и России консолидация происходит внутри вертикально интегрированных структур (CRRC, НОК РЖД) или через сеть государственных институтов (Korea, Japan). В США эту функцию выполняют профессиональные ассоциации, такие как TRB, а в СНГ – Совет по железнодорожному транспорту.
3. **Универсальность приоритетов.** Несмотря на различия в моделях, все страны фокусируются на схожих технологических областях: цифровизация и автоматизация (ETCS, АТО, СТМС), повышение безопасности, включая кибербезопасность, устойчивое развитие и «зеленые» технологии, развитие высокоскоростного движения и создание интероперабельных систем и единых стандартов. Российская модель, при сохранении верности этим глобальным трендам, делает особый акцент на импортозамещении критических технологий и информационную безопасность.
4. **Модели управления.** Можно выделить четыре основные модели, детально охарактеризованные в сводной матрице (Таблица 3):
 - **Российская (вертикально-интегрированная) модель** с мощным научно-отраслевым комплексом внутри государственного холдинга и наднациональной координацией в СНГ;
 - **Американская (рыночная) модель**, ориентированная на создание инновационной среды и гибкий поиск решений;
 - **Азиатские (государственно-интегрированные) модели**, ориентированные на реализацию крупных проектов и технологический суверенитет;
 - **Европейская (кооперационная) модель**, нацеленная на интероперабельность и создание единых стандартов.
5. **Критическая роль управления знаниями и стандартами.** Во всех успешных моделях создаются механизмы, предотвращающие дублирование работ и обеспечивающие

накопление знаний (TRB, «Единая база знаний», библиотеки EU-Rail). Управление НИОКР все больше превращается в управление разработкой стандартов (ERTMS, FRMCS, DAC). Тот, кто формирует стандарт, получает контроль над будущим рынком.

- 6. Методология реальных опционов.** Для повышения эффективности управления инновационными проектами в условиях высокой неопределенности и длительных сроков окупаемости, характерных для железнодорожной отрасли, целесообразно рассмотреть возможность применения методологии реальных опционов. Модель Блэка-Шоулза позволяет количественно оценить стоимость управленческой гибкости. Это дает возможность обосновать инвестиции в высокорисковые, но потенциально прорывные проекты в любой из рассмотренных моделей.

В конечном итоге, выбор модели управления НИОКР определяется не только экономической эффективностью, но и геополитическими стратегиями. Понимание сильных и слабых сторон различных моделей, а также владение современными методами оценки, такими как теория реальных опционов, является необходимым условием для успешного развития национальных железнодорожных систем и их интеграции в глобальную инновационную экосистему.

Проведенный анализ подтверждает, что эффективное управление НИОКР в железнодорожной отрасли требует не просто выбора между централизованной и рыночной моделями, а их адаптации под национальные стратегические приоритеты. Применение методологии реальных опционов позволяет количественно оценить стоимость управленческой гибкости, что особенно важно в условиях высокой неопределенности и длительных сроков окупаемости. Перспективным направлением дальнейших исследований является интеграция этого подхода в существующие корпоративные системы управления, такие как «Единая база знаний» холдинга «РЖД», для динамической переоценки портфеля проектов.

Список использованной литературы

1. В США профинансируют трехлетнюю программу исследований на железнодорожном транспорте // Железные дороги мира. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://zdmira.com/news/v-ssha-profinansiruyut-trekhletnyuyu-programmu-issledovaniy-na-zheleznodorozhnom-transporte>
2. European commission considers €3 billion allocation for rail technology research under next framework programme // *Railmarket*. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://railmarket.com/news/technology-innovation/32040-siemens-to-digitize-sao-paulo-s-rail-network>
3. Управление зарубежной железнодорожной наукой и техникой = 国外铁路科技管理 / под ред. Чжоу Ли. – Пекин: China Railway Publishing House, 2018. – 301 с. – ISBN 978-7-113-24086-8.
4. Research and Development Funding [Электронный ресурс] // Federal Railroad Administration (FRA), U.S. Department of Transportation. – URL: <https://railroads.dot.gov/research-development/program-areas/research-and-development-funding/research-and-development>
5. About FRA [Электронный ресурс] // Federal Railroad Administration. – URL: <https://railroads.dot.gov/about-fra>
6. About TRB [Электронный ресурс] // Transportation Research Board (TRB). – URL: <https://www.nationalacademies.org/trb/transportation-research-board>
7. Partnership Fiche: Europe's Rail [Электронный ресурс] // European Commission, ERA-LEARN. – URL: https://www.era-learn.eu/documents/europes_rail_bmr2022.pdf
8. Europe's Rail Joint Undertaking [Электронный ресурс]. – URL: <https://rail-research.europa.eu/>
9. Германия: рост инвестиций в железнодорожную инфраструктуру // Железные дороги мира. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://zdmira.com/news/germaniya-rost-investitsij-v-zheleznodorozhnyu-infrastrukturu>
10. Digitale Schiene Deutschland [Электронный ресурс]. – URL: <https://digitale-schiene-deutschland.de/en>

11. Statista. Research and development (R&D) expenditure in Germany [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/> (использованы обобщенные данные)
12. Korea unveils next-gen high-speed train, world's 2nd-fastest // *The Korea Times*. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.koreatimes.co.kr/business/tech-science/20251222/korea-unveils-next-gen-high-speed-train-worlds-2nd-fastest>
13. Korea Railroad Research Institute (KRRI) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.krri.re.kr/en/main/index.do>
14. Railway Technical Research Institute (RTRI), Japan. *Master Plan – Creating sustainable railway systems – RESEARCH 2030 (FY2025-FY2029)* [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rtri.or.jp/assets/edga9q00000003x7-att/RESEARCH2030RTRI_E.pdf
15. China Academy of Railway Sciences (CARS) [Электронный ресурс] // IRCIP profile. – URL: <http://www.ircip.cn/web/999722-999725.html?id=26645&newsid=630481>
16. CRRC continues intensifying R&D investments // *RollingStockWorld*. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rollingstockworld.com/economy/crrc-continues-increasing-rd-investments/>
17. Тише едешь – второй в мире будешь // Железные дороги мира. – 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://vgudok.com/lenta/tishe-edesh-vtoroy-v-mire-budesh-poka-rzhd-boryutsya-s-vagonami-indiya-perevozt-16-mlrd-tonn>
18. «Научный поток» и другие меры поддержки исследований в Индии [Электронный ресурс] // ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. – URL: <https://issek.hse.ru/news/1095643097.html>
19. Боев Ф. Питер. Оценка стоимости технологий: проблемы бизнеса и финансов в мире исследований и разработок / пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес, 2007.
20. F. Black and M. Scholes, «The Pricing of Options and Corporate Liabilities,» *J. Polit. Econ.*, vol. 81, no. 3, pp. 637–654, 1973.
21. G. R. Mitchell and W. Hamilton, «Managing R&D as a Strategic Option,» *Res. Technol. Manag.*, vol. 31, no. 3, pp. 15–22, 1988.
22. T. Copeland, T. Koller, and J. Murrin, *Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*. New York: Wiley, 1995. (Рус. изд.: Коупленд Т., Коллер Т., Муррин Дж. Стоимость компаний: оценка и управление. М.: Олимп-Бизнес, 2005.)
23. R. A. Brealey and S. C. Myers, *Principles of Corporate Finance*. New York: McGraw-Hill, 1996. (Рус. изд.: Брейли Р., Майерс С. Корпоративные финансы. М.: Олимп-Бизнес, 2004.)
24. Russian Railways. *Sustainability Report 2023: Innovation-driven development and digital transformation* [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://sr2023.rzd.ru/en/managerial-aspect/efficiency-improvement>
25. P. M. Gureev, E. O. Koshcheeva, and A. V. Kudryavtseva, «Experience in the implementation of a common knowledge base for consulting and research engineering at JSC «Russian Railways»,» in *AIP Conf. Proc.*, vol. 2526, no. 1, p. 030004, 2023.
26. Положение по организации планирования, финансирования, выполнения и приемки работ, направленных на научно-техническое развитие железнодорожного транспорта (утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников СНГ, протокол от 4-05.11.2015 № 63, с изм. от 11.06.2025) [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. – URL: <https://base.garant.ru/412277592/>

ANALYSIS OF INTERNATIONAL PRACTICES IN MANAGING SCIENTIFIC AND TECHNICAL DEVELOPMENTS IN THE RAILWAY INDUSTRY: MODELS, STRATEGIES, AND PROSPECTS

Alexander V. Bochkov, Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary, JSC NIIAS, Moscow, Russia,
E-mail: a.bochkov@vniias.ru

Alexey V. Ozerov, Head of International Department – Head of Intellectual Property Management Centre, JSC NIIAS,
Moscow, Russia, E-mail: A.Ozerov@vniias.ru

Alesia P. Kuropteva, Chief Specialist, JSC NIIAS, Moscow, Russia,
E-mail: A.kuropteva@vniias.ru

ABSTRACT

This article presents a comprehensive analysis of international approaches to managing scientific and technological developments in the railway industry. R&D organizational models in the United States, other countries of the European Union, Germany, South Korea, Japan, China, and India are examined. Particular attention is paid to the Russian governance model, including the supranational level of coordination within the CIS Railway Transport Council, the corporate level of the Russian Railways holding company, and its scientific and industrial complex. Key trends are identified: the decisive role of the state as a strategic investor and source of funding, the consolidation of efforts within public-private partnership, and the flexibility of priority research areas. An extensive comparative analysis of governance models is presented based on a variety of criteria. Special attention is paid to the real options methodology as a tool for improving the efficiency of innovative project management under conditions of high uncertainty. A mathematical model for assessing the cost of flexibility in R&D project management based on the Black-Scholes formula is proposed. It is concluded that the choice of a development management model is determined not only by economic efficiency but also by geopolitical strategies.

Keywords: rail transport, R&D management, innovation, public-private partnership, comparative analysis, real options, Black-Scholes model, digitalization, interoperability, technological sovereignty.

УДК 656.13: 346.7: 006.013

DOI: 10.24412/3033-6007-2026-137-25-39

ТЕНДЕНЦИИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В СФЕРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Ахмадов Гилани Дениевич, заместитель начальника отдела технологического развития интеллектуальных транспортных систем, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия,
E-mail: akhmadov@rosdornii.ru

Давыдов Ростислав Дмитриевич, начальник отдела технологического развития интеллектуальных транспортных систем, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия,
E-mail: davydov@rosdornii.ru

АННОТАЦИЯ

В России активно проводится цифровизация дорожной отрасли путем внедрения передовых технологий интеллектуальных транспортных систем (далее – ИТС). Целью настоящей статьи является анализ импортонезависимости Российской Федерации в секторе периферийного оборудования и программного обеспечения ИТС, эксплуатируемого на автомобильных дорогах общего пользования. Для достижения этой цели в статье проведен анализ данных за 2010–2025 гг., полученных ФАУ «РОСДОРНИИ» путем анкетирования владельцев (операторов) ИТС. На основе этих данных в статье исследована динамика импортозамещения в области интеллектуальных систем организации дорожного движения, в том числе в аспекте типов оборудования и стран происхождения. Полученные данные сопоставлены с мировым опытом. На основе проведенного анализа сделана итоговая оценка технологического суверенитета, а также определены проблемы и перспективы развития ИТС на автомобильных дорогах Российской Федерации.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система; импортозамещение; периферийное оборудование; элементы ИТС; национальная сеть; технологический суверенитет.

Введение

Цифровая трансформация транспортной отрасли является неотъемлемой частью глобальной повестки устойчивого развития государства. ИТС выступают ключевым инструментом повышения эффективности организации дорожного движения, безопасности, пропускной способности и экологичности дорожно-транспортного комплекса, зачастую в крупных и/или исторически застроенных городах [1]. В мировой практике ИТС эволюционировали из локальных решений по управлению светофорами в комплексные национальные платформы, интегрирующие данные от метеостанций, видеокамер, детекторов, бортовых систем транспортных средств и других элементов ИТС [2] для принятия управленческих решений.

ФАУ «РОСДОРНИИ» определяет ИТС как автоматизированную систему, охватывающую процессы, происходящие в транспортном комплексе в части автомобильного и городского пассажирского транспорта, взаимодействующую с информационными системами других видов транспорта и предназначенную для контроля и управления процессами содержания автомобильных дорог, повышения безопасности и эффективности организации дорожного движения, мобильности и комфортности его участников, снижения загрязнения окружающей среды [3].

В России передовые технологии ИТС для организации и безопасности дорожного движения внедряются не первый год. Также действует федеральная программа поддержки в целях формирования и создания ИТС в субъектах в рамках национального проекта «Инфраструктура для жизни», мероприятие «Внедрены интеллектуальные транспортные системы, предусматривающие автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек»¹,

¹ Паспорт федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства», приложение № 3 мероприятие «Внедрены интеллектуальные транспортные системы, предусматривающие автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках национального проекта «Инфраструктура для жизни»

реализуемое с 2020 года. Несмотря на это, а также имеющиеся методики и требования по внедрению ИТС, развитие сектора ИТС до сих пор происходит разрозненно, что негативно сказывается на целостности и функциональности работы ИТС. Это происходит ввиду недостаточности нормативно-технических и нормативно-правовых основ создания ИТС.

В отличие от других стран, где развитие ИТС осуществляется в условиях открытого рынка технологий, российская модель формируется при ограниченном доступе высокотехнологичных решений на внутренний рынок. Это требует не просто замены иностранных компонентов, а создания собственной радиоэлектронной элементной базы по единым стандартам и протоколам.

Целью настоящей статьи является анализ импортонезависимости Российской Федерации в секторе периферийного оборудования и программного обеспечения интеллектуальных транспортных систем, эксплуатируемого на автомобильных дорогах общего пользования. Исследование основывается на уникальной и обширной эмпирической базе данных о технических средствах и программных продуктах ИТС, собранных в рамках анкетирования 120 организаций (органов власти, федеральных казенных учреждений и ГК «Автодор»). Результаты данной работы создают обширную базу для узконаправленных исследований текущей ситуации в сфере ИТС и перспектив развития ИТС в России.

В рамках данной работы в разделе 1 проанализирована нормативно-правовая база в части импортозамещения в Российской Федерации, в разделе 2 представлен зарубежный и отечественный опыт внедрения ИТС, в разделе 3 рассмотрена хронология развития ИТС в России, в разделе 4 представлена выборка данных, на основе которой проведено исследование, в разделе 5 проанализированы динамика и структура внедрения и импортозамещения оборудования ИТС, в разделе 6 приведен анализ динамики импортозамещения программного обеспечения ИТС, в разделе 7 приведена статистика регистрации оборудования и программного обеспечения в государственных реестрах, а в разделе 8 сформулированы проблемы и предложения по их решению в секторе ИТС России.

1. Нормативные основы импортозамещения в ИТС

Импортозамещение в контексте ИТС не сводится к простой замене иностранного оборудования на российское. Это процесс, охватывающий множество областей государственного управления [4]. На нормативном правовом уровне формируются механизмы господдержки, реестры продукции и критерии допуска. На технологическом – создается отечественная элементная база с учетом требований совместимости и масштабируемости. На нормативно-техническом – разрабатываются национальные стандарты.

Ключевым понятием в этой системе является технологический суверенитет, под которым авторы понимают способность государства самостоятельно обеспечивать безопасное и эффективное функционирование критической инфраструктуры без зависимости от внешних поставщиков. В случае ИТС это означает контроль над цепочками поставок (от чипов до программных компонентов), стандартизацию протоколов обмена и наличие национальной сети ИТС как ядра системы, объединяющей региональные платформы ИТС в субъектах Российской Федерации.

Для достижения целей Концепции создания и формирования в Российской Федерации национальной сети ИТС, утвержденной распоряжением Минтранса России от 30.09.2022 № АК-247-р², необходимо реализовать комплексный подход к стандартизации ИТС, основными акцентами которого являются:

- эффективность и безопасность функционирования национальной сети и ее составляющих ИТС субъектов Российской Федерации;
- обеспечение функциональной совместимости (интероперабельности) и надежности технических средств и решений;

// КонсультантПлюс: офиц. сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329979/ (дата обращения: 17.11.2025)

² Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации от 30 сентября 2022 года № АК-247-р «Об утверждении Концепции создания и функционирования национальной сети интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах общего пользования» // Министерство транспорта Российской Федерации: офиц. сайт. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/12057/> (дата обращения: 17.11.2025)

- стандартизация информационных и технологических сервисов ИТС, интеграция ИТС и ее элементов на национальном и межгосударственном уровнях;
- создание условий для формирования системы сертификации компонентов ИТС.

В 2024-2025 гг. реализация этих задач получила новый импульс благодаря ужесточению законодательства и активному внедрению отечественных решений в регионах.

2. Мировой опыт и адаптация к российским условиям

В Южной Корее и Сингапуре национальные сети ИТС построены на принципе единых платформ (ITS Korea, ONE.MOTORING), где все компоненты сертифицированы и интегрированы через открытые API.

В ЕС реализуется подход C-ITS (Cooperative ITS), основанный на стандартах ETSI и использовании RSU (Road Side Units) для обмена данными между транспортными средствами и инфраструктурой [5].

Отличительной чертой европейской модели развития ИТС является создание национальных хранилищ данных (национальных точек доступа (National Access Point, NAP)) в каждой стране, внедряющей ИТС; в них генерируются, анализируются и дополняются все данные о транспортных средствах. Это представляет собой единую интегрированную систему [6].

Российская модель, формируемая в условиях ограничений, вынуждена сочетать элементы этих подходов с приоритетом на национальную безопасность и локализацию данных. Так, требование Федерального закона № 187-ФЗ³ о безопасности КИИ (критической информационной инфраструктуры) не допускает использования иностранного программного обеспечения (далее – ПО) без сертификации ФСТЭК (федеральной службы по техническому и экспортному контролю). Это стимулирует разработку отечественных интеграционных платформ (программных продуктов).

При этом наблюдаемая тенденция к необходимости быстрой модернизации, замены устаревшего зарубежного оборудования и ПО или простого создания ИТС в условиях отсутствия стандартов и формализованных требований к ИТС и ее компонентам создает фрагментацию технических решений в сфере ИТС в субъектах Российской Федерации [7], так как архитектура ИТС и ее элементы формируются лишь на основе требований технических заданий заказчиков, которые, в свою очередь, зачастую не имеют профильного образования для создания и развития ИТС.

Важным аспектом в части замены оборудования и ПО на автомобильных дорогах является проверка качества и соответствия технических и функциональных характеристик, а также проведение испытаний внедряемых устройств и программных продуктов отечественного производства для минимизации случаев внедрения недобросовестных продуктов рынка [8]. Деятельность по нормативно-правовому регулированию сертификации и испытанию выпускаемых отечественных продуктов ИТС требует оптимизации.

3. Динамика развития ИТС в хронологии исторических событий

В рамках анализа периферийного оборудования и ПО по годам за последние 10-15 лет выявлены ключевые периоды активного внедрения и развития ИТС, а также указаны основополагающие периоды принятия нормативно-правовых документов в сфере ИТС:

- **2009 г.** – разработана «Концепция создания интеллектуальной транспортной системы на автомобильных дорогах федерального значения», сформированная Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ) и описывающая термины, определения, архитектуру системы и перечень подсистем ИТС;

³ Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» // Сайт Президента России: офиц. сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/42128> / (дата обращения: 17.11.2025)

- **2010 г.** – начало внедрения ИТС в г. Санкт-Петербурге на основе существующей системы СКАТ (системы управления общественным транспортом);
- **2011 г.** – активное внедрение ИТС в г. Москве⁴, начало реализации пилотного проекта ИТС в г. Зеленограде в 2012 году;
- **2011-2014 гг.** – начало пилотных проектов по внедрению ИТС, в том числе федерального пилотного проекта «Инновационные дороги» в **2012 г.**, в рамках которого внедрение ИТС осуществлено на автомобильных дорогах Рязани, Москвы и на участке дороги в Республике Татарстан;
- **2014 г.** – масштабное внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением в городе Сочи в целях обеспечения бесперебойного дорожного движения в период проведения зимних Олимпийских игр;
- **2015 г.** – активная разработка стандартов и требований к ИТС: утверждение ГОСТ Р 56829-2015, устанавливающего термины и определения понятий в области ИТС, и ГОСТ Р 56294-2014, устанавливающего требования к функциональной и физической архитектурам ИТС;
- **2017-2018 гг.** – массовое внедрение технологий видеонаблюдения, информирования участников дорожного движения – дорожных информационных табло (далее – ДИТ) и знаков переменной информации (далее – ЗПИ), систем управления парковочным пространством, а также обновление светофорных объектов (дорожных контроллеров) в субъектах Российской Федерации для организации дорожного движения в период проведения чемпионата мира по футболу в России в 2018 году;
- **2018 г.** – Указ Президента Российской Федерации № 204⁵ «О национальных целях и стратегических задачах развития до 2024 года», включающий использование автоматизированных и роботизированных технологий организации дорожного движения;
- **2020-2024 гг.** – реализация федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства»⁶ (далее – Проект ОМРДХ), предусматривающего автоматизацию управления в городах с населением свыше 300 тыс. человек в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги»⁷ в 62 городских агломерациях в 57 субъектах Российской Федерации [9];
- **2020 г.** – ограничения на допуск промышленных товаров иностранного производства⁸, в том числе в части радиоэлектронной продукции, в целях организации и безопасности дорожного движения;
- **2021 г.** – создание научно-методической и нормативно-технической базы для реализации положений Комплекса мероприятий по тестированию и поэтапному вводу в эксплуатацию на дорогах общего пользования ВАТС⁹; создание пилотной зоны в Республике Татарстан;
- **2022 г.** – утверждение «Концепции создания и функционирования национальной сети интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах общего пользования» распоряжением Минтранса РФ № АК-247-р;
- **2022 г.** – утверждение Методических рекомендаций № АК-74-р¹⁰ (утратили силу на

⁴ Историческая новостная статья на тему «Интеллектуальная транспортная система - что это такое и зачем нужно?» // Сайт московского транспорта: офиц. сайт. URL: https://transport.mos.ru/mostrans/all_news/22583/ (дата обращения: 17.11.2025)

⁵ Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» // Сайт Президента России: офиц. сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027/> (дата обращения: 17.11.2025)

⁶ Паспорт федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства». – Текст: электронный // Министерство транспорта Российской Федерации: официальный сайт. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/9759> (дата обращения: 20.11.2025).

⁷ Паспорт национального проекта «Безопасные качественные дороги». – Текст: электронный // Министерство транспорта Российской Федерации: офиц. сайт. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11524> (дата обращения: 20.11.2025).

⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 30.04.2020 № 616 «Об установлении запрета на допуск промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных нужд, а также промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасности государства» // Сайт Правительства Российской Федерации: офиц. сайт. URL: <http://government.ru/docs/all/127752/> (дата обращения: 17.11.2025)

⁹ Перспективная программа стандартизации в сфере интеллектуальных транспортных систем на период до 2027 года // ФАУ «РОСДОРНИИ»: офиц. сайт. URL: https://rosdormii.ru/upload/iblock/4ae/tlgumw94qkyslwah0gc2n69kk88wfrue/Proekt_PPS_na_period_2024_2027_g.pdf (дата обращения: 17.11.2025)

¹⁰ Распоряжение Министерства Транспорта Российской Федерации от 21 марта 2022 г. № АК-74-р об утверждении Методических рекомендаций по разработке заявок (включая локальные проекты по созданию и модернизации интеллектуальных транспортных систем)

основании распоряжения Минтранса России от 27 апреля 2024 года № АК-95-р) по созданию и модернизации ИТС в рамках проекта ОМРДХ, в котором впервые описаны и установлены критерии классификации по уровню зрелости ИТС в городских агломерациях субъектов Российской Федерации в целях оценки эффективности внедрения ИТС;

- **2023 г.** – утверждение стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации распоряжением Правительства № 3097-р¹¹;
- **2024 г.** – принятие Постановления Правительства РФ № 1875¹², еще больше ограничивающего закупку зарубежных товаров и услуг для дорожно-транспортной отрасли;
- **2025 г.** – реализация национального проекта «Инфраструктура для жизни».

Развитие отечественных ИТС за 15 лет прошло путь от научных концепций и точечных пилотов до системной государственной программы цифровой трансформации транспортной отрасли.

4. Выборка данных

Для анализа оснащенности периферийным оборудованием и ПО на территории Российской Федерации был проведен сбор информации путем анкетирования операторов (владельцев) ИТС:

- 89 органов исполнительной власти в сфере транспорта и дорожного хозяйства субъектов РФ (автомобильные дороги общего пользования);
- 30 федеральных казенных учреждений (ФКУ), подведомственных Росавтодору (федеральные автомобильные дороги);
- ГК «Автодор» (платные федеральные автомобильные дороги).

На рисунке 1 продемонстрирована динамика внедрения оборудования ИТС накопленным итогом с интервалом в два года.

Наблюдается ежегодный прирост периферийного оборудования, вводимого в эксплуатацию на автомобильных дорогах в рамках ИТС.

Основные скачки роста количества введенных устройств приходятся на следующие периоды времени: с 2010 по 2014 год и с 2020 по 2024 годы – увеличение состава оборудования ИТС более чем на 20% за год.

За 15 лет деятельности государства в сфере развития ИТС на автомобильных дорогах Российской Федерации количество оборудования увеличилось в 24 раза. Это говорит о высокой актуальности и потребности в передовых технологиях в рамках развития транспортного комплекса страны.

субъектов Российской Федерации на получение иных межбюджетных трансфертов из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в целях реализации мероприятия «Внедрение интеллектуальных транспортных систем, предусматривающих автоматизацию процессов управления дорожным движением в городских агломерациях, включающих города с населением свыше 300 тысяч человек» в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы» // КонсультантПлюс: офиц. сайт. URL: <https://ovmf2.consultant.ru/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=412440#zhVD3HV3hbeNvVu6> (дата обращения: 17.11.2025)

¹¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 ноября 2023 г. № 3097-р об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года // КонсультантПлюс: офиц. сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_461391/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/ / (дата обращения: 17.11.2025)

¹² Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2024 г. № 1875 «О мерах по предоставлению национального режима при осуществлении закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд, закупок товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» // КонсультантПлюс: офиц. сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_494318/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ec5633b/ / (дата обращения: 17.11.2025)

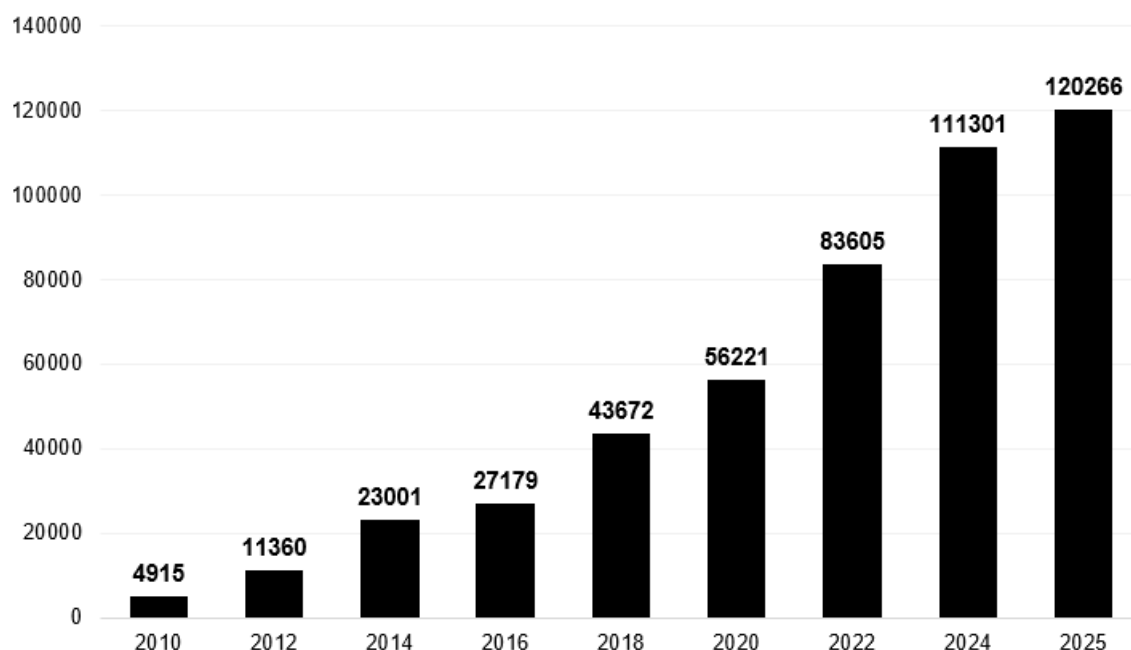


Рис. 1 – Количество эксплуатируемого оборудования ИТС по годам (2010-2025 гг.)

5. Структура и динамика внедрения оборудования ИТС

5.1 Общая статистика

В 2025 г. лидерами по количеству остаются те же типы оборудования, что и в 2024 г. наиболее распространенными типами оборудования остаются детекторы транспорта, камеры видеонаблюдения и системы фотовидеофиксации (далее – ФВФ). Их совокупная доля превышает 60%, что подтверждает приоритет задач мониторинга и контроля дорожного движения. Наблюдается устойчивый рост установки дорожных контроллеров и автоматизированных систем управления наружным освещением (далее – АСУНО), что указывает на расширение функций автоматизации управления процессами в части дорожного движения.

В 2025 году зафиксировано, что доля камер видеонаблюдения выросла до 19,9% от общего количества. Заметно снижение доли систем ФВФ – до 17,6% и ЗПИ – до 7,5%. Такая тенденция наблюдается на фоне возрастающего количества внедряемых дорожных контроллеров (до 13,7%), детекторов транспорта (до 23%) и камер видеонаблюдения (до 19,9%). Такое перераспределение связано с реализацией национальных проектов «Безопасные качественные дороги» и «Инфраструктура для жизни», а также масштабированием решений существующих платформ ИТС в целях достижения уровней зрелости существующих ИТС в регионах. Рост доли АСУНО до 9,4% связан с активной реализацией мероприятий по повышению безопасности дорожного движения, реконструкции и капитальному ремонту автомобильных дорог.

Ниже представлены графики распределения типов оборудования по итогу сбора данных в 2024 и 2025 годах (рис. 2 и рис. 3).



Рис. 2 – График долей эксплуатируемого оборудования ИТС по типам за 2024 г.

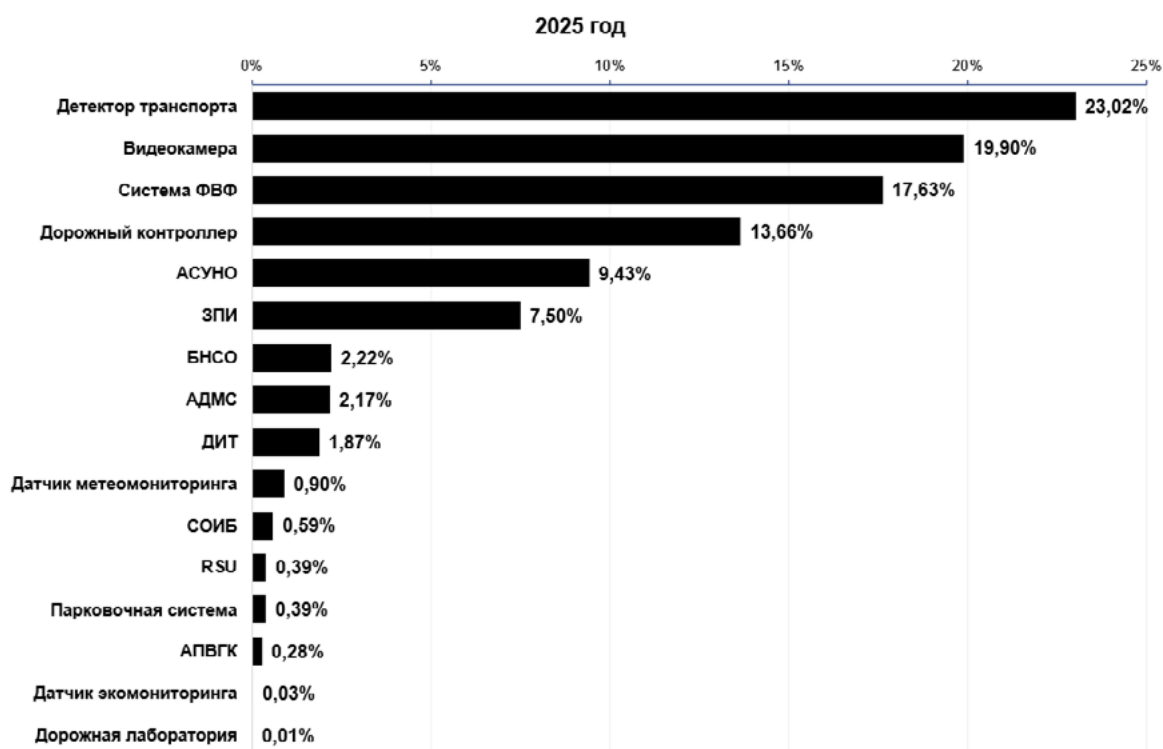


Рис. 3 – График долей эксплуатируемого оборудования ИТС по типам за 2025 г.

На основе актуализированных данных от владельцев ИТС получены сведения о снижении более чем на 2% доли систем ФВФ. Снижение связано не с фактическим уменьшением количества комплексов ФВФ на автомобильных дорогах, а с изменением балансодержателей дан-

ных устройств: системы ФВФ передаются в управление и содержание Министерства внутренних дел субъектов Российской Федерации в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 01.06.2024 № 752¹³.

5.2 Динамика импортозамещения

Анализ и сравнение данных анкетирования за 2024 и 2025 годы.

Согласно актуализированным данным, доля российского оборудования выросла на 8,4%, достигнув 75%. Этому способствовало введение ограничений на закупку иностранной радиоэлектроники при наличии российских аналогов. Особенно заметны успехи в замене дорожных контроллеров и автоматических дорожных метеостанций (АДМС). Анализ страны происхождения показывает значительный сдвиг в сторону отечественных решений. Доля отечественного оборудования по итогам анкетирования в 2024 году составляла 67,22% [10].

В Таблице 1 продемонстрированы результаты анализа долей стран-производителей на основе данных, полученных в рамках анкетирования в 2024 и 2025 гг.

Таблица 1

Соотношение стран производства оборудования за 2024-2025 гг.

Показатель	2024 г.	2025 г.
Доля российского оборудования	67,2%	75,6%
Доля китайского оборудования	10,6%	11,1%
Доля оборудования прочих стран	~22%	~13,3%

Анализ распределения стран-производителей оборудования ИТС за 2010–2025 гг.

На основе имеющихся данных проведен анализ динамики внедрения оборудования по странам-производителям периферийного оборудования ИТС на автомобильных дорогах общего пользования Российской Федерации. Анализ охватывает период с 2010 по 2025 год и позволяет выявить ключевые этапы технологической зависимости и последующего импортозамещения.

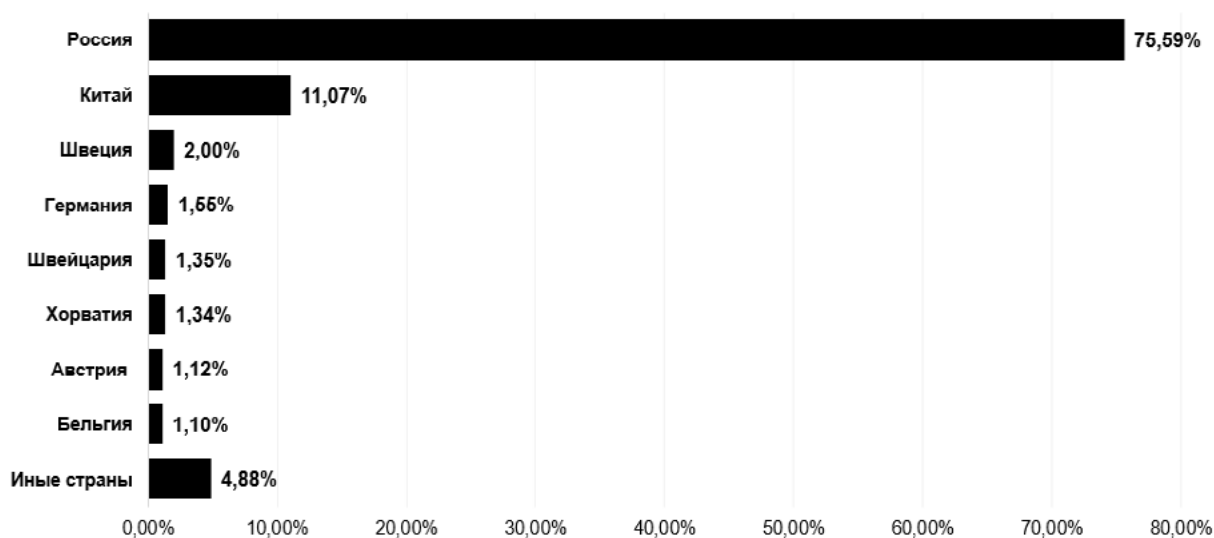


Рис. 4 – Распределение стран-производителей оборудования ИТС, эксплуатируемого на территории России (итог 2025 года)

В период с 2020 года продукты китайского происхождения заняли значительную долю отечественного рынка, характеризующиеся относительно конкурентоспособным функционалом и сравнительно невысокой стоимостью. Пик количества, введенного в эксплуатацию

¹³Постановление Правительства Российской Федерации от 01.06.2024 № 752 «Об утверждении правил передачи, приема и обработки информации, указанной в подпункте «б» пункта 2 части 9 и части 12 статьи 22.1 федерального закона «об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в российской федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации» // КонсультантПлюс: офиц. сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_477813/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/ (дата обращения: 20.11.2025).

оборудования пришелся на 2021 год и составил 37% от общего объема устанавливаемых периферийных устройств на автомобильных дорогах. Данный факт связан, в том числе, с дефицитом отечественных аналогов, большим ассортиментом китайской продукции, низкой ценой и широким применением камер видеонаблюдения на дорогах в рамках ИТС относительно других устройств (дорожных контроллеров, метеостанций, информационных табло, АСУНО и др.). Несмотря на проводимое активное импортозамещение зарубежного оборудования, доля китайских устройств занимает второе место по общему количеству всех эксплуатируемых.

Представленные на рисунке 4 данные отражают соотношение производителей оборудования ИТС по итогам 2025 года согласно актуализированным сведениям.

В рамках анализа имеющихся сведений об оборудовании по годам его внедрения особое внимание уделено динамике изменения долей России, Китая, Германии, Швеции, Хорватии и ряда других стран.

С 2011 года наблюдается устойчивый рост объема отечественного оборудования, находящегося в эксплуатации: к 2025 году его доля достигла 75%.

Китайская Народная Республика с 2020 года становится ключевым зарубежным поставщиком (11% в 2025 г.), продукция которой замещает устройства западных производителей.

Германия и Швеция: до 2015 года максимальное значение доли оборудования достигало 7-8%. К 2025 году общая доля снизилась до 1,5% и 2% соответственно, что свидетельствует о полном выводе продукции из цепочек поставок и замене оставшихся эксплуатируемых единиц отечественными аналогами.

Хорватия: доля дорожных контроллеров достигала 13% в 2013 г. К 2025 году доля всего оборудования составила 1,3% вследствие замены дорожных контроллеров, ДИТ и ЗПИ российскими аналогами.

Анализ выявляет четкую зависимость между внешнеполитической и технологической повесткой и структурой поставок:

- 2011-2019 гг.: начало восстановления (доля России увеличена до значительных 91%);
- Однако в 2021 году доля китайских устройств (в основном камер видеонаблюдения) достигла своего пика, в результате чего доля российского оборудования снизилась до 52% от общего количества;
- 2020-2025 гг.: ускорение импортозамещения (в 2024 году отечественную продукцию установили в количестве 90,1%, китайскую – 8,4%, продукцию иных зарубежных стран – менее 2%);
- Критическими точками в рамках внедрения ИТС стали: 2011 г. (старт госпрограмм ИТС), 2020 г. (федеральный проект «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства»), 2021-2023 гг. (санкционные ограничения и Постановление Правительства РФ № 616).

Анализ импортозамещения по типам оборудования.

По итогу анализа данных, актуализированных в 2025 году, по ключевым подсистемам ИТС в части их элементов получены следующие сведения, представленные в Таблице 2.

Доли отечественных продуктов, эксплуатируемых на автомобильных дорогах общего пользования в рамках таких подсистем ИТС, как светофорное управление, мониторинг параметров транспортного потока, метеомониторинг и система ФВФ нарушений правил дорожного движения (далее – ПДД), составляют значительные показатели (от 64% до 99%) от общего количества функционирующего оборудования.

Однако наблюдается присутствие значительного количества оборудования, произведенного в странах Европейского союза (ЕС), несмотря на то что в последние годы владельцами ИТС проводится много работы по замене таких устройств на отечественные аналоги.

В частности:

- дорожные контроллеры австрийского и голландского происхождения (8,7% и 3,2% соответственно);
- детекторы транспорта, произведенные в Швейцарии, Бельгии и Австрии (5,1%, 4,1% и 2,45% соответственно);
- автоматические дорожные метеостанции финского и немецкого производства в совокупности составляют 27,8%;

- ДИТ производства Хорватии, Италии и Франции составляют почти 20% от общего количества;
- доля отечественных ЗПИ составляет лишь 25%.

Отдельное внимание стоит обратить на сектор камер видеонаблюдения: доля китайской продукции в рамках подсистем видеонаблюдения на дорогах общего пользования составляет почти 50%.

Также важно отметить значительную долю (более 50%) оборудования ЗПИ, происхождение которого неизвестно, согласно сведениям, представленным операторами ИТС. Одной из причин такой статистики является отсутствие или потеря технических документов, паспортов данного оборудования, помимо сведений о фактическом их количестве, эксплуатировавшемся на автомобильных дорогах. Данный факт прямо демонстрирует важность паспортизации всего оборудования ИТС на дорогах общего пользования для проведения контроля, мониторинга и анализа.

Таблица 2

Распределение стран производителей по типам оборудования

Тип оборудования	Доля (%)
Дорожный контроллер	
Россия	84,51%
Австрия	8,77%
Нидерланды	3,24%
Иные страны	2,08%
Видеокамера	
Китай	47,74%
Россия	30,12%
Швеция	8,37%
Германия	2,47%
Иные страны	5,47%
Детектор транспорта	
Россия	64,45%
Швейцария	5,12%
Бельгия	4,12%
Австрия	2,47%
Иные страны	4,08%
Система ФВФ	
Россия	99,46%
Тайвань	0,30%
АДМС	
Россия	69,67%
Финляндия	16,63%
Германия	11,20%
ДИТ	
Россия	66,53%
Хорватия	8,66%
Италия	5,55%
Франция	5,33%

Тип оборудования	Доля (%)
Иные страны	4,57%
ЗПИ	
Нет данных	57,04%
Россия	24,90%
Хорватия	10,87%
Италия	2,83%
Германия	1,91%
Иные страны	2,45%

6. Программное обеспечение: анализ импортозамещения

В секторе программного обеспечения, функционирующего в рамках ИТС, наблюдается значительное присутствие отечественного ПО у владельцев и операторов ИТС.

Первую тройку стран-производителей ПО, эксплуатируемого на автомобильных дорогах общего пользования, составляют Россия, Германия и Китай.

К концу 2025 года, согласно актуализированным данным, доля отечественного ПО составляет 91,7%, производства Германии – 4,8%, Китай – 2,1% (Таблица 3). Данные по количеству лицензий программных продуктов и долям в разрезе стран-разработчиков приведены в Таблице 3. В 2024 году доля российского ПО достигала около 93% [10].

Таблица 3

Соотношение стран производителей ПО в 2025 году

Страна производства	Количество лицензий	Доля (%)
Россия	12 247	91,7%
Германия	643	4,8%
Китай	285	2,1%
Иные страны	179	<1,5%

Пик импорта немецкого ПО пришелся на 2020 год, до вступления в силу западных санкционных пакетов: 643 лицензии были приобретены для действующих на тот момент камер видеонаблюдения.

Китайское ПО активно устанавливалось в 2022 и 2024 годах: 202 и 80 лицензий соответственно.

Основными элементами ИТС, для которых внедрялось немецкое и китайское ПО, являются камеры видеонаблюдения.

По итогу актуализации сведений в 2025 году выявлено, что на территории Российской Федерации используется более 13 тыс. лицензий ПО в рамках ИТС.

Для сравнения: в 2024 году доля отечественного ПО составляла около 92,7%; снижение на 1% в этом году вызвано приобретением и установкой лицензий ПО для китайских камер видеонаблюдения.

7. Регистрация в государственных реестрах

Единый реестр российской радиоэлектронной продукции (ЕРРРП) является официальным списком изделий отечественного производства, признанных Минпромторгом России. Реестр был создан в 2019 году на основании постановления Правительства Российской Федерации № 878¹⁴ в целях импортозамещения и поддержки отечественных производителей продукции.

Для программного обеспечения создан официальный Единый реестр российского программного обеспечения (ЕРР ПО), подтверждающий российское происхождение программного продукта в России. Реестр запущен Минцифры России в 2016 году для учета отечественного ПО и его использования прежде всего в госструктурах.

Анализ программно-аппаратных продуктов на принадлежность к ЕРРРП и ЕРР ПО основан на сформированных ФАУ «РОСДОРНИИ» сводных перечнях, актуализируемых исходя из основных элементов обустройства автомобильных дорог, периферийного оборудования и ПО ИТС. Сведения опубликованы на официальном ресурсе Института и включают в себя информацию о типе оборудования, наименовании модели и его производителе, стране производства, технических и функциональных характеристиках в соответствии с технической документацией. Также они включают данные по индивидуальному номеру налогоплательщика (ИНН) производителя, реестровые номера оборудования (изделия) или ПО, а также даты включения в ЕРРРП и ЕРР ПО. В сводном перечне периферийного оборудования ИТС присутствует 595 наименований оборудования, в сводном перечне ПО – 125 записей моделей ПО.

Несмотря на высокую долю российского оборудования, эксплуатируемого на дорогах, лишь 18,8% из этого количества зарегистрировано в ЕРРРП (рис. 5). Показатель достаточно низкий, данный факт создает риски при участии в госзакупках и использовании несертифицированного оборудования. На сегодняшний день в ЕРРРП зарегистрированы более 110 моделей оборудования различных производителей. Данное соотношение вызвано большим количеством аппаратных продуктов, производимых в Российской Федерации, но уже приобретенных и внедренных на автомобильных дорогах общего пользования Российской Федерации. Регистрация оборудования в ЕРРРП – весьма трудоемкий и затяжной процесс, требующий большого внимания и времени со стороны ответственных органов и производителей данного оборудования, в связи с чем процент незарегистрированного оборудования настолько высокий.

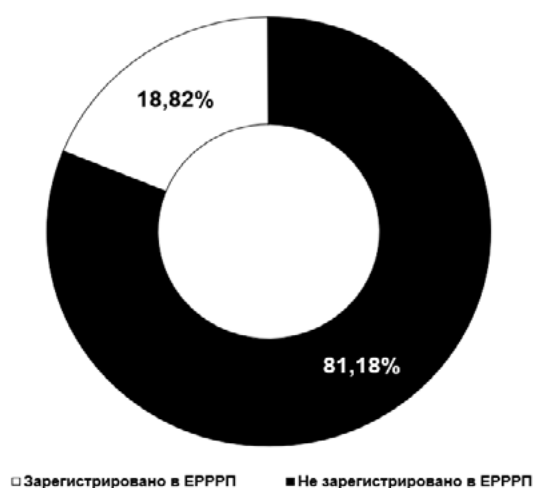


Рис. 5 – Доля зарегистрированного оборудования в ЕРРРП (2025 г.)

В то же время 79% ПО имеют сертификаты, что говорит о зрелости в области программного обеспечения ИТС. Отмечается рост числа зарегистрированных в ЕРР ПО программных продуктов отечественного производства, функционирующих в ИТС на автомобильных дорогах в субъектах РФ, доля в 2025 году составляет внушительные 79,2% (рис. 6).

¹⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 10 июля 2019 г. № 878 «О мерах стимулирования производства радиоэлектронной продукции на территории Российской Федерации при осуществлении

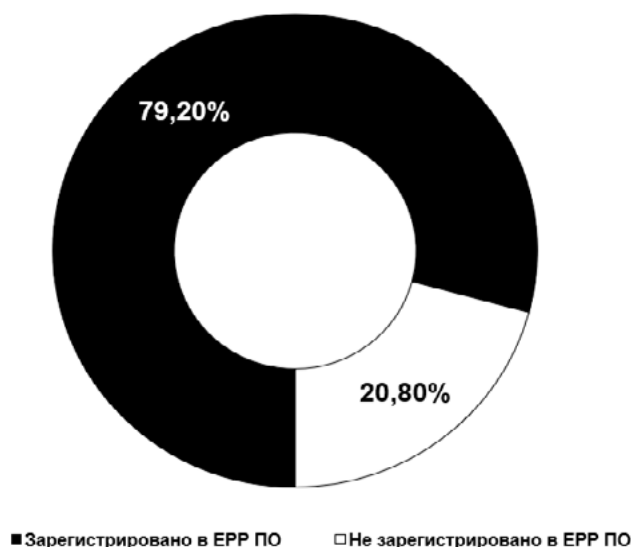


Рис. 6 – Доля зарегистрированного ПО в ЕРР ПО (2025 г.)

В 2025 г. впервые зафиксировано более 100 наименований программных продуктов, разработанных исключительно для российских ИТС и обеспечивающих не только управление, но и мониторинг, прогнозирование и интеграцию. В 2024 году была собрана информации о 95 наименованиях программного обеспечения.

8. Проблемы и рекомендации

В соответствии с проведенным исследованием существующего периферийного оборудования и программного обеспечения ИТС, функционирующего на автомобильных дорогах Российской Федерации, а также нормативно-правовой основы, сопровождающей процесс внедрения и развития сектора ИТС в транспортном комплексе страны, можно сделать следующие заключения.

Несмотря на сравнительно неплохие успехи развития ИТС в стране, сохраняются следующие вызовы:

1. Отсутствие единого правового регулирования для создания национальной транспортной системы [11].
2. Технологическая зависимость от компонентной базы: сенсоры, чипы, оптика – более 70% закупается за рубежом.
3. Фрагментация решений: на территории России функционируют программные решения 28 разработчиков интеграционных платформ – первоочередной задачей является разработка и скорейшее принятие единых стандартов и системы сертификации таких продуктов.
4. Низкий уровень регистрации в ЕРРПО: менее 20% оборудования – риск непрохождения закупок у заказчиков ИТС.
5. Отсутствие единой национальной платформы: локальные системы не масштабируются на федеральный уровень.
6. Подтверждение качества оборудования и ПО: отсутствие единого стандарта тестирования и сертификации.

Предложения и рекомендации по решению выявленных вопросов:

1. Ускорить создание национальной сети ИТС с обязательной сертификацией всех ее компонентов.
2. Ввести обязательную регистрацию всего оборудования и ПО в ЕРРПО и в ЕРР ПО как условие для участия в госзакупках.

3. Разработать программу модернизации ИТС с приоритетом замены оборудования старше 10 лет.
4. Поддержать НИОКР по разработке отечественных аналогов ключевых компонентов: российских сенсоров, чипов, датчиков и процессоров. Ускорить локализацию компонентной базы (сенсоры, чипы) для снижения зависимости от китайской аппаратной продукции.
5. Разработать и утвердить стандарты в сфере ИТС и, в частности, для Интеграционной платформы, которая является важным связующим звеном для функционирующих подсистем ИТС и местом консолидации поступающей информации, на основе которой автоматизировано и комплексно принимаются самые эффективные решения по организации дорожного движения.
6. Разработать систему сертификации Интеграционной платформы, позволяющую осуществлять контроль соответствия программных решений разработчиков требованиям заказчика.
7. Развивать кооперацию со странами Евразийского экономического союза (ЕАЭС) для создания совместных решений в области ИТС.

Заключение

ИТС в России внедряются и развиваются, тому подтверждение – стабильное увеличение количества функционирующего оборудования и ПО на дорогах общего пользования и замена устаревших технологий новыми, более передовыми. Сравнительный анализ 2010-2025 гг. демонстрирует достаточно успешное импортозамещение в сфере ИТС: доля российского оборудования достигла 77%, а количество устаревшего зарубежного оборудования сокращается.

В ходе анализа вопроса импортозамещения было зафиксировано:

- активная модернизация и замена зарубежных периферийных устройств и ПО отечественными аналогами;
- пролонгация политики государственной поддержки в вопросе внедрения и развития ИТС с целью создания национальной сети ИТС, а также развития нормативной правовой и нормативно-технической базы управления и организации ИТС.

Но для обеспечения технологического суверенитета необходимо перейти от тактической замены к стратегическому развитию: стандартизации, созданию национальной сети ИТС и развитию компонентной базы. Только так Россия сможет не просто заместить, но и опередить мировые тренды в области интеллектуальных транспортных систем.

Список использованной литературы

1. E. Gromova and T. Ivanc, «Regulatory Sandboxes (Experimental Legal Regimes) for Digital Innovations in BRICS,» *BRICS Law J.*, vol. 7, no. 2, pp. 10–36, 2020. DOI: 10.21684/2412-2343-2020-7-2-10-36.
2. Егоров С. В., Шационок П. В., Ерпылева А. И., Жарков Д. И. Мировой, российский опыт применения ИТС // *Транспортное дело России*. – 2022. – № 2. – С. 130–136.
3. Белов М. Ю., Евстигнеев И. А., Журавлев А. Д., Торопов Н. Ю. Определение термина ИТС: учиться на чужих ошибках // *ИТС России*. – 2024. – № 30. – С. 34–43.
4. Кружилин П. А. Проблемы импортозамещения в области ИТС в России // *Сборник научных трудов V Национальной (российской) научно-практической конференции* / под общ. ред. Е. Ф. Щипанова. – СПб.: СПбУТУиЭ, 2023. – С. 224–229.
5. R. Duan, «A comparative study on ITS (intelligent transport system) standardization policies in the U.S. and Europe,» *Heliyon*, vol. 10, no. 5, p. e21310, 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e21310.

6. Минниханов Р. Н. Развитие ИТС: единые цифровые платформы для безопасного управления транспортной системой // *Безопасность дорожного движения*. – 2022. – № 3. – С. 19–22.
7. М. А. Бажина, «Интеллектуальные транспортные системы – основа de lege ferenda транспортной системы Российской Федерации,» *J. Digit. Technol. Law*, vol. 1, no. 3, pp. 629–649, 2023. DOI: 10.21202/jdtl.2023.27.
8. Свистельников А. А., Малыхина П. В., Григорьева А. М., Кумалов Т. З. Методы испытаний для оценки соответствия подсистемы дорожного видеонаблюдения в составе интеллектуальных транспортных систем // *Интеллектуальный транспорт*. – 2025. – Вып. 4 (36). – С. 65–75.
9. Белов М. Ю. Цифровизация управления транспортными потоками – партнерство технологий моделирования и реализации // *Автомобильные дороги*. – 2025. – № 12 (1129). – С. 100–103.
10. Давыдов Р. Д., Ахмадов Г. Д., Белов М. Ю., Панкратов А. И. Методология анализа технических и программных элементов как основы эффективного управления национальной сетью интеллектуальных транспортных систем // *Вестник МАДИ*. – 2025. – № 4 (83). – С. 67–78.
11. L. Zhihan and S. Wenlong, «Impacts of intelligent transportation systems of energy conservation and emission reduction of transport systems: a comprehensive review,» *Green Technol. Sustain.*, vol. 1, no. 1, p. 100002, 2023. DOI: 10.1016/j.grets.2022.100002.

IMPORT SUBSTITUTION TRENDS IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

Gilani D. Akhmadov, deputy head of the department for technological development of intelligent transportation systems, FAI ROSDORNII, Moscow, Russia,

E-mail: akhmadov@rosdornii.ru

Rostislav D. Davydov, head of the department for technological development of intelligent transportation systems, FAI ROSDORNII, Moscow, Russia,

E-mail: davydov@rosdornii.ru

ABSTRACT

Russia is actively pursuing the digital transformation of its road transport sector through the deployment of advanced Intelligent Transportation Systems (hereinafter referred to as ITS). The purpose of this article is to analyze the Russian Federation's degree of import dependency – or independence – in the segment of ITS peripheral hardware and software used on public roads. To this end, the article examines data collected by the Federal State Unitary Enterprise «ROSDORNII» from 2010 to 2025 via surveys of ITS owners (operators). Based on this dataset, the study investigates trends in import substitution within intelligent road traffic management systems, with a focus on equipment types and countries of origin. The findings are contextualized against global practices and international experience. On the basis of this analysis, the article offers a comprehensive assessment of Russia's technological sovereignty in the ITS domain and identifies key challenges and future development prospects for ITS deployment on the country's public road network.

Keywords: intelligent transport system, import substitution, peripheral equipment, ITS elements, national ITS net-work, technological sovereignty.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ КОДИРОВАНИЯ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ

Кукушкин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотрудник аспирантуры, АО «НИИАС», Москва, Россия,

E-mail: adaptermetod@mail.ru

Кукушкин Леонид Сергеевич, аспирант Белгородского государственного университета, Белгород, Россия,

E-mail: leofrontier@gmail.com

Махов Фёдор Сергеевич, студент Белгородского государственного университета, Белгород, Россия,

E-mail: 1fmakhov@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Обеспечение безопасности железнодорожного движения представляет собой сложную проблему, разрешение противоречий которой требует привлечения новых разработок в различных областях науки и техники. Среди них, к числу наиболее востребованных, относятся последние достижения, относящиеся к использованию информационных и информационно-измерительных методов и технологий. В качестве объекта исследований в статье выбраны новые системы кодирования информации, необходимость применения которых обусловлена чрезвычайно быстрым увеличением мощности помех, на фоне которых осуществляется обмен данными. Известные методы не в полной мере удовлетворяют предъявляемым требованиям, а необходимость перехода на интервальные технологии организации движения поездов только усиливает зарождающееся недоверие к возможностям повышения уровня обеспечения безопасности железнодорожного движения на основе существующего помехоустойчивого кодирования передаваемой информации. Существующие подходы к разработке искусственного интеллекта (ИИ) также не затрагивают информационную составляющую обеспечения безопасности железнодорожного движения. Она намного сложнее имеющихся представлений и требует внесения кардинальных изменений в существующую теорию и практику. Такое решение, которое связано с переходом в каналах связи от существующего представления данных двоичным кодом к предлагаемому более экономичному сжато помехоустойчивому троичному кодированию, предлагается в статье.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование данных и сигналов, методы экономное кодирование двоичное и троичное кодирование, показатели эффективности новых технологий.

*Нет ничего практичнее хорошо разработанной
теории (Л. Больцман)*

Введение

В современном мире информационные технологии составляют основу развития человечества, а информатика и новые открытия оказывают наиболее значительное влияние на развитие искусственного интеллекта (ИИ) [1,3]. Особую значимость разработка новых методов кодирования представляют для решения задач обеспечения безопасности железнодорожного движения [2-5]. Железнодорожный транспорт быстро совершенствуется, увеличивается объём перевозок грузов и пассажиров. Быстро растут скорости движения электропоездов, а вместе с ними многократно увеличивается и уровень помех. В новых условиях возможности существующих информационных систем уже не отвечают растущим потребностям,

предъявляемым к безопасности железнодорожного движения. Их ресурс оказывается исчерпанным, противоречия многочисленных проблем развития информационных технологий всё более обостряются [3,5,6]. Необходим поиск новых технических решений, которые могли бы составить основу модернизации существующих систем передачи информации. При этом становится особо актуальной научная задача разработки новых методов и подходов, обеспечивающих достижение комплексного технического эффекта. Для этого, прежде всего, требуется доработка математического аппарата, обеспечивающего возможность расширенного проблемно-ориентированного синтеза новых технических решений [3-6]. В этом случае можно рассчитывать на появление прорывных технологий в области информационного и информационно-измерительного обеспечения безопасности железнодорожного движения.

Одно из перспективных направлений совершенствования систем связи, сигнализации, автоматизации и блокировки на железной дороге связано с применением новых сигнально-кодовых и структурно-кодовых конструкций (СиКК и СтКК) [1,3,5]. Новаторские решения и наиболее простое их внедрение в существующую практику открывают по сравнению с прежними подходами [7-10] новую страницу в истории разработки методов борьбы с помехами. В статье для повышения эффективности связи предлагается технология перекодирования двоичного кода, традиционно используемого для передачи информации, в его замещающий аналог, которым становится троичная система представления данных. Она относится к числу оптимальных, обеспечивающих (при неизменных объемах потоков данных) возможность сокращения избыточности передаваемых символов [2,6]. При этом нет никаких препятствий для использования троичного кода при канальном кодировании, когда активно используют коды с числом позиций (M): $M = 2k$, $k = 2$ (модуляция QPSK), $k = 3$ (модуляция 8-PSK), $k = 4$ (модуляция 16-QAM) [7]. А уменьшение числа позиций кода до $M = 3$ может претендовать на возможность обеспечения комплексного технического эффекта, проявляющегося в возможности одновременного разрешения не одного, а ряда противоречий, оказывающих сдерживающее влияние на развитие систем связи и управления [5].

1. Суть предлагаемого инновационного технического решения и достигаемые при этом новые возможности для повышения эффективности инфотелекоммуникационных систем

Основу предлагаемого алгоритма перехода от двоичного кода к предлагаемому троичному составляет следующее правило преобразований, определяемое соответствиями (1) для прямого кода и (1и) для его инверсной копии [1,2,5,6]:

$$\begin{aligned} S_0(T_0) &\leftrightarrow \langle 11,00 \rangle_2 \\ S_1(T_1) &\leftrightarrow \langle 10,001 \rangle_2 \\ S_2(T_2) &\leftrightarrow \langle 101 \rangle_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S_{0и}(T_{0и}) &\leftrightarrow \langle 00,11 \rangle_2 \\ S_{1и}(T_{1и}) &\leftrightarrow \langle 01,110 \rangle_2 \\ S_{2и}(T_{2и}) &\leftrightarrow \langle 010 \rangle_2 \end{aligned} \quad (1и)$$

где $S_i(T_i)$, $S_{и}(T_{и})$, $i = 0, 1, 2$ — дублирующие друг друга символы синтезированного прямого и инверсного троичного кода, для представления которых используют амплитудно-импульсную (АИМ-3) и широтно-импульсную (ШИМ-3) модуляции с тремя позициями ($M = 3$), соответственно; при этом соответствующие им двоичные кодовые конструкции, состоящие из двух и трёх бит, заключены в ломаные скобки: $\langle \dots \rangle_2$.

Отличительная особенность предлагаемого метода кодирования, определяемого соответствиями (1) и (1и), заключается в неоднозначности расшифровки троичных символов $S_0(T_0)$, $S_1(T_1)$, $S_{0n}(T_{0n})$ и $S_{1n}(T_{1n})$: каждому из них соответствуют не одна, как это требует классическая теория кодирования [7], а две различные двоичные кодовые конструкции. В новом предложении однозначность их декодирования обеспечивают за счёт следующего правила формирования рекуррентных кодов [2,6]: последний бит, который получают при расшифровке предыдущего троичного символа $S_i(T_i)$, становится первым в двоичной кодовой конструкции (КК_{2i}), которая присвоена последующему символу $S_{i+1}(T_{i+1})$. Как это происходит, показано на рисунке 1. Там же приведено и описание логики предлагаемого троичного кодирования. Последующие процедуры перекодирования двоичного кода в троичный не имеют отличий от краткого описания, приведенного в описательной части на рисунке 1.

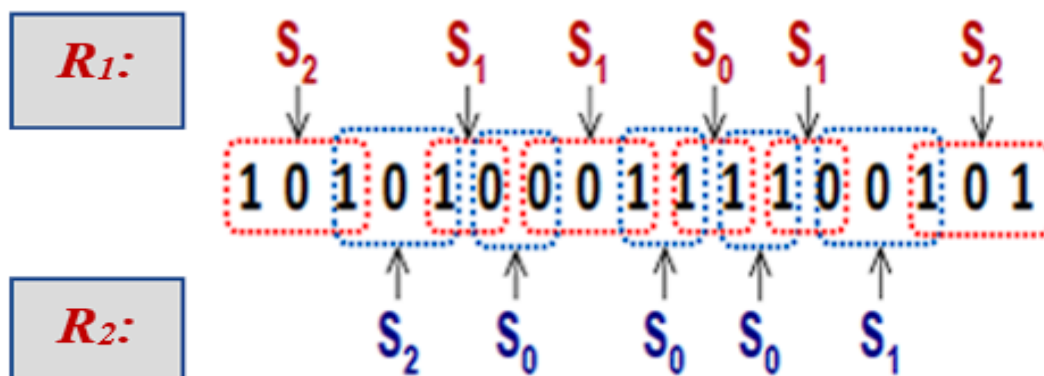


Рис. 1 – Дополнительное правило рекуррентного троичного кодирования

Логика правила рекуррентного троичного кодирования:

1. Формируют два уровня разбиения R_1 и R_2 для данных перекодирования S_i , $i = 0, 1, 2$. Каждый раз анализу подвергают 3 бита. Первые из них – это $KK_{2i} = \langle 101 \rangle_2$. Согласно правилу перекодирования (1) $KK_{2i} = \langle 101 \rangle_2$ соответствует троичный символ S_2 .
2. Следующая $KK_{2(i+1)}$ также $\langle 101 \rangle_2$, при выполнении правила рекуррентности кода. Значит и очередной троичный символ также S_2 .
3. Очередная 3-хразрядная $KK_{2i} = \langle 101 \rangle_2$, но нет соответствующего ей троичного символа, а есть $S_1 = \langle 10 \rangle_2$.

Необходимо уменьшить наши притязания с 3 бит до 2. Захватывая последний бит, равный $\langle 10 \rangle_2$, убеждаемся, что очередная $KK_{2(i+3)} = \langle 001 \rangle_2$ есть в принятом правиле, что соответствует другой расшифровке символа $S_1 = \langle 001 \rangle_2$

В последующем для простоты изложения предлагаемых технических решений предлагается остановиться на прямом троичном кодировании, определяемом соответствием (1) при использовании символов T_i , $i = 0, 1, 2$. Они при первичной модуляции отображаются в виде широтно-импульсной (ШИМ-3) модуляции с тремя значениями длительности: T_0 , $T_1 = 1,5 \cdot T_0$ где T_0 – длительность символов исходного двоичного кода. На рис. 2 приведены импульсные формы, используемые при первичной модуляции для представления бит исходного двоичного кода $<1>_2$ и $<0>_2$, а также для символов T_i , $i = 0, 1, 2$ предлагаемого троичного кода с последующим сравнением появляющихся при этой отличий.

На рисунке 2 приведены формы электрического представления кодово-импульсной модуляции КИМ-2 (вверху), отображающие последовательность бит исходного двоичного кода, и широтно-импульсной модуляции (ШИМ-3) (внизу) с тремя значениями длительностей троичных символов T_i , $i = 0, 1, 2$. Отличие, как несложно заметить, проявляется только в том, что биты двоичного кода имеют одну и ту же длительность – T_0 , а у троичного кода их три. Но с позиций существующей системы передачи с использованием фазовой манипуляции (ФМ-2), которую реализуют путём изменения фазы несущей частоты на два состояния 0° и 180° , ничего не изменилось.

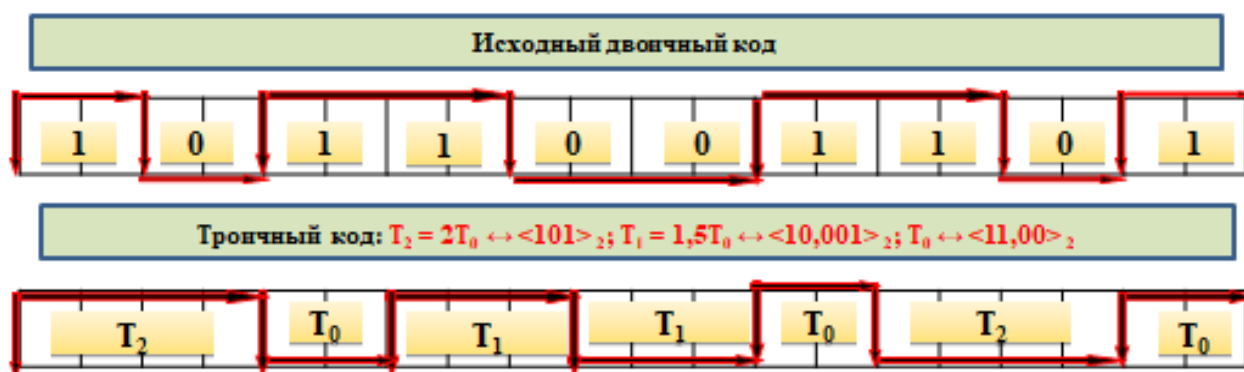


Рис. 2 – Импульсные формы представления символов исходного двоичного кода (верхняя эпюра) и символов T_i , $i = 0, 1, 2$ предлагаемого троичного кода (нижняя эпюра)

Она используется в качестве «фазовых меток» для отображения границ смены полярностей импульсов КИМ-2 или ШИМ-3 (рис. 2). Отличие проявляется только в том, что границы импульсов ШИМ-3 и КИМ-2 могут не совпадать: при передаче троичных символов $T_1 = 1,5 \cdot T_0$ они сдвигаются на $0,5 \cdot T_0$ длительности исходных бит передаваемой информации (рис. 2). Но число передаваемых троичных символов T_i , $i = 0, 1, 2$, сокращается, в среднем $k_{сж} = \log_2 3 \approx 1,6$, в раза по сравнению со случаем, когда передаче подлежит последовательность бит (рис. 3).

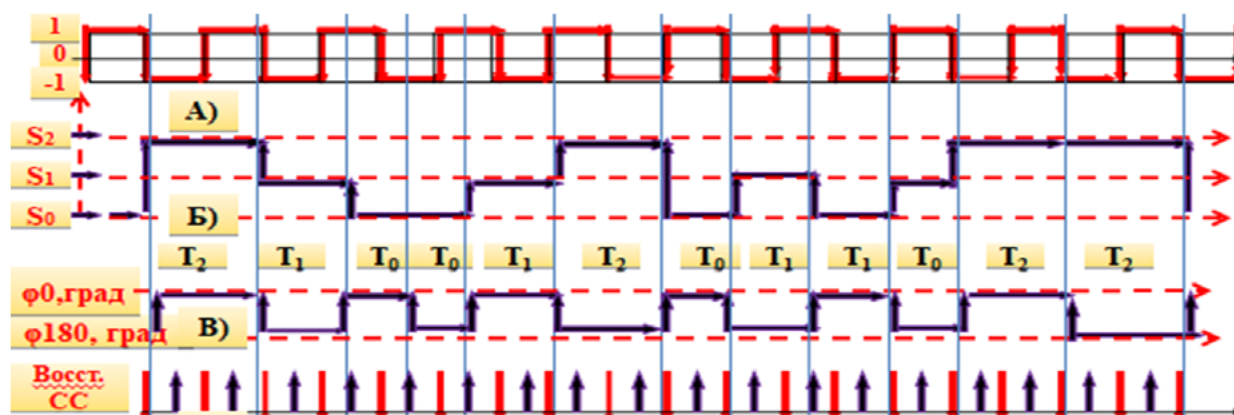


Рис. 3 – Иллюстрация возможности одновременного использования двух видов модуляции АИМ-3 и ШИМ-3 для повышения помехозащищённости передачи информации

Также появляется основа для достижения комплексного положительного эффекта [3], чего не было ранее. Так, например, на рис. 3 показан один из возможных способов совмещения двух видов модуляции: АИМ-3 и ШИМ-3, используемых для представления символов S_i , $i = 0, 1, 2$ (рис. 3 (Б)) и T_i , $i = 0, 1, 2$ (рис. 3 (В)), соответственно. Для пояснения достигаемого эффекта на рис. 3 (А) представлена тактовая импульсная последовательность в виде меандра, длительность импульсов которого равна продолжительности бит T_0 . На фоне меандровой импульсной последовательности (рис. 3 (А)) вертикальными линиями обозначены границы изменения полярностей импульсов ШИМ-3. В канал связи их передают в виде изменения фазы несущего сигнала (φ), принимающей значения: 0° и 180° . В результате перекодирования исходной двоичной последовательности бит: $<1010000101100110101>_2$, представленной 19 битами, получаем последовательность из 12 троичных символов T_i , отображаемых с использованием индексов i : $<210012011022>_3$. Получили коэффициент сжатия $k_{сж} = \frac{19}{12} = 1,58$, близкий к его теоретическому значению 1,6. Для передачи информации необходимо последовательность троичных символов $<210012011022>_3$ преобразовать сначала в электрическую импульсную форму. Их в нашем случае может быть 2: амплитудно-импульсная (АИМ-3), представленная символами S_i , $i = 0, 1, 2$ (рис. 3 (Б)) и широтно-импульсная (ШИМ-3), отображённая на (рис. 3(В)), первичные модуляции передаваемого сигнала.

Оказывается, что передача символов $T_i, i = 0, 1, 2$ (рис. 3 (В)) отличается от традиционной передачи информации двоичным кодом ещё и тем, что при приёме появляется возможность восстановления тактовой импульсной последовательности (нижняя эпюра), которая следует в 2 раза чаще по сравнению с передачей двоичным кодом (рис. 3 (А)). Подобный код получил название «самосинхронизирующегося» [7,8]. Он выгодно отличается тем, что появляется (на фоне эффекта дрейфа принимаемой импульсной последовательности символов) возможность восстановления импульсов, следующих в 2 раза чаще по сравнению с традиционной процедурой обеспечения тактовой синхронизацией, используемой при кодировании натуральным двоичным кодом. В этом случае при передаче троичных символов $T_i, i = 0, 1, 2$ на основе первичной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) есть возможность более точно определять временные моменты, указывающие на середину восстанавливаемых символов. А она (по сравнению с фронтами их импульсной формы) наименее подвержена искажению помехой. Такая технология получила название «мягкого» декодирования импульсной формы передаваемых символов кода [7,8].

На втором этапе модуляции импульсы АИМ-3, соответствующие символам $S_i, i = 0, 1, 2$, преобразуют в дискретную частотную модуляцию несущей частоты (ЧМ-3) с соответствующими тремя значениями частоты (f_i). Одновременно границы импульсов ШИМ-3 отображают изменения фазы (φ), принимающими значения 0° и 180° при фазовой манипуляции (ФМ-2) промодулированной частоты передаваемого сигнала. Всё это отражено в модели двумерного модуляционного кодирования передаваемых данных и его реализации, представленной на рис. 4.

На рис. 4 (А) представлен исходный двоичный код, содержащий 16 бит: $< 1010000110100101 >_2$. В результате перекодирования получим следующую троичную кодовую последовательность: $< 2100102112 >_3$, которая представлена одновременно символами $S_i, i = 0, 1, 2$, отображаемыми с использованием первичной модуляции АИМ-3 (рис. 4 (Б)) и символами $T_i, i = 0, 1, 2$, приведенными к своему электрическому аналогу посредством первичной модуляции ШИМ-3 (рис. 4 (В)). В результате этого несущая частота, посредством которой в канале связи передают информацию, оказывается нагруженной не одним, как это было ранее, а сразу двумя видами модуляции частотной (ЧМ-3) с тремя значениями частоты: f_0 (символ S_1), $f_1 = f_0 - \Delta f$ (символ S_2), $f_0 + \Delta f$ где (символ S_0) где f_0 – несущая частота, а Δf – значение её девиации и фазовой манипуляции (ФМ-2) с двумя значениями фазы (рис. 4 (Г)). При этом три значения длительности символов с числом позиций ($M = 3$) передают только двумя значениями фазы 0° и 180° ($M = 2$). Этот результат оказывается неожиданным для теории передачи информации М-позиционным кодом. Он показывает возможность фактического уменьшения числа позиций кода до $M = 2$, как у двоичного кода, при том, что в исходном представлении троичных символов $T_i, i = 0, 1, 2$ их было на единицу больше ($M = 3$). Предлагается такую возможность использовать для определения перспективных направлений совершенствования систем связи.

Таким образом, использование фазовой манипуляции (ФМ-2) способствует значительному повышению показателей помехозащищённости передачи троичных кодов, что продемонстрировано на рис. 4 (Г) на примере частотной модуляции (ЧМ-3). Но в то же время использование частотной модуляции (ЧМ-3) позволяет устранить основной недостаток фазовой манипуляции (ФМ-2), который связан с утратой информации о предыдущем значении фазы и появлением, вследствие этого, эффекта обратной работы фазового детектора, приводящего к инверсии бит.

Следовательно, разработка новых методов кодирования способствует достижению следующих преимуществ: помимо повышения показателей помехоустойчивости появляется возможность достижения комплексного положительного технического эффекта. Он составляет основу нового решения сложных противоречивых проблем. В их числе: повышение спектрально-энергетической эффективности передачи информации по каналам с ограниченной пропускной способностью, обеспечение её защиты от несанкционированного доступа (НСД) и информационно-технических воздействий (ИТВ). Разработанные научно-методические принципы, положенные в основу предлагаемого помехоустойчивого кодирования передаваемой информации, являются гносеологическими, т.е. способными оказать своё плодотворное влияние и за пределами рассматриваемой узкой области знаний.



Рис. 4 – Модель двумерного модуляционного кодирования передаваемых данных и его реализации

На рисунке 5 представлена блок-схема реализации предлагаемой технологии передачи информации.



Рис. 5 – Блок-схема реализации предлагаемой технологии передачи информации

Данные от источника данных и сообщений 1 подвергают операции кодирования 2 с использованием натурального двоичного кода. Затем следуют новые операции: 3 – перевод двоичного кода в предлагаемый троичный код с символами $S_i(T_i)$, $i = 0, 1, 2$; 4 – первичная комплексная импульсная модуляция АИМ-3 + ШИМ-3, а также 5 – вторичная комплексная импульсная модуляция ЧМ-3 и ФМ-2, соответственно. Несущую частоту f_0 и результаты её девиации $f_0 - \Delta f$ и $f_0 + \Delta f$ используют для частотной модуляции с тремя значениями частот ($M = 3$) для передачи троичных символов S_i , $i = 0, 1, 2$. Для повышения эффективности ЧМ-3 смену частот производят не в середине, а на вершине гармонических сигналов. При этом границы импульсов ШИМ-3, используемых для передачи троичных символов T_i , $i = 0, 1, 2$, обозначают изменением фазы 0° и 180° синусоидальных сигналов, сформированных при использовании ЧМ-3. В результате этого для передачи трех значений длительностей символов T_i , $i = 0, 1, 2$ ($M = 3$) используют только два состояния фазы, что является признаком использования ФМ-2. Таким образом, этот режим по помехоустойчивости ничем не отличается от того его аналога, который используют в существующей практике при передаче информации двоичным кодом. В последующем несущую частоту, нагруженную сразу двумя видами модуляции (ЧМ-3 + ФМ-2), передают в условиях помех по каналу связи 6, а восстанавливают её переданные состояния в приёмнике 7. На выходе приёмника 7 демоду-

лируют восстановленный сигнал с использованием частотного 8 и фазового 9 демодуляторов, после которых получают восстановленные при приёме троичные символы S_i , $i = 0, 1, 2$ (операция 10) и T_i , $i = 0, 1, 2$ (операция 11), соответственно. Затем используют операцию 12 контроля достоверности. Так как троичные символы S_i , $i = 0, 1, 2$ и T_i , $i = 0, 1, 2$ являются дублирующими по определению, то первая операция контроля достоверности заключается в удостоверении факта их совпадения восстановленных их последовательностей. При отсутствии совпадения проверяют выполнение условия, аналогичного тому, что используют при введении дополнительного символа «Контроль чётности бит» при традиционном двоичном кодировании. Он заключается в том, что между двумя соседними троичными символами $< 2 >_3$ должно быть только чётное число троичных символов $< 1 >_3$. Заключительная операций 13 связана с обратным переходом от символов троичного кода к восстановленному потоку бит.

Предлагаемый троичный код также отличается простотой операции его декодирования на приёмной стороне. Разработанная модель декодирования в иллюстрационном виде показана на рис. 6.

	S ₂			S ₀			S ₁			S ₁			S ₁			S ₂			
S _i – нечётные (R ₁)	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1		1	0		1	0	1		
S _{i+1} – чётные (R ₂)			1	0	0	0		1	1	1	0	1	0	0	1				
				S ₁			S ₀				S ₀			S ₂			S ₁		
Восстановленный двоичный код	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1		

Рис. 6 – Иллюстрация основных операций процесса декодирования предлагаемого троичного кода заключается в следующем

Основные операции процесса декодирования предлагаемого троичного кода заключаются в следующем:

- принятые символы троичного кода $S_i(T_i)$, $i = 0, 1, 2$ разделяют на два подпотока, в первый из которых входят нечётные (R_1), а во второй – чётные (R_2) символы;
- так как предлагаемый троичный код является рекуррентным (это следует из того факта, что последний бит двоичной кодовой конструкции предыдущей расшифровки соответствующего троичного символа $S_i(T_i)$, $i = 0, 1, 2$, является первым при расшифровке следующего троичного символа $S_i(T_i)$, $i = 0, 1, 2$), то повторяющиеся при расшифровке троичного кода двоичные кодовые конструкции бит в каждом из разбиений R_1 и R_2 записывают друг под другом;
- суть последней операции заключается в том, что биты, повторяющиеся в разбиениях R_1 и R_2 , объединяют и заменяют в результатах декодирования соответствующим одним двоичным символом «1» или «0».

2. Обсуждение результатов

Приведенный краткий анализ новых предложений и необычных достижений в области кодирования данных и модуляции сигналов ограничен только рассмотренными троичными кодами. Из иллюстрации процесса перекодирования двоичного кода в предлагаемый троичный код, приведенной на рис. 4, можно сделать следующие выводы:

1. Троичный код отличается тем, что обеспечивает возможность синтаксического сжатия данных на уровне символов, эффект от которого, в среднем, определяется значением $k_{сж} = \log_2 3 \approx 1,6$. Это значительный коэффициент, который можно получить при использовании технологии «сжатия без потерь». В соответствии с существующей теорией он не может быть больше значения: $k_{сж} = 2$. Известные технологии «сжатия»,

использующиеся при передаче изображений, могут обеспечить коэффициенты сжатия значительно превышающие значение 2, но их применение сопровождается потерей определённой части информации, что не всегда приемлемо.

2. Эффект синтаксического сжатия данных на уровне символов может быть существенно увеличен за счёт использования предварительной операции скремблирования исходной последовательности бит. Результаты проведенного моделирования показывают, что при использовании простейшего алгоритма скремблирования, когда принудительной инверсии подвергают каждый четвёртый бит исходной двоичной кодовой последовательности основной показатель достоверности восстановления переданных данных, определяемый как показатель вероятности искажения бит (P_6), увеличивается не менее, чем в 4 раза.

При его использовании получают, помимо сжатия передаваемых символов кода, дополнительный эффект в повышении помехоустойчивости связи. Известным является простейший способ повышения помехоустойчивости передачи информации двоичным кодом, который связан с введением в передаваемые кодовые слова и сообщения дополнительного символа «Контроль чётности бит» [7,8]. При этом одиночную ошибку при передаче сообщения определяют, если число символов «1» двоичного кода в принятом сообщении нечётное.

Подобное решение есть и в предлагаемом троичном коде, в котором избыточность символов не вводится, а, наоборот, сокращается. Оно связано с тем, что между двумя соседними символами троичного кода с индексом $i = 2$: $S_2(T_2)$ может быть только чётное число символов $S_1(T_1)$, длительность ШИМ которых равна: $T_1 = 1,5 \cdot T_0$, где T_0 – длительность бит. В этом случае соблюдается основное требование передачи на временном интервале между соседними символами $S_2(T_2)$ должно быть целое число длительностей бит T_0 . Но такая возможность будет только тогда, когда на этом временном интервале число символов $T_1 = 1,5 \cdot T_0$ будет чётным. Вот Вам и аналог использования избыточного символа «Контроль чётности бит», наиболее распространённого в существующей практике помехоустойчивой передачи информации. Но в нашем случае избыточные символы не вносятся. При использовании сжатого троичного кода число символов, используемых для передачи прежнего объёма информации, только сокращается. Полученные результаты следует рассматривать и как значительный вклад в науку и технику. Они составляют основу для развития таких научных направлений, как конструктивная теория конечных полей [6], дискретная математика [10] и теория связи [7,8]. Об этом свидетельствует, в частности, сравнительный анализ различных видов модуляции сигналов и результаты оценки эффективности их использования, приведённый в Таблице 1. В первых трёх её строках представлены оценки эффективности известных и наиболее часто используемых в системах связи видов модуляции с числом позиций (M): BPSK ($M = 2$), QPSK ($M = 4$) и 8-PSK ($M = 8$).

Таблица 1

Сравнительный анализ различных видов модуляции сигналов и результаты оценки эффективности их использования

Вид модуляционного кодирования данных	Число бит на передаваемый символ	Число возможных состояний на выходе	Минимальная полоса частот, Δf_m	Скорость модуляции, (Бит/с)	Эффективность использования ширины полосы пропускания B_{η} , (Бит/Герц)
BPSK	1	2	Δf_m	f_b	1
QPSK	2	$4 = 2^2$	$\frac{\Delta f_m}{2}$	$\frac{f_b}{2}$	2
8-PSK	3	$8 = 2^3$	$\frac{\Delta f_m}{3}$	$\frac{f_b}{3}$	3
Троичный код	2,5	3	$\frac{\Delta f_m}{2,5}$	$\frac{f_b}{2,5}$	2,5

В каждом из данных видов один переданный символ, представленный, например, в виде значения фаз (0° и 180° ($M = 2$)); (-135° , -45° , $+45^\circ$ и $+135^\circ$ ($M = 4$)), соответствует передаче одного и двух бит, соответственно. При использовании модуляции 8-PSK ($M = 8$) – кодо-

вой конструкции, составленной из 3 бит. В случае использования предлагаемого троичного кода один переданный троичный символ в соответствии с правилом кодирования (1) (рис. 1(A)) расшифровывается, как состоящий из 2-х и 3-х бит. Следовательно, в среднем можно считать, что на один принятый троичный символ приходится 2,5 бит. Значит по эффективности в соответствии с известным методом оценивания, суть которого представлена данными, приведенными в Таблице 1, он занимает промежуточное положение между QPSK ($M = 4$) и 8-PSK ($M = 8$). Но на самом деле его эффективность при представлении троичных символов с использованием импульсов ШИМ-3 и модуляции ФМ-2, существенно выше по сравнению с QPSK ($M = 4$) и 8-PSK ($M = 8$), поскольку используются только две позиции ФМ-2 (0° и 180° ($M = 2$)), как при использовании двоичного кодирования (BPSK).

Предлагаемый троичный код также составляет основу совершенствования существующего помехоустойчивого кодирования, которое уже не в полной мере удовлетворяет потребностям практики [1-5]. Он способен существенно дополнить пути выхода из затяжного кризиса [9], который переживают существующие методы избыточного помехоустойчивого кодирования. Разработанные технологии троичного кодирования и его расширений до пяти ($i = 5$) и девяти ($i = 9$) позиций при первичной модуляции ШИМ- i используются в современных разработках, направленных на совершенствование волоконно-оптических линий связи и систем управления беспилотных летательных аппаратов различного назначения. Также они составляют основу обеспечения комплексной защиты информации от помех, НСД и информационно-технических воздействий. Так как поставленная цель достигается не применением дорогостоящей и сложной при использовании шифрующей аппаратуры, а математическими методами, то это направление получило название «некриптографических методов комплексной защиты информации». Это направление активно развивается, о чём свидетельствует получение с 2021 по 2025 гг. более 40 патентов на способы. Среди них патенты RU 2025 года: №2834404, «Способ передачи информации с использованием расширенного логического троичного помехоустойчивого кода в режимах узкополосной и широкополосной связи», опублик. 07.02.2025, бюл. №7; №2840261 «Способ помехоустойчивого сжатия данных для передачи и хранения информации», опублик. 20.05.2025, бюл. №14; №2841083 «Способ обеспечения автоматической блокировки и автоматической сигнализации с использованием широкополосных сигналов», опублик. 07.02.2025, бюл. №7; №2844808 «Способ осуществления глобального мониторинга безопасности движения поездов и функционирования важных объектов железнодорожной инфраструктуры», опублик. 06.08.2025, бюл. №22; №2844504 «Способ передачи информации с использованием волоконно-оптических линий связи и обеспечением мониторинга их состояний», опублик. 01.08.2025, бюл. №22; №2853196 «Способ повышения эффективности передачи информации в железнодорожных системах автоматизации и связи», №2853512 «Способ помехоустойчивого кодирования с использованием троичных кодов», опублик. 23.12.2025, бюл. №34; №2853515 «Способ формирования меандровых шумоподобных сигналов, использующих в качестве основы построения сжатый помехоустойчивый троичный код и его расширения», опублик. 23.12.2025, бюл. №34; №2853516 «Способ передачи информации с использованием расширенного логического помехоустойчивого троичного кода в режимах узкополосной и широкополосной связи», опублик. 23.12.2025, бюл. №34.

Заключение

Когда речь заходит об «искусственном интеллекте» (ИИ), то предполагается, что его использование также будет способствовать достижению новых результатов, относящихся к области передачи информации. Достигнутый уровень развития ИИ впечатляет, но при этом не следует забывать о его недостатках. Пока он может быть только помощником человека-творца, человека-изобретателя. ИИ способен освободить его от сложной рутинной работы. Обладая несравнимо более высокими показателями в части оперативности переработки больших объёмов информации, он не может изобретать. За человеком остаётся главное – естественный интеллект. Именно им определяется всё, что необходимо для развития критических технологий. Последние, по определению, в системе приоритетов научно-технологического развития отрасли становятся наиболее важным элементом организации инновационной, технологической и производственной деятельности на железной дороге. В долгосрочной перспективе от уровня развития критических технологий в значительной степени зависит и конкурентоспо-

способность ОАО «РЖД» на внутреннем и внешнем рынках. Появились принципиально новые возможности для внедрения элементов ИИ, которые предоставляет современная элементная база существующих систем передачи информации в виде: программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), микроконтроллеров и микропроцессоров. Поэтому, как правило, уже не требуется доработка существующих аппаратных средств – поставленные цели достигаются путём дополнительного программирования.

Но всё это быстро обесценивается, когда не развивается главное – прикладная математика более высокого уровня по сравнению с существующими достижениями. В этом, а также в органичном объединении искусственного (машинного) и естественного (человеческого) интеллектов, и заключается перспектива развития научных и производственных сил, которую определяют таким понятием как «технологический прорыв». На устранение этого недостатка при решении проблем, относящихся к передаче информации, обеспечении безопасности железнодорожного движения, и поиск тех элементов «искусственного интеллекта», которые начинают пробивать себе дорогу в этой сложной области применения ИИ, направлена данная статья.

В ней показано, что наиболее ценными становятся такие варианты разработки прикладных математических методов и расширения на их основе возможностей ИИ, когда и дополнительное программирование существующих аппаратных средств может не потребоваться. Но получаемый при этом технический эффект становится более значительным по сравнению с тем, что даёт внедрение известных информационных технологий. Так, например, для повышения эффективности передачи информации с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и существующей системы модуляции NRZ или RZ нет принципиальных отличий в том, какая импульсная форма высокого потенциала, существующего двоичного или троичного кода открывает вентиль для прохода импульсов света. При традиционной передаче данных двоичным кодом вентиль будет открываться при передаче символов «1» и закрываться, если передают символ «0» (рис. 2, верхняя эпюра). В случае передачи информации с использованием символов T_i , $i = 0, 1, 2$ (рис. 2, нижняя эпюра) световые импульсы в режимах NRZ или RZ также будут передаваться, если импульсная форма троичного кода будет представлена высоким потенциалом напряжения. При этом за время длительностей, которые связаны с низким потенциалом импульсов ШИМ-3, вентиль закрывается, и передача импульсов света прекращается. Так что существующие передающая и приёмная системы ВОЛС «не заметят» подмены. И в этом будет проявляться высшая форма организации ИИ, когда выходной эффект становится комплексным и наиболее значительным, но при этом в существующей аппаратуре и принципах её функционирования ничего не меняется. Но этого можно достичь в результате его органичного объединения с естественным интеллектом человека-изобретателя. В этом и заключён «гибридный интеллект», к разработке которого необходимо стремиться. Предлагаемая в статье видимость перспектив развития ИИ намного сложнее имеющихся существующих представлений, относящихся к его использованию для обеспечения безопасности железнодорожного движения. Она предполагает активное использование новых достижений в области науки и техники.

Список использованной литературы

1. Кукушкин С. С., Розенберг Е. Н., Шабалин Н. Г., Ржевская А. П. Открытия, выполненные в России за последнее десятилетие в области прикладной математики и их использование в информатике для развития искусственного интеллекта // *Искусственный интеллект. Теория и практика*. – 2025. – № 3 (11). – С. 19–26.
2. Кукушкин С. С., Кукушкин Л. С. Математические методы помехоустойчивого кодирования, адаптированные к нетрадиционному представлению данных и сообщений сжатым троичным помехоустойчивым кодом // *Двойные технологии*. – 2021. – № 4 (97). – С. 75–79.
3. Кукушкин С. С., Розенберг Е. Н., Озеров А. В. Искусственный интеллект как основа обеспечения комплексной защиты информации в системах обеспечения безопасности железнодорожного движения. Теория и практика его реализации // *Искусственный интеллект. Теория и практика*. – 2025. – № 1 (9). – С. 79–87.

4. Кукушкин Л. С., Махов Ф. С. Инновационные методы структурно-алгоритмических преобразований данных передаваемой информации и их влияние на процессы развития искусственного интеллекта инфотелекоммуникационных систем // *Искусственный интеллект. Теория и практика*. – 2024. – № 1 (5). – С. 24–30.
5. Кукушкин С. С., Розенберг Е. Н., Озеров А. В. Совершенствование методов кодирования информации в системах управления // *Автоматика, связь, информатика*. – 2025. – № 7. – С. 25–29.
6. Кукушкин С. С. Теория конечных полей и информатика: в 2 т. – Т. 1: Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. – М.: МО РФ, 2003. – 284 с.
7. Феер К. Беспроводная связь. Методы модуляции и расширения спектра. – М.: Радио и связь, 2000. – 552 с.
8. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 763 с.
9. Осмоловский С. А. Помехоустойчивое кодирование: кризис и пути выхода из него // *Вестник РУДН. Серия Прикладная и компьютерная математика*. – 2004. – Т. 3, № 1. –

THE MAIN DIRECTIONS OF INCREASING SECURITY OF RAILWAY TRAFFIC BASED ON THE IMPROVEMENT OF THE SYSTEM ENCODING OF TRANSMITTED INFORMATION

Sergei S. Kukushkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the RSFSR, Chief Researcher of Postgraduate Studies, JSC NIIAS, Moscow, Russi,

E-mail: adaptermetod@mail.ru

Leonid S. Kukushkin, Postgraduate Student at Belgorod State University, Belgorod, Russia

E-mail: leofrontier@gmail.com

Fedor S. Mahov, Student of Belgorod State University, Belgorod, Russia,

E-mail: 1fmakhov@gmail.com

ABSTRACT

Ensuring the safety of railway traffic is a complex problem, the resolution of which requires the involvement of new developments in various fields of science and technology. Among them, the latest achievements related to the use of information and information-measuring methods and technologies are among the most in-demand. The article focuses on new information coding systems, the need for which is driven by the rapid increase in the power of interference that affects data exchange. The known methods do not fully meet the requirements, and the need to switch to interval technologies for organizing train traffic only increases the emerging distrust of the ability to improve the level of railway traffic safety based on the existing noise-resistant coding of transmitted information.

Keywords: noise-resistant data and signal coding, economical coding methods, binary and ternary coding, efficiency indicators of new technologies.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Душкин Роман Викторович, генеральный директор, ООО «А-Я Эксперт», Москва, Россия,
E-mail: drv@aia.expert

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются возможности применения больших языковых моделей как инструмента поддержки принятия решений на транспортных предприятиях. Показано, как современные технологии обработки естественного языка могут быть интегрированы в систему управления транспортными процессами для автоматизации подготовки аналитических отчётов, диспетчерского управления и документооборота. На основе практических кейсов продемонстрированы архитектурные принципы интеграции искусственных когнитивных агентов в информационную инфраструктуру транспортного предприятия. Предложены рекомендации по внедрению технологии с учетом специфики транспортной отрасли и требований безопасности.

Ключевые слова: большие языковые модели, искусственный когнитивный агент, системы поддержки принятия решений, транспортные предприятия, автоматизация управления.

Введение

Современная транспортная отрасль характеризуется возрастающим объёмом данных, сложностью логистических операций и высокими требованиями к оперативности принятия управленческих решений. В этих условиях традиционные подходы к обработке информации и формированию отчётности становятся недостаточными для обеспечения эффективного функционирования предприятий. Большие языковые модели (БЯМ), как класс технологий искусственного интеллекта (ИИ), предоставляют новые возможности для автоматизации интеллектуальной деятельности в сфере управления транспортом [1]. При этом в рамках настоящей статьи основное внимание уделяется предприятиям железнодорожного транспорта, для которых характерны особенно высокая сложность управленческих процессов и масштаб информационных потоков. Аналогичные тенденции отмечаются и в зарубежных и отечественных исследованиях, посвящённых интеллектуальному железнодорожному транспорту, где подчёркивается необходимость перехода к интеллектуальным системам поддержки принятия решений и цифровым когнитивным технологиям управления перевозочным процессом [2]. Актуальность использования языковых технологий в транспортной отрасли подтверждается активным внедрением решений на основе ИИ: по данным отрасли, более 28% транспортных компаний уже применяют технологии ИИ различного типа. Например, ОАО «Российские железные дороги» реализует свыше 30 проектов с применением ИИ-технологий, включая системы поддержки принятия решений (СППР) [3] и автоматизацию диспетчерского управления [4].

Структура работы:

- в разделе 1 приведены принципы функционирования БЯМ и описана формальная модель БЯМ-анализа;
- в разделе 2 рассмотрены сценарии применения БЯМ на транспорте;
- в разделе 3 предложена архитектура интеграции БЯМ и искусственными когнитивными агентами (ИКА) в корпоративные ИТ-системы;
- в разделе 4 выделены преимущества и ограничения технологии;
- в разделе 5 представлены перспективы развития;

- в разделе 6 даны рекомендации по внедрению;
- в заключении предложены основные выводы и представлена научная новизна работы.

1. Принципы работы больших языковых моделей в задачах управления

Большие языковые модели (БЯМ) представляют собой искусственные нейронные сети с архитектурой класса «трансформер», обученные на больших объемах текстовых данных и способные генерировать связный текст, анализировать естественный язык и выполнять задачи автоматизации документооборота. В контексте транспортного управления ключевыми возможностями этих технологий являются [5]:

- обработка неструктурированной информации из различных источников (диспетчерские сводки, отчёты персонала, данные сенсоров);
- автоматическое составление аналитических отчётов на основе оперативных данных;
- поддержка диалогового взаимодействия с информационными системами предприятия;
- извлечение ключевых параметров и трендов из больших массивов текстовой информации.

Интеграция языковых моделей с искусственными когнитивными агентами (ИКА) позволяет создавать системы, способные не только обрабатывать информацию, но и предлагать варианты решений в режиме реального времени [6].

1.1 Формальная модель БЯМ-анализа

Введём определение БЯМ анализа как статистического отображения.

БЯМ анализ: $X \rightarrow Y$, где:

- $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – множество входных данных (строки, числовые параметры, векторы признаков);
- Y – множество структурированных результатов (факты, рекомендации, отчётные данные);
- вывод модели вычисляется как:

$$Y = \arg \max_y P(y|X;\theta), \quad (1)$$

где θ – параметры модели.

Технически БЯМ выполняет отображение:

$$X \rightarrow H \rightarrow Y,$$

где H – скрытое многоуровневое представление (эмбединги).

Таким образом, БЯМ анализ представляет собой вероятностную процедуру преобразования данных в управленческое решение.

2. Сценарии применения в транспортной отрасли

2.1 Автоматизация подготовки аналитических отчётов

Одним из наиболее перспективных направлений использования БЯМ является автоматизация формирования регулярных отчётов для руководства транспортных предприятий. ИКА может анализировать данные о движении подвижного состава, загрузке инфраструктуры, выполнении планов перевозок и автоматически генерировать структурированные отчёты с выявлением ключевых тенденций и отклонений от нормативных показателей [7].

Кейс 1. Автоматизация сменных отчётов диспетчерской службы

На базе данных автоматизированной системы управления (АСУ) станции ИКА может автоматически формировать сводки о выполнении сменного плана, включая:

- анализ отклонений от графика движения поездов;
- выявление «узких мест» в работе инфраструктуры;
- формирование рекомендаций по корректировке планов на следующую смену.

Пример реализации БЯМ в данном кейсе заключается в использовании языковой модели, дообученной на корпусе исторических сменных отчётов диспетчерской службы. На вход модели подаются структурированные данные АСУ (фактическое время прибытия и отправления, задержки, занятость путей), которые предварительно преобразуются в текстовое представление фиксированного формата, после чего БЯМ генерирует связный аналитический отчёт, соответствующий принятому регламенту и стилю служебной документации.

Пример текстового промпта для формирования сменного отчёта может иметь следующий вид:

«Сформируй сменный отчёт диспетчерской службы за период с 08:00 до 20:00.

Входные данные:

- фактическое время прибытия и отправления поездов;
- задержки более 5 минут с указанием причин;
- загрузка приёмо-отправочных путей по станциям;
- случаи временного ограничения пропускной способности.

Требования: отчёт должен соответствовать регламенту служебной документации, содержать анализ отклонений от графика, выявление узких мест инфраструктуры и рекомендации по корректировке плана на следующую смену».

Использование подобных промптов позволяет стандартизировать структуру отчётов и обеспечить воспроизводимость аналитических выводов независимо от конкретного исполнителя.

Эксперименты показали возможность сокращения времени подготовки сменной отчётности с 40-60 минут до 5-10 минут при повышении полноты анализа данных. Сравнение расчётных значений ключевых характеристик для различных классов систем аналитики и отчётности приведено в Таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики методов автоматизации отчётности

Критерий	«Традиционные» СППР	Экспертные системы	БЯМ + ИКА
Время подготовки отчёта	40-60 мин.	45-120 мин.	5-10 мин.
Гибкость формата	Низкая	Средняя	Высокая
Качество анализа трендов	Среднее	Высокое	Очень высокое
Требования к настройке	Высокие	Очень высокие	Средние

2.2 Диспетчерское управление и поддержка операторов

ИКА могут выступать в роли интеллектуальных помощников диспетчерского персонала, обрабатывая поступающую информацию и предлагая варианты реагирования на нестандартные ситуации. Интеллектуализированная система анализирует текущую транспортную обстановку, сопоставляет её с базой типовых ситуаций и предлагает проверенные сценарии действий [8]. Формальная модель оперативной обстановки вводится с целью структурированного представления текущего состояния перевозочного процесса и последующего использования в задачах анализа, прогнозирования и поддержки принятия диспетчерских решений. Данная модель позволяет формализовать ключевые параметры подвижного состава

ва, инфраструктуры и внешней среды, необходимые для корректной интерпретации ситуации интеллектуальной системой.

Введём формальное описание:

$$S_t = \{P_t, R_t, T_t, E_t\}, \quad (2)$$

где $P_t = [v, a, \Delta t, \Delta x]$ – параметры подвижного состава, включающий текущую скорость v , ускорение a , момент времени t и пространственное положение x (координата, перегон или станция); $R_t = [s_1, s_2, \dots, s_m]$ – состояние инфраструктуры, элементы которого s_i принимают 0 или 1 и отражают состояние отдельных объектов инфраструктуры (пути, стрелочные переводы, станции, сигнальные устройства) по критериям исправности, доступности, пропускной способности и наличия ограничений; T_t – временные параметры графика, включающая плановые и фактические времена прибытия и отправления, интервалы следования, а также допустимые значения отклонений и задержек; E_t – внешние события, включающее технологические сбои, погодные условия, нештатные ситуации и иные факторы, которые можно формально задать через бинарную классификацию, не описываемые напрямую параметрами P_t и R_t , но оказывающие влияние на транспортную обстановку.

Каждый компонент представляет собой вектор.

Кейс 2. Интеллектуальная поддержка принятия решений при сбоях в движении

При возникновении технических неисправностей или задержек в движении система автоматически:

- анализирует влияние сбоя на общий график движения;
- предлагает альтернативные варианты маршрутизации;
- рассчитывает временные и экономические последствия каждого варианта;
- формирует рекомендации в текстовом виде для диспетчера.

В качестве примера реализации БЯМ рассматривается схема, при которой результаты оптимизационного расчёта (набор альтернативных действий с оценками полезности) передаются в языковую модель в виде текстового промпта, содержащего описание текущей оперативной обстановки и ограничений. БЯМ формирует объяснение выбранного варианта, включая интерпретацию причин отклонения от графика и обоснование рекомендуемой коррекции маршрута или расписания.

Пример промпта для генерации объяснимой рекомендации диспетчеру может быть сформулирован следующим образом:

«Текущая оперативная обстановка: задержка поезда №245 на 18 минут на перегоне А – Б из-за отказа стрелочного перевода. Ограничения: пропускная способность станции Б снижена до 0,6; альтернативный маршрут доступен через станцию В.

Доступные варианты действий:

1. ожидание восстановления инфраструктуры;
2. изменение маршрута через станцию В;
3. корректировка графика с последующим пропуском.

Задача: выбери вариант с максимальной полезностью и объясни причины выбора с точки зрения времени задержки, загрузки инфраструктуры и эксплуатационных рисков».

На выходе БЯМ формирует текстовое обоснование выбранного решения, интерпретируя значения частных критериев f_i и их вклад в итоговую функцию полезности $U(a, s)$. Структура и последовательность указанных операций формализованы в виде алгоритма деятельности искусственного когнитивного агента, представленного на рис. 1. Для обеспечения наглядности и синхронизации с диаграммой ниже приведено текстовое описание основных этапов данного алгоритма.

Алгоритм работы искусственного когнитивного агента в диспетчерских задачах может быть представлен в виде последовательности деятельности (рис. 1):

- получение входных данных (X: оперативная обстановка, сигналы инфраструктуры);
- совмещение с контекстом (C: нормативы, расписание, технические ограничения);
- учёт истории (H: прошлые решения, эффективность коррекций), где под эффективно-

- стью коррекций понимается степень снижения задержек, минимизация отклонений от графика и улучшение эксплуатационных показателей после внесённых изменений;
- формирование множества решений (А: маршруты, графики, инструкции);
 - оценка полезности каждого варианта по функции $U(a, s) = \sum w_i \cdot f_i(a, s)$, где a – рассматриваемое управленческое решение (например, вариант маршрутизации, корректировки графика или диспетчерской инструкции), s – состояние системы, соответствующее текущей оперативной обстановке, f_i – частные критерии (время задержки, загрузка инфраструктуры, экономические потери), а w_i – их весовые коэффициенты;
 - предложение оператору рекомендаций с автоматическим объяснением выбора, реализуемым с использованием архитектуры трансформера – класса нейросетевых моделей, основанных на механизме самовнимания и обеспечивающих обработку контекста и взаимосвязей между элементами входных данных.

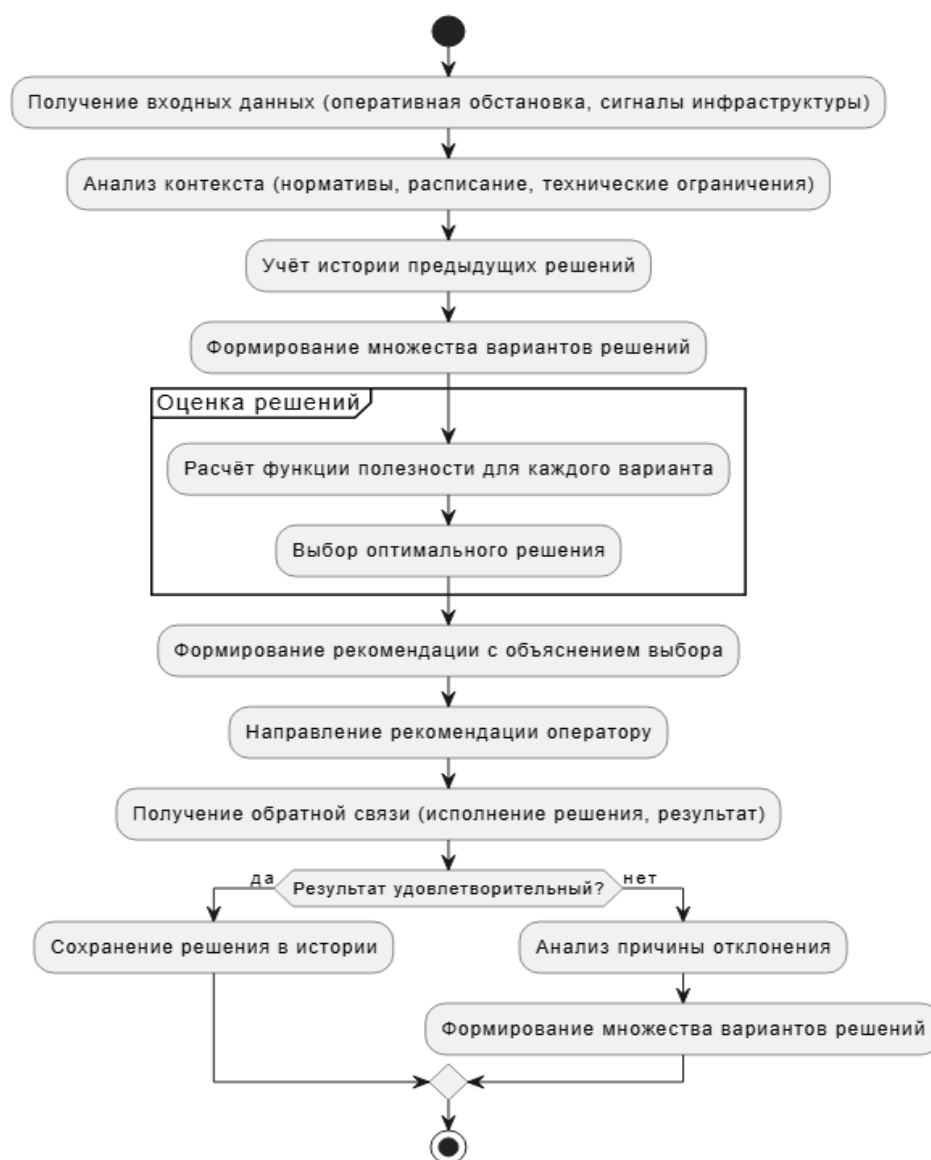


Рис. 1 – Диаграмма деятельности искусственного когнитивного агента

2.3 Автоматизация документооборота и внутренних коммуникаций

БЯМ эффективно решают задачи автоматизации рутинной документооборота: составление стандартных уведомлений, обработка заявок персонала, формирование инструкций и регламентов. ИКА на основе БЯМ может анализировать входящие обращения сотрудников, классифицировать их по типам и автоматически направлять по соответствующим каналам обработки [7].

Определим когнитивного агента:

$$A = \langle S, P, U, \Pi \rangle, \quad (3)$$

где S – множество состояний; P – функция анализа; $U(a, s)$ – функция полезности; Π – множество стратегий.

Функция анализа P формально определяется как отображение $P: X \rightarrow S$, где X – множество входных данных (тексты обращений сотрудников, метаданные заявок, временные и контекстные признаки), а S – множество состояний системы, описывающих классифицированное и интерпретированное представление текущей ситуации. В рамках рассматриваемого кейса функция P реализует процедуры семантического анализа, классификации и извлечения признаков с использованием БЯМ и обеспечивает переход от неструктурированных входных данных к формализованному состоянию, используемому далее при оценке полезности управленческих решений.

Функция полезности $U(a, s)$ интерпретируется как мера ожидаемой эффективности применения действия a в состоянии s и используется агентом для сравнения альтернативных управленческих решений.

Выбор действия:

$$a^* = \arg \max_{a \in \Pi} U(a, s), \quad (4)$$

что обеспечивает выбор действия с максимальной ожидаемой полезностью для заданного состояния системы, а не абстрактного или заранее фиксированного состояния.

ИКА использует БЯМ в качестве модуля вероятностного анализа входных данных.

2.4 Прогнозирование пассажиропотока

БЯМ и ИКА на их основе можно использовать для более тщательного прогнозирования пассажиропотока. Такой подход решает проблему влияния внешних событий на транспортную мобильность населения, которая не учитывается в классических статистических моделях. БЯМ обрабатывает неструктурированную текстовую информацию и извлекает факторы, влияющие на интенсивность поездок.

Интеграция БЯМ позволяет автоматически обрабатывать новостные сводки, социальные сети, официальные сообщения и формировать корректирующие коэффициенты для базового прогноза временных рядов.

Кейс 3. Прогнозирование пассажиропотока с использованием больших языковых моделей

В задачах прогнозирования пассажиропотока удаётся соединить классическую модель анализа временных рядов с компонентом семантического анализа внешних факторов (новости, погодные сводки, события).

Пример реализации БЯМ в данном кейсе включает автоматическую обработку новостных сообщений и анонсов мероприятий, при которой языковая модель классифицирует события по типу и масштабу, извлекает временные и географические атрибуты и формирует числовые индикаторы интенсивности влияния внешних факторов. Полученные признаки используются в качестве входных параметров функции f^{external} при расчёте прогноза пассажиропотока.

Пример промпта для извлечения факторов внешнего воздействия на пассажиропоток может выглядеть следующим образом:

«Проанализируй новостные сообщения и анонсы мероприятий в городе N на период с 10 по 15 мая.

Определи события, потенциально влияющие на пассажиропоток общественного транспорта.

Для каждого события укажи:

- *тип (культурное, спортивное, погодное, инфраструктурное);*
- *ожидаемую дату и продолжительность;*
- *предполагаемую географическую зону влияния;*
- *оценку интенсивности влияния по шкале от 0 до 1».*

Результаты такого анализа используются для формирования числовых признаков, входящих в компонент f^{external} прогностической модели.

Формализация прогностической функции:

$$P(t) = f^{\text{trend}}(t) + f^{\text{seasonal}}(t) + f^{\text{external}}(\text{БЯМ_анализ}(t)), \quad (5)$$

где $P(t)$ – прогнозируемый пассажиропоток в момент времени t ; $f^{\text{trend}}(t)$ – трендовая составляющая (долгосрочные изменения спроса); $f^{\text{seasonal}}(t)$ – сезонная составляющая (периодические колебания по дням недели, месяцам); $f^{\text{external}}(\text{БЯМ_анализ}(t))$ – компонент внешних факторов, рассчитанный на основе семантического анализа текстовых данных о событиях, влияющих на мобильность (спортивные мероприятия, концерты, погодные условия, изменения в расписании общественного транспорта).

Формализация позволяет чётко разделить источники данных: $f^{\text{trend}}(t)$ и $f^{\text{seasonal}}(t)$ строятся на основе структурированных исторических данных о пассажиропотоке, в то время как f^{external} формируется на выходе анализа БЯМ. В качестве входных данных для БЯМ используются текстовые потоки (новостные ленты, анонсы мероприятий, сообщения в соцсетях), которые предварительно фильтруются по релевантным для транспорта геолокациям и временным интервалам. Количественная оценка влияния (f^{external}) может быть получена, например, через весовые коэффициенты, извлекаемые моделью, или через классификацию событий по предопределённым шаблонам воздействия.

Оценки, полученные в ходе апробации предлагаемого подхода на синтетических и анонимизированных исторических данных, демонстрируют потенциал снижения ошибки прогноза (например, средней абсолютной ошибки – MAE) на 15-20 процентных пунктов по сравнению с использованием классических статистических методов, таких как ARIMA, в условиях наличия значимых внешних событий.

3. Архитектура интеграции в ИТ-ландшафт транспортного предприятия

Эффективное внедрение БЯМ требует их глубокой интеграции с существующими информационными системами предприятия. Подобный архитектурный подход согласуется с современными концепциями цифровизации интеллектуальных железнодорожных станций, предполагающими многоуровневую интеграцию аналитических модулей, интеллектуальных алгоритмов и корпоративных информационных систем в едином цифровом контуре управления [9]. БЯМ формально определяется:

$$M = \langle T, H, \theta \rangle, \quad (6)$$

где T – архитектура трансформера; H – скрытые состояния; θ – параметры.

Рекомендуемая архитектура включает следующие компоненты [10]:

- Уровень данных: интеграция с корпоративными системами (АСУ станций, системы диспетчерского управления, базы нормативных документов);
- Уровень обработки: развёртывание БЯМ с возможностями дообучения на отраслевых данных;
- Уровень приложений: разработка специализированных интерфейсов для различных категорий пользователей (диспетчеры, руководители, аналитики);
- Уровень безопасности: обеспечение защиты конфиденциальной информации и верификации результатов работы системы.

Ключевым принципом является обеспечение прозрачности работы ИКА с возможностью объяснения логики принятия решений для критических транспортных процессов [11].

Для формализации архитектуры интеграции БЯМ и ИКА в транспортную систему используется следующая структурная схема (рис. 2).



Рис. 2 – Архитектура взаимодействия компонентов

В частности:

- уровень данных – корпоративные АСУ, сенсорные сети, базы нормативных документов;
- уровень обработки – БЯМ с отраслевым дообучением, модуль искусственного когнитивного агента;
- уровень приложений – интерфейсы для диспетчеров, руководителей, аналитиков;
- уровень безопасности – системы верификации, аудита и защиты информации.

4. Преимущества и ограничения

4.1 Преимущества применения

Внедрение БЯМ в управление транспортными предприятиями обеспечивает:

- сокращение времени подготовки аналитической отчётности;
- повышение качества обработки больших объёмов неструктурированных данных;
- снижение нагрузки на персонал при выполнении рутинных операций;
- улучшение оперативности реагирования на нештатные ситуации.

4.2 Риски и ограничения

Основными ограничениями технологии являются:

- необходимость верификации результатов работы системы человеком-экспертом;
- потребность в адаптации моделей под специфику транспортной терминологии;
- требования к вычислительным ресурсам для обеспечения работы в режиме реального времени;
- необходимость обеспечения отказоустойчивости в критических процессах управления.

5. Перспективы развития

Развитие технологий БЯМ и ИКА открывает новые возможности для транспортной отрасли. К 2030 году ожидается расширение функциональности до полноценных цифровых помощников руководителей, способных анализировать стратегические тенденции и предлагать долгосрочные управленческие решения.

Интеграция с технологиями цифровых железнодорожных станций и системами автономного управления подвижным составом позволит создать комплексные решения для «безлюдного» управления транспортными процессами под контролем ИКА.

6. Рекомендации для транспортных компаний

При планировании внедрения БЯМ и ИКА в СППР на транспорте рекомендуется:

- Начинать с пилотных проектов в области автоматизации отчётности, где влияние на критические процессы минимально;
- Обеспечивать поэтапную интеграцию с существующими информационными системами транспортного предприятия;
- Предусматривать обучение персонала работе с БЯМ и ИКА на их основе;
- Разрабатывать процедуры верификации результатов работы системы для критически важных решений;
- Создавать команды экспертов для настройки и адаптации моделей под специфику транспортных процессов.

Заключение

В работе показано, что БЯМ могут стать ключевым инструментом поддержки принятия решений на транспортных предприятиях.

Научная новизна работы:

- введена формальная модель БЯМ-анализа, реализованная как статистическое отображение (формула (1));
- формализована оперативная обстановка, описанная в виде кортежа состояний S_t (формула (2));
- формализована структура когнитивного агента, представленная в виде формального описания $A = \langle S, P, U, I \rangle$, (формула (3));
- предложена формальная архитектура ИКА+БЯМ, отражённая в алгоритме деятельности когнитивного агента (рис. 1);
- предложена структурированная методика внедрения БЯМ, проиллюстрированная на примерах кейсов 1-3 и их формальных описаниях (формулы (2)-(5), рис. 1).

БЯМ представляют собой перспективный инструмент для автоматизации интеллектуальных функций управления на транспортных предприятиях. Их внедрение позволяет значительно повысить эффективность обработки информации, сократить время подготовки управленческих решений и снизить нагрузку на персонал.

Однако успешная реализация технологии требует системного подхода к интеграции с корпоративной ИТ-инфраструктурой и обеспечения соответствующих компетенций персонала. Развитие направления ИКА открывает новые горизонты для цифровой трансформации транспортной отрасли и повышения её конкурентоспособности.

Список использованной литературы

1. Долгий А. По рельсам цифровой трансформации [Электронный ресурс] // *Транспорт России*. – 2024. – URL: <https://transportrussia.ru/razdely/it-tekhnologii/11165-po-relsam-tsifrovoj-transformatsii.html> (дата обращения: 23.01.2026).
2. Озеров А. В., Бочков А. В. Текущее состояние и перспективы мировых исследований в области интеллектуального железнодорожного транспорта // *Интеллектуальный транспорт*. – 2025. – Т. 9, № 2(34). – С. 43–66.
3. Системы поддержки принятия решений: что решает СППР? [Электронный ресурс] // *FIS Group*. – 2024. – URL: <https://fisgroup.ru/blog/fis-dss/> (дата обращения: 23.01.2026).
4. Белозёров О. В. Технологии ИИ реализованы либо внедряются в более чем 30 проектах РЖД [Электронный ресурс] // *ТЖЗД*. – 2025. – URL: https://techzd.ru/news/tzhd-news/tekhnologii_ii_realizovany_libo_vnedryayutsya_v_bolee_chem_30_proektakh_rzhd/ (дата обращения: 23.01.2026).

5. Юсупов А. Т. Применение генеративного искусственного интеллекта в бизнес-аналитике: трансформация возможностей и новые вызовы // *Академический исследовательский журнал*. – 2025. – Т. 3, № 5. – С. 108–112. – DOI: 10.25726/m8030-0072-2139-t.
6. Давыдова П. «Белая книга»: Искусственный интеллект в сфере транспорта и логистики [Электронный ресурс] // *Министерство транспорта Российской Федерации*. – 2025. – URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/12167> (дата обращения: 23.01.2026).
7. Нейросети в логистике: что с ними происходит на российском рынке [Электронный ресурс] // *Campus*. – 2024. – URL: <https://campus.stt.ru/articles/neyroseti-v-logistike/> (дата обращения: 23.01.2026).
8. Z. Ma, H. Wang, and Y. Hou, «Overall scheme and key technologies for railway freight digitization-intelligent station,» *Railway Computer Application*, vol. 34, no. 6, pp. 45–51, 2025. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8451.2025.06.07.
9. Будущее диспетчерских центров: искусственный интеллект и нейросети [Электронный ресурс] // *Dispatch Solutions*. – 2022. – URL: <https://dispatch-solutions.ru/novosti/130-budushchee-dispatcherskikh-tsentrov-iskusstvennyj-intellekt-i-nejroseti> (дата обращения: 23.01.2026).
10. Баканов Д. Э. Эффективные отечественные практики применения технологий искусственного интеллекта в сфере транспорта и логистики. – М.: АНО «Цифровая экономика», 2024. – 56 с.
11. Горохов В. Л., Брусакова И. А., Кожухов С. О. Когнитивные инструменты объяснительного искусственного интеллекта для задач транспортной и образовательной логистики // *Компьютерные инструменты в образовании*. – 2023. – № 2. – С. 30–40. – DOI: 10.32603/2071-2340-2023-2-30-40.

USING LARGE LANGUAGE MODELS AS A TOOL TO SUPPORT DECISION-MAKING IN TRANSPORTATION COMPANIES

Roman V. Dushkin, CEO, A-Ya Expert LLC, Moscow, Russia,
Email: drv@aia.expert

ABSTRACT

The article discusses the possibilities of using large language models as a decision-making support tool in transport companies. It shows how modern natural language processing technologies can be integrated into a transport process management system to automate the preparation of analytical reports, dispatch control, and document flow. Based on practical cases, the architectural principles of integrating artificial cognitive agents into the information infrastructure of a transport enterprise are demonstrated. Recommendations are made for the implementation of the technology, taking into account the specifics of the transport industry and safety requirements.

Keywords: large language models, artificial cognitive agents, decision support systems, transportation companies, management automation.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ВОДИТЕЛЯ В УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ

Воробьев Андрей Игоревич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Организация и безопасность движение, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: andrey552@yandex.ru

Маркаров Александр Игоревич, ассистент кафедры «Организация и безопасность движение, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: markarov20@yandex.ru

Селезнев Денис Витальевич, лаборант кафедры «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы», МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: den.sele@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Человек является центральным элементом системы «водитель — автомобиль — дорога — среда», безопасность функционирования которой во многом зависит от его действий и решений. Даже в беспилотных транспортных средствах предусмотрено присутствие человека, осуществляющего мониторинг и контроль над процессом. Статья является частью исследования, заключающегося в оценке уровня вовлеченности водителя в управление высокоавтоматизированными транспортными средствами и его способности оперативно восстановить контроль в случае возникновения критической ситуации, а также в определении его способности инициировать соответствующие действия в условиях отвлеченности. В статье описана подготовка к эксперименту, позволяющему оценить вовлеченность человека-водителя в процесс управления при взаимодействии с автоматизированными системами управления транспортом. Основное внимание уделено описанию комплекса, с помощью которого моделируется процесс движения высокоавтоматизированного транспортного средства.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, машинное обучение, компьютерное зрение, высокоавтоматизированные транспортные средства, психофизиология водителей.

Введение

В современном обществе вопросам психологического состояния водителя при управлении транспортным средством придаётся важное значение. Водитель обязан не только осуществлять мониторинг дорожно-транспортной обстановки, но и принимать точные и обоснованные решения при управлении транспортным средством, что напрямую влияет на безопасность дорожного движения. Безопасность дорожного движения определяется комплексом экономических и социальных факторов, а также зависит от уровня подготовки водителя, состояния транспортного средства и инфраструктуры.

Одним из ключевых аспектов обеспечения безопасности дорожного движения является обучение основам управления транспортным средством и использование современных автомобилей, оснащённых системами активной и пассивной безопасности, а также электронными системами помощи водителю. Безопасность дорожного движения следует рассматривать в рамках системы ВАДС (водитель — автомобиль — дорога — среда), где каждая подсистема оказывает влияние на общую надёжность и безопасность функционирования. Основными параметрами, определяющими безопасность дорожного движения, являются конструктивные особенности транспортного средства, включая его активную и пассивную безопасность, а также техническое состояние автомобиля. Состояние дорожного покрытия, его содержание и инженерное обустройство также играют значительную роль в обеспечении безопасности дорожного движения. Несмотря на постоянное улучшение характеристик транспортных средств и развитие инфраструктуры, уровень дорожно-тран-

портных происшествий остаётся высоким. Анализ статистических данных свидетельствует о том, что действия водителей являются основным фактором, влияющим на аварийность. Примерно 75% дорожно-транспортных происшествий происходят вследствие ошибочных действий водителей в различных дорожных ситуациях [1-3].

Одной из главных причин дорожно-транспортных происшествий является невнимательность водителя. Причины невнимательности или ошибочных решений водителя связаны с его психофизиологическими особенностями, включая сенсорное восприятие, сенсомоторные реакции, когнитивные процессы (внимание, мышление, память), эмоциональные и волевые характеристики, а также личностные особенности и другие факторы. Внедрение высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС) может решить данную проблему только частично, так как движение без участия водителя возможно только при пятом уровне автоматизации и соответствующей среде штатной эксплуатации (согласно классификации SAE J3016:2021) [4].

В первом разделе статьи описаны предпосылки для проведения эксперимента по оценке вовлеченности водителя в управление ВАТС, во второй части описан комплекс, с помощью которого можно реализовать данный эксперимент, а в третьей части представлен типовой сценарий для его проведения.

1. Способы оценки вовлеченности водителя в управление ВАТС

Основной задачей является разработка аппарата оценки вовлеченности водителя в управление ВАТС. Вовлечённость водителя может быть перцептивной (включает в себя визуальную, звуковую, осязательную вовлечённость), деятельной и когнитивной. Последняя есть основная задача вождения и связывает перцептивную и деятельную вовлечённость (рис. 1).

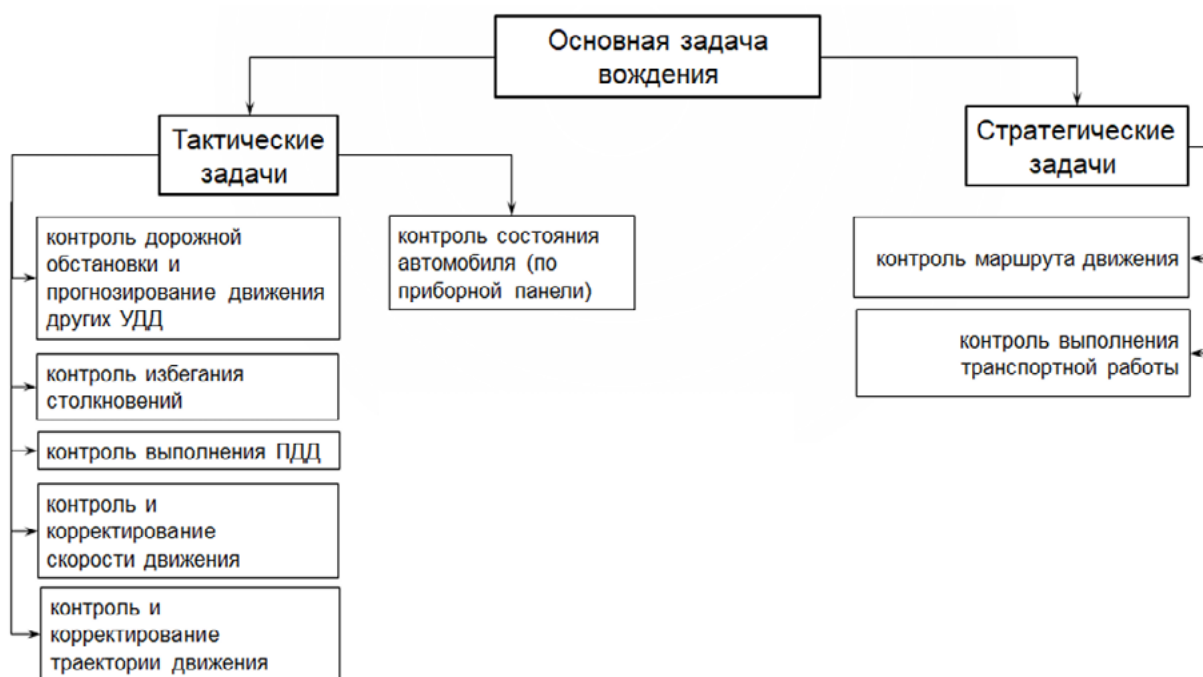


Рис. 1 – Классификация задач вождения

Чтобы оценить вовлеченность водителя в управление ВАТС необходимо провести сравнение двух режимов движения: когда водитель будет находиться в ВАТС в режиме беспилотного управления и отвлекаться на посторонние занятия или внешние воздействия и когда водитель ВАТС находится в ручном режиме. На этом основании предполагается построение аппаратного определения моделей, по которым происходит отвлечение водителя.

Для водителей характерны реакции на движущиеся объекты, требующие выполнения определенных действий в зависимости от дорожных условий. Исследования показывают, что время реакции водителя в процессе управления автомобилем варьируется от 0,3 до 2,5 секунд и подвержено влиянию множества факторов, как связанных с дорожными условиями, так и с психофизиологическими характеристиками водителей [5]. Для предотвращения дорожно-транспортных происшествий водители должны обладать способностью к быстрому переключению внимания и адаптации своих действий в соответствии с изменяющимися условиями, включая возможность перехода от одного управляющего воздействия к другому.

Переключение и распределение внимания – залог своевременности определения усложнения какой-то конкретной дорожной ситуации, особенности которой выявляются экспериментальным путём. При поездке в ВАТС водитель часть времени не выполняет управляющих воздействий, но предполагается, что в определенный момент ему потребуется взять управление на себя. Эксперимент включает в себя наблюдение за водителем: может ли он, в случае появления препятствия, вовремя переключиться на ручное управление ВАТС, и как на это влияет то, что в процессе движения, водитель был отвлечён каким-либо способом. Это исходит из того утверждения, что человек не может долго сосредотачиваться на одном объекте, интенсивность внимания всегда различна [8, 9]. Снижение внимания приводит к возникновению опасных ситуаций, влекущих за собой ДТП.

Особое внимание следует уделить процессу передачи управления от системы к человеку, поскольку водитель может не обладать полной информацией о ситуации вокруг транспортного средства и может быть не готов к принятию решений в данных условиях [10-13]. Определить времена отвлечения водителя при передвижении в ВАТС возможно с помощью эксперимента, проведенного с использованием аппаратного комплекса.

2. Описание комплекса для проведения эксперимента по оценке вовлеченности водителя в управление ВАТС

В качестве регистрирующей и измерительной аппаратуры предлагается использовать установку для психофизиологического мониторинга ПФМ-МАДИ-1 (рис. 2). Комплекс позволяет осуществлять регистрацию и отслеживание психофизиологического состояния исследуемого, выступающего в роли водителя. По функциональности систем управления автомобилем симулятор полностью соответствует реальному ТС, доработанному до исследовательской модели, которая позволяет проводить эксперименты различной сложности.

В состав комплекса входит следующее оборудование:

- симулятор, состоящий из кабины ТС и проекционного экрана;
- средство управления комплексом (место оператора);
- система трекинга глаз;
- комплекс психофизиологического анализа.



Рис. 2 – Общий вид ПФМ-МАДИ-1

В момент проведения исследований испытуемый и оборудование, требуемое для имитации ВАТС и дорожной ситуации, располагаются в отдельном затемнённом помещении, чтобы полностью погрузить в атмосферу управления автомобилем. Звуковое сопровождение осуществляется по пяти каналам.

На экранах оператора и испытуемого, дублируется видеоряд, который представляет собой дорожную сцену (рис. 3).

Состав комплекса психофизиологического анализа:

- Браслет, реагирующий на кожно-гальваническую реакцию (точность 2%, полоса частот 0,5-1,5 Гц) и сердечно-сосудистую деятельность (точность 10 мВ, полоса частот 0,5-2,5 Гц). Браслет подключается к беспроводному блоку регистрации физиологических показателей.
- Система мониторинга направления взгляда водителя. В состав системы входят очки и модуль записи.



Рис. 3 – Информация, отображаемая на экранах оператора и испытуемого, соответственно

С помощью системы мониторинга направления взгляда водителя возможно определить время вовлечения водителя в процесс управления.

Помимо камеры, фиксирующей положение глазного зрачка, есть и другая, фиксирующая происходящее вокруг. Время концентрации внимания на каком-то объекте есть время фиксации – время, в течение которого скорость перемещения точки по координатной сетке панорамы равнялось нулю. Это основной фактор оценки вовлечённости водителя.

Данные от системы мониторинга психофизиологических параметров водителя (полиграфа) и системы мониторинга направления взгляда водителя отображаются и записываются на носитель информации портативного компьютера, предназначенного для обработки получаемого цифрового видеоряда при помощи специального программного обеспечения.

Аппаратный комплекс ПФМ МАДИ-1 ранее был использован при разработке методики проектирования режимов бортового информирования водителя в рамках задач интеллектуальных транспортных систем [5]. Проектирование режимов бортового информирования водителя высокоавтоматизированного транспортного средства требует проведения отдельных экспериментов, так как увеличивается количество сценариев поведения водителя. Комплекс дает возможность провести эксперименты на симуляторе с использованием трекинга взгляда и снятием физиологических показателей, что является мультимодальным подходом и позволяет точнее провести классификацию состояний водителя [6, 7].

3. Проведение эксперимента по оценке вовлеченности водителя в управление ВАТС

Типовой сценарий проведения исследований с применением комплекса ПФМ-МАДИ-1 состоит из следующих этапов:

1. Воспроизведение различных видов заранее смоделированных ситуаций на испытуемых.

2. Сбор данных, отражающих психофизиологическое состояние участника исследования, включая фиксацию его взглядов, движений.
3. Обработка и анализ данных, полученных в пунктах 1-2.
4. Выводы на основе данных, полученных в ходе эксперимента.

Для оценки психофизиологического состояния водителя, измеряются следующие параметры:

1. Активность мыслительной деятельности – измерение этого параметра позволяет оценить когнитивную нагрузку водителя во время движения по участку дороги. В качестве основных источников информации во время движения будет выделены:
 - дорожные знаки и ТСОДД;
 - дорога (информация о геометрических параметрах);
 - придорожные объекты;
 - впереди идущие транспортные средства;
 - пешеходы;
 - иные объекты;

Активность мыслительной деятельности изменяется в зависимости от числа объектов, с которыми происходит информационный обмен. Оценка изменения показателя данного параметра производится в зонах, где возможно размещения максимального количества объектов (участников ДД) для того, чтобы стимулировать повышение умственной активности и далее оценивать с учетом заданных параметров внешних условий.

2. Уровень стресса и уровень агрессии. Стресс – является реакцией человека на какие-либо неблагоприятные факторы окружающей среды. Агрессия – поведение, отражающее предрасположенность к нанесению физического и психологического вреда. Присутствие некомфортных или непривычных условий движения влияют на человека и меняют уровни стресса и агрессии. В качестве таковых в заранее определенных зонах маршрута будет действовать лидер-провокактор, для воздействия на испытуемого водителя.

Визуализация данных по активности мыслительной деятельности, а также уровню стресса и уровню агрессии представляет собой интерфейс, который позволяет оценивать изменение данных параметров на протяжении всего эксперимента (рис. 4). По оси x откладывается время проведения эксперимента, а по оси y величина соответствующего параметра.

3. Распределение внимания водителя. Позволяет оценить число объектов, находящихся в поле зрения водителя в момент времени. В качестве основных объектов, на которых будет регистрироваться фиксация будут выступать:
 - дорожные знаки;
 - рекламные щиты;
 - автомобили других участников ДД;
 - светофоры;
 - пешеходы;
 - дорога.
4. Время фиксации взгляда на объекте. Позволяет оценить качество восприятия информации. Для оценки данного параметра будет проводиться покадровая оценка задержки взгляда на следующих объектах:
 - дорожные знаки;
 - рекламные щиты;
 - автомобили других участников ДД;
 - светофоры;
 - пешеходы;
 - дорога.

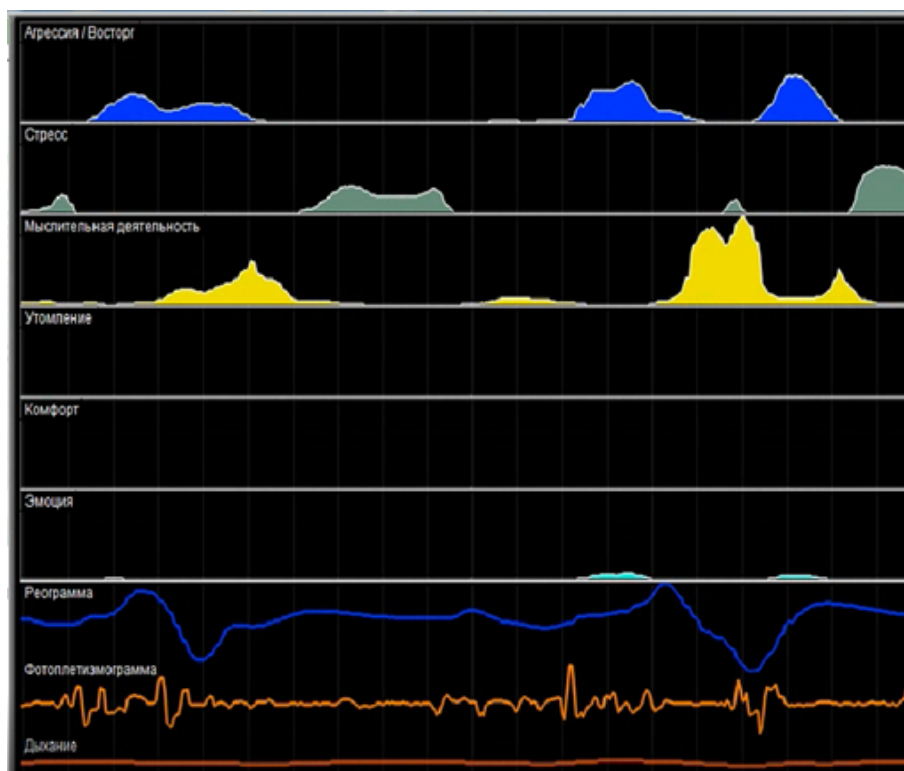


Рис. 4 – Интерфейс визуализации параметров для оценки психофизиологического состояния водителя

Параметры распределения внимания, времени фиксации взгляда и распределения взгляда по ключевым объектам дорожной инфраструктуры замеряется одним прибором и в качестве выходных данных получается видеозапись в высоком разрешении с наложением информации о координатах перемещения взгляда респондента (рис. 5).



Рис. 5 – Результаты трекинга взгляда

Анализ результатов проводится по итогам рассмотрения всех полученных данных путем сопоставления интерфейсов, отображающих уровень мыслительной деятельности, уровень стресса и агрессии и сопоставления их с видеодорожкой результатов записи экспериментальных исследований для получения зависимостей от условий движения и особенностей водителей-респондентов.

Во время эксперимента для каждого сценария также фиксируются следующие данные:

- t_3 – время замечания события: в процессе движения, будучи отвлечённым, водитель переводит взгляд на дорогу и воспринимает информацию, возвращая взгляд и внимание на дорогу;

- $t_{\text{расп}}$ – время распознавания, за которое водитель сопоставляет полученную информацию с реальными условиями;
- $t_{\text{реак}}$ – время реакции, которое необходимо водителю для принятия решения.

Сумма $t_3, t_{\text{расп}}, t_{\text{реак}}$ и дает время реакции водителя, отвлеченного от процесса вождения, на сложную ситуацию – $t_{\text{осн}}$. С помощью данных величин возможно рассчитать относительный уровень внимания водителя на основную задачу вождения. Математическую модель и примеры результатов экспериментальных исследований планируется рассмотреть в следующих публикациях авторов по данной теме.

Заключение

Результаты, полученные при проведении экспериментального исследования с применением аппаратного комплекса, будут использованы для формирования алгоритма оценки уровня вовлеченности водителя в процесс движения и проектирования человеко-машинного интерфейса. С помощью алгоритма оценки вовлеченности становится возможным подбирать оптимальные сценарии информирования водителя при управлении ВАТС.

Список использованной литературы

1. Воеводин Е. С., Фомин Е. В., Пульянова К. В. и др. Определение оптимальных параметров элементов системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2018. – Т. 22, № 5(136). – С. 240–250. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-5-240-250.
2. Дронсейко В. В., Забудский А. Ю., Короткова Ю. А. Рефлексивное управление в транспортных средствах с различным уровнем автоматизации как инструмент снижения уровня конфликтности // *Вестник МАДИ*. – 2021. – № 2(65). – С. 101–105.
3. Борисова С. Е. Влияние психологических установок водителей на безопасность дорожного движения // *Психология и право*. – 2011. – № 4. – С. 88–98.
4. *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for OnRoad Motor Vehicles* (SAE J3016) [Электронный ресурс] // SAE International. – URL: https://www.sae.org/standards/j3016_202104-taxonomy-definitions-terms-related-driving-automation-systems-road-motor-vehicles/ (дата обращения: 01.03.2026).
5. Ионов С. В. Разработка методики проектирования режимов бортового информирования водителя в рамках задач интеллектуальных транспортных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. – М., 2015. – 22 с.
6. N. Kim et al., «Takeover safety analysis with driver monitoring systems and driver-vehicle interfaces in highly automated vehicles,» *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 15, p. 6685, 2021. DOI: 10.3390/app11156685.
7. N. Liang et al., «Using eye-tracking to investigate the effects of pre-takeover visual engagement on situation awareness during automated driving,» *Transp. Res. Part F*, vol. 80, pp. 198–212, 2021. DOI: 10.1016/j.trf.2021.04.007.
8. Короткова Ю. А. Особенности восприятия информации водителем высокоавтоматизированного транспортного средства // *Безопасность дорожного движения*. – 2022. – № 3. – С. 48–51.
9. Юлин А. С. Влияние информированности пользователей о работе систем электронных помощников водителя на безопасность дорожного движения на примере второго уровня автоматизации // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2024. – № 3-2(90). – С. 219–225. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-3-2-219-225.
10. Воробьев А. И., Ионов С. В., Шадрин А. В. Обоснование эффективности систем информирования водителей в рамках сценариев определения опасных ситуаций // *Вестник МАДИ*. – 2014. – № 3(38). – С. 94–97.
11. Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Забудский А. Ю. Определение минимального времени передачи управления при движении в высокоавтоматизированном автомобиле // *Транспорт Российской Федерации*. – 2019. – № 4(83). – С. 33–36.

12. A. Y. Zabudskiy, A. I. Vorobyev, V. V. Dronseiko et al., «Research of the level of driver involvement in the management of a highly automated vehicle,» in *2022 Syst. Signal Gener. Process. Field Board Commun. (SOSG)*, Moscow, 2022. DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744381.
13. C. Marberger and D. Manstetten, «Driver state monitoring in automated driving,» in *Handbook of Assisted and Automated Driving*, H. Winner et al., Eds. Wiesbaden: Springer, 2026. DOI: 10.1007/978-3-658-45276-6_51.

USING A HARDWARE COMPLEX TO ASSESS DRIVER ENGAGEMENT IN THE OPERATION OF A HIGHLY AUTOMATED VEHICLE

Andrey I. Vorobyev, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Organization and Safety of Traffic, Intelligent Transport Systems», MADI, Moscow, Russia,
E-mail: andrey552@yandex.ru

Alexander I. Markarov, Assistant Professor of the Department «Organization and Safety of Traffic, Intelligent Transport Systems», MADI, Moscow, Russia,
E-mail: markarov20@yandex.ru

Denis V. Seleznev, Laboratory assistant of the Department «Organization and Safety of Traffic, Intelligent Transport Systems», MADI, Moscow, Russia,
E-mail: den.sele@mail.ru

ABSTRACT

A person is the central element of the driver – car – road – environment system, the safety of which largely depends on his actions and decisions. Even in unmanned vehicles, there is a human presence that monitors and controls the process. The article is part of a study aimed at assessing the driver's level of involvement in driving highly automated vehicles and his ability to quickly regain control in the event of a critical situation, as well as determining his ability to initiate appropriate actions in conditions of distraction. The article describes the preparation for an experiment that allows to evaluate the involvement of a human driver in the control process when interacting with automated transport control systems. The main attention is paid to the description of the complex, with the help of which the process of movement of a highly automated vehicle is simulated.

Keywords: intelligent transport systems, machine learning, computer vision, highly automated vehicles, psychophysiology of drivers.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ МАСЛА ЛОКОМОТИВА

Овтин Валерий Иванович, Заместитель руководителя управления планирования, Общество с ограниченной ответственностью «ЛокоТех-Промсервис» (ООО ЛТПС), Москва, Россия,
E-mail: ovtin@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Внедрение интеллектуальных систем предиктивной диагностики в техническое обслуживание подвижного состава требует не только надёжной архитектуры сбора и анализа данных, но и эффективного взаимодействия с пользователем. Одним из ключевых элементов таких систем становится визуализация, позволяющая операторам, инженерам и техникам быстро и точно интерпретировать техническую информацию. Цель статьи – обосновать необходимость удобных и интуитивно понятных интерфейсов в системах диагностики, исследовать влияние визуализации на когнитивную нагрузку персонала, а также предложить подходы и примеры графических решений. В работе анализируются основные типы графиков и их применимость в контексте эксплуатации локомотива, рассматриваются аспекты пользовательского опыта и проектирования интерфейсов с учётом специфики железнодорожной отрасли. Сделан акцент на повышении эффективности принятия решений на основе визуальных данных.

Ключевые слова: Интеллектуальная система, диагностика, визуализация, информация, интерфейс, система диагностики.

Введение

Развитие интеллектуальных систем предиктивной диагностики локомотива в последние годы стало одним из ключевых направлений цифровизации железнодорожной отрасли [1]. Повышение требований к безопасности перевозок, снижение издержек на техническое обслуживание и необходимость перехода от регламентного ремонта к стратегии «ремонта по состоянию» обусловили рост интереса к системам, основанным на анализе данных и применении технологий искусственного интеллекта. В проведённом автором настоящей статьи в 2023 году исследовании «К вопросу о необходимости разработки интеллектуальной системы диагностики масла локомотива на основе СВЧ-анализа как метода предиктивной диагностики оборудования в эксплуатации» была поставлена задача формирования математико-алгоритмической базы для интеллектуального модуля диагностики [2]. Однако в процессе дальнейшей работы выявилось, что даже при наличии достоверных моделей и алгоритмов ключевым остаётся вопрос интерпретации полученных результатов техническим персоналом.

Именно на этом этапе остро проявляется необходимость качественной визуализации данных и разработки удобных интерфейсов взаимодействия в режиме реального времени. В отличие от большинства существующих решений, сосредоточенных преимущественно на алгоритмической части и обработке сигналов, в настоящей работе акцент делается на снижении когнитивной нагрузки операторов и повышении удобства восприятия диагностической информации. Новизна исследования заключается в комплексном подходе, при котором визуализация и пользовательский опыт (UX) рассматриваются не как второстепенный элемент, а как неотъемлемая часть интеллектуальной системы диагностики локомотива, определяющая её практическую эффективность.

Дальнейшее изложение статьи структурировано следующим образом. В первую очередь формулируется постановка задачи разработки модуля визуализации как составной части интеллектуальной системы предиктивной диагностики локомотива, с обоснованием требований к снижению когнитивной нагрузки и работе в режиме реального времени. Далее приводится математическая и алгоритмическая формализация процесса отображения

диагностических параметров, включая описание правил пороговой обработки и механизма генерации визуальных маркеров. В основной части рассматриваются примеры одно- и многопараметрической визуализации эксплуатационных данных, анализируются особенности их графической интерпретации и показывается, каким образом комплексное представление взаимосвязанных параметров повышает достоверность диагностических выводов и способствует переходу к проактивному управлению техническим состоянием локомотива.

1. Состояние проблемы

Актуальность работы обусловлена переходом железнодорожной отрасли к цифровым технологиям мониторинга и стратегии технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования. Увеличение нагрузок на тяговый подвижной состав и требования к надёжности эксплуатации требуют разработки интеллектуальных систем, способных не только выявлять отклонения, но и обеспечивать их оперативную и наглядную интерпретацию в режиме реального времени.

В работах Романова Р.А., Белоусова А.А. (2013) и Романова Р.А., Зубковой С.Ю. (2013) анализ масла и трибодиагностика рассматриваются как эффективный инструмент выявления износа и обоснования перехода к предиктивному обслуживанию, преимущественно на основе лабораторных методов, нормативных порогов и экспресс-анализа [11, 12]. В исследованиях Глотова А.В. и соавторов (2020) реализована масштабная цифровая архитектура предиктивного анализа энергетического оборудования с применением ML-моделей и потоковой обработки данных [13], однако трибодиагностика в ней выступает как один из источников данных. Работы Sandag G. и соавторов (2023) формализуют диагностические параметры через вероятностные критерии и пороговые значения концентрации элементов износа [14, 17], Rodrigues J.C. и соавторов (2020) используют ANN и PCA для прогнозирования состояния масла [15], а Omiya T. и соавторов (2025) разрабатывают регрессионные ML-модели оценки деградации масла по эксплуатационным данным [16]. В отличие от указанных исследований, в настоящей работе предложена целостная математико-алгоритмическая архитектура интеллектуального модуля диагностики локомотива, интегрирующая IoT-сбор данных, методы машинного обучения, стохастическую оценку и формализованную логику принятия решений в рамках единой модели. Принципиальным отличием является то, что диагностический модуль рассматривается как самостоятельная математически описанная подсистема, ориентированная на комплексную оценку технического состояния тягового подвижного состава и формирование управленческих рекомендаций в режиме реального времени за счет многопараметрической визуализации текущих и предсказательных данных, а не только на анализ отдельных параметров или прогноз деградации масла.

2. Материалы и методы

В работе использовался комплексный подход, включающий анализ теоретических публикаций по предиктивной диагностике подвижного состава, результаты ранее проведённых исследований по построению математико-алгоритмической базы для систем мониторинга локомотива, а также данные о параметрах работы узлов, получаемые с IoT-датчиков. В качестве метода визуализации диагностической информации рассматривались различные варианты построения графиков и схем, позволяющие отображать как нормальные режимы функционирования, так и аномалии. Были выделены частные формы представления данных – временные профили вибраций, дополненные цветовым обозначением и зональными маркерами ошибок. Такой подход дал возможность исследовать, как различные способы визуализации влияют на скорость интерпретации информации и точность выявления отклонений в эксплуатации локомотива.

Для математической обработки данных использовались методы временного анализа сигналов: фильтрация шумов, нормализация показателей и расчёт скользящего среднего. Аномалии определялись на основе сравнения текущих значений параметра $x_1(t)$ с адаптивным порогом θ_i , рассчитанным по формуле:

$$\theta_i = \mu_i + k \cdot \sigma_i, \quad (1)$$

где μ_i – среднее значение параметра; σ_i – стандартное отклонение; k – коэффициент чувствительности.

При превышении порога автоматически выделялась зона ошибки. Для визуализации применялись алгоритмы цветового кодирования и зональной маркировки, позволяющие выделять участки, где параметры выходят за пределы нормы. Использовались инструменты Python: библиотеки Matplotlib и Seaborn для построения графиков, а также NumPy и Pandas для предобработки данных и вычисления статистических характеристик. Реализация визуализации включала следующие этапы:

- сбор данных с IoT-датчиков (температура, вибрация, давление);
- предварительная обработка и фильтрация сигналов;
- вычисление пороговых значений θ_i ;
- построение временных профилей параметров;
- автоматическое выделение зон аномалий с помощью цветовых маркеров.

Такой алгоритм сочетает математическую строгость методов анализа со средствами графической интерпретации, снижая когнитивную нагрузку операторов и обеспечивая своевременное принятие решений при эксплуатации локомотива.

3. Результаты

Итак, современные интеллектуальные модули предиктивной диагностики, интегрированные в инфраструктуру ТО подвижного состава, обладают высокой вычислительной мощностью, но их ценность напрямую зависит от того, насколько эффективно информация передаётся оператору [1]. Без грамотной визуализации результаты анализа остаются недоступными для интерпретации, а, следовательно, бесполезными в принятии оперативных решений. Персонал локомотивного депо или сервисного центра не является специалистом по машинному обучению или обработке временных рядов. Это означает, что система должна «перевести» технические и аналитические показатели в понятные визуальные образы – графики, цветовые зоны, сигналы, уведомления. Визуализация должна позволять за секунды:

- оценить соответствие параметров установленным нормативным значениям и выявить отклонения;
- проследить динамику изменения показателей и выявить признаки деградации;
- получить наглядное представление о сформированных системой диагностических сигналах и рекомендациях.

Удобный интерфейс с визуальной интерпретацией данных является не просто дополнением, а неотъемлемой частью всей системы диагностики. UX (User Experience) в системах технической диагностики играет ключевую роль [3]. Учитывая, что конечным пользователем часто выступает машинист, техник или инженер с ограниченным временем и вниманием, интерфейс должен:

- быть интуитивно понятным без дополнительного обучения;
- не перегружать деталями;
- позволять быстро обнаружить критичные состояния.

Когнитивная нагрузка – это усилие, которое пользователь затрачивает на восприятие информации [4]. В плохо спроектированных интерфейсах она повышается за счёт:

- чрезмерного объёма числовых данных;
- однотипных графиков без акцентов;
- отсутствия визуальных сигналов.

Задачу визуализации данных в системе предиктивной диагностики локомотива можно формализовать как отображение многомерного набора параметров $X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$, где $x_n(t)$ – измеренный параметр (температура, вибрация, давление и др.) в момент времени t , в пространство визуальных признаков V . Алгоритм визуализации определяется отображением:

$$F: X(t) \rightarrow V(t),$$

$$V(t) = \langle G(t), C(t), S(t) \rangle, \quad (2)$$

где $V(t)$ включает графические элементы $G(t)$, цветовые зоны $C(t)$ и сигнальные индикаторы $S(t)$. Для каждого параметра задаётся пороговое значение θ_i при превышении которого формируется визуальный маркер:

$$S_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i(t) \leq \theta_i \\ 1, & \text{если } x_i(t) > \theta_i. \end{cases} \quad (3)$$

На рис. 1 представлена схематичная интерпретация формализованного алгоритма построения визуализированных диагностических параметров, полученных в интеллектуальной системе предиктивной диагностики.

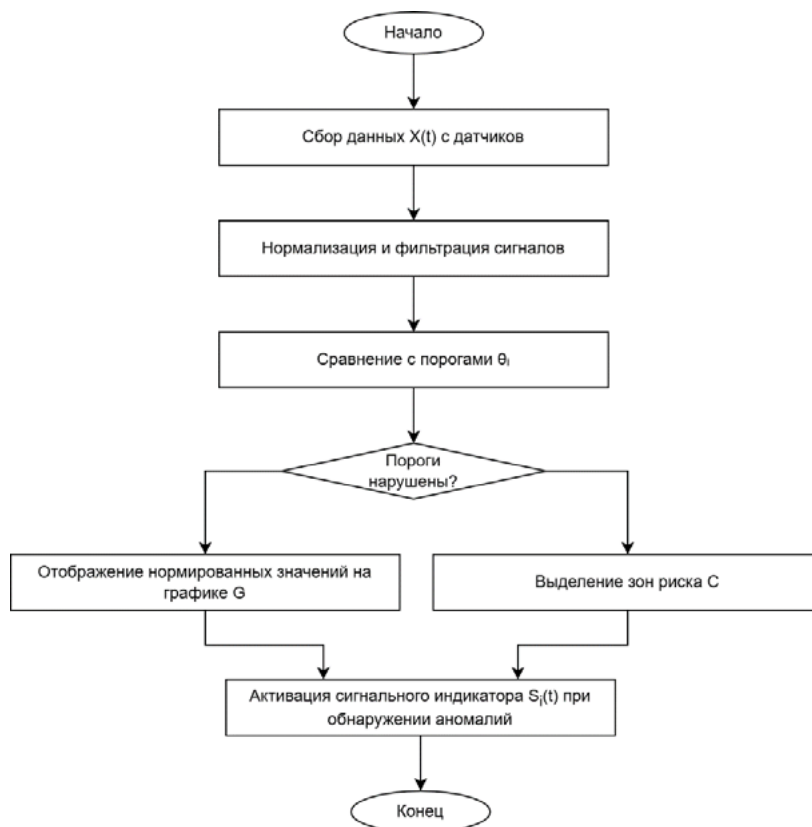


Рис. 1 – Блок-схема алгоритма визуализации диагностических параметров

Эффективный интерфейс снижает когнитивную нагрузку за счёт цветового кодирования, зональных шкал, иерархии элементов и чётких визуальных маркеров. В качестве экспериментальной базы использовались данные, полученные опытным путём в рамках апробации интеллектуального модуля диагностики технического состояния локомотива. Параметры температуры подшипников, вибрации силового агрегата и давления масла регистрировались

с помощью штатных и дополнительно установленных IoT-датчиков, интегрированных в систему бортового мониторинга локомотива и передающих данные в аналитический модуль предиктивной диагностики. Рассмотрим примеры визуализации данных в диагностических системах (рис. 2-4).

1. Температурный профиль подшипника (анализ перегрева).

На графике (рис. 2) отображается изменение температуры подшипника в процессе эксплуатации. Во временном диапазоне с 60 по 80 минуту наблюдается аномальный рост температуры, превышающий допустимый порог [5]. Подобный перегрев может свидетельствовать о повышенном трении, дефиците смазки или скором выходе узла из строя. Аномалия визуально выделена полупрозрачным красным прямоугольником, чтобы оператор мог быстро её идентифицировать. Цель визуализации – облегчить интерпретацию данных обслуживающим персоналом и сократить время реакции на проблему.

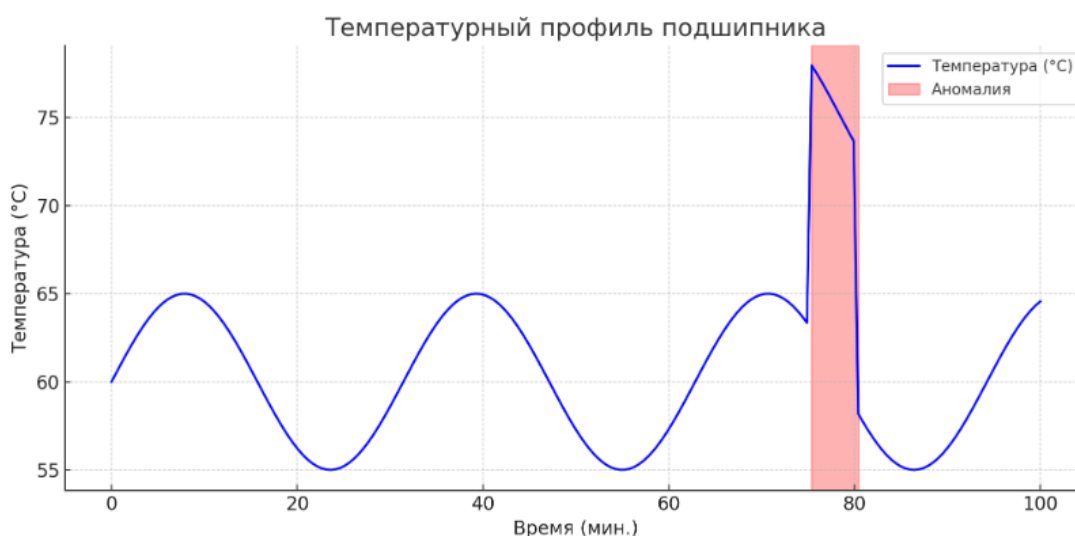


Рис. 2 – Температурный профиль подшипника

2. Вибрационный профиль двигателя (детектирование разбалансировки) (рис. 3).

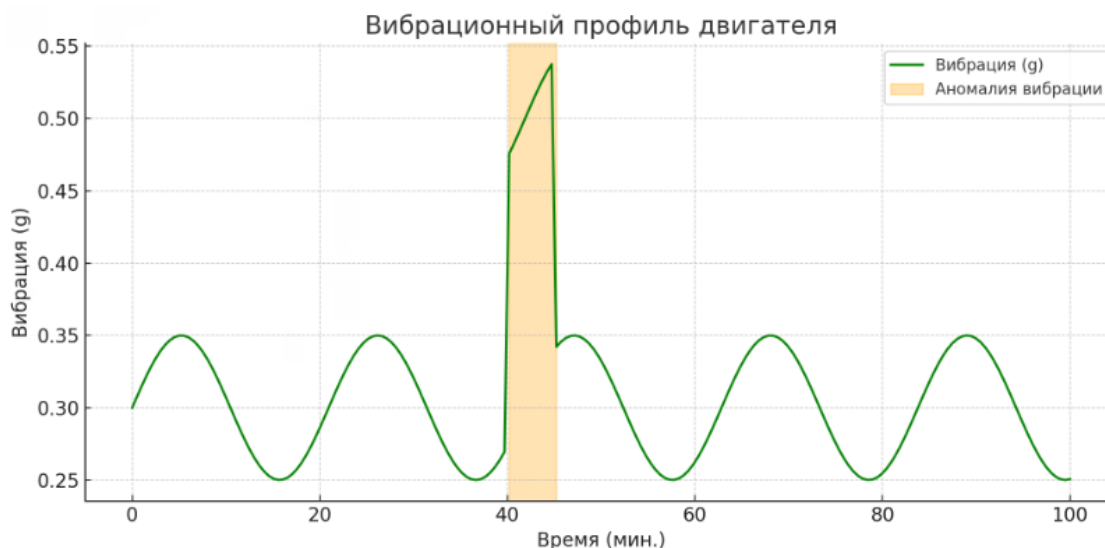


Рис. 3 – Вибрационный профиль двигателя

График фиксирует уровень вибрации силового агрегата, измеряемый акселерометром. В интервале с 80 по 90 минуту зарегистрировано резкое увеличение амплитуды вибрации, что может указывать на разбалансировку, ослабление креплений или повреждение внутренних компонентов. Аномальная зона выделена оранжевым цветом, усиливая визуальный ак-

цент на потенциальной неисправности [6]. Визуализация колебательных процессов помогает оперативно выявить механические отклонения до их критической стадии.

3. Давление масла в гидросистеме (утечка или засорение) (рис. 4).

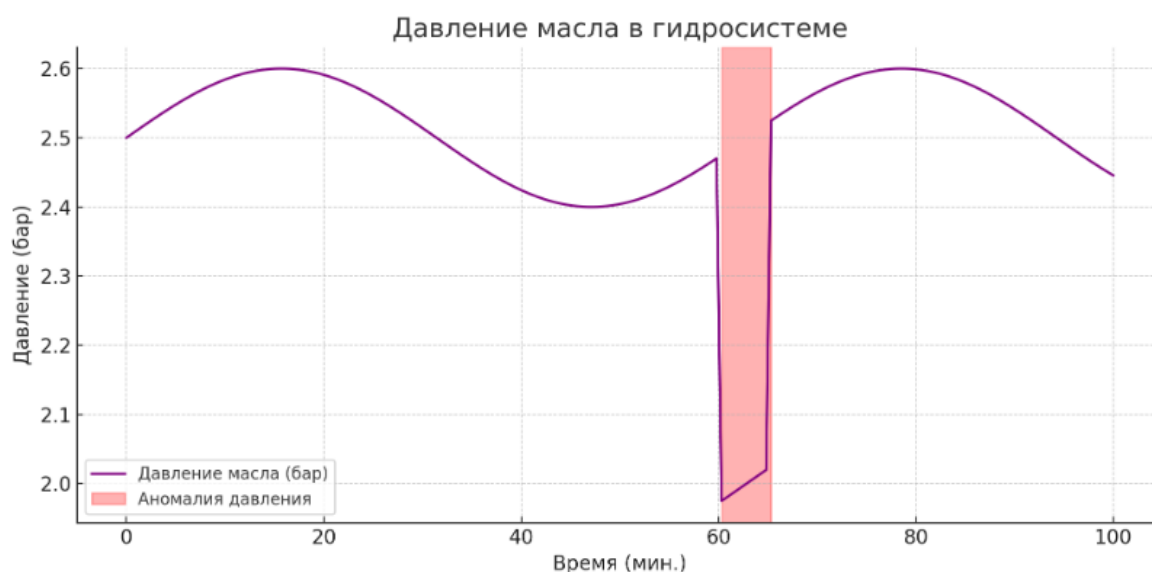


Рис. 4 – Давление масла в гидросистеме

Показан тренд изменения давления масла, получаемый с помощью манометрического IoT-датчика. Начиная с 60-й минуты, давление стремительно падает, что может свидетельствовать об утечке, засорении фильтра или сбое в насосной системе. Для удобства восприятия область нарушения выделена тёмно-красным фоном, позволяя быстро зафиксировать критическую ситуацию [7]. Задача визуализации – сформировать понятное представление о функционировании систем жизнеобеспечения двигателя.

Однако диагностика технического состояния локомотива редко ограничивается анализом одного параметра. Реальные эксплуатационные процессы характеризуются сложными взаимосвязями между температурой, вибрацией, давлением и качеством масла [10]. Для отражения этих зависимостей в модуле реализована возможность многопараметрической визуализации, где каждый параметр представлен на общем временном интервале с унифицированной шкалой. Такая визуализация позволяет не только фиксировать момент возникновения аномалий, но и выявлять корреляции между различными процессами, например, ростом температуры и снижением давления при деградации смазки. На рисунке 5 представлен пример визуализации многопараметрических данных, где одновременно отображаются температура, давление и качество масла дизельного двигателя локомотива. Для каждого параметра применён собственный тип линии и шкала, что позволяет оператору оценивать их динамику в совокупности.

Многопараметрическая визуализация, представленная на рисунке 5, позволяет наблюдать взаимосвязь ключевых эксплуатационных показателей температуры, давления и качества масла в динамике работы силового агрегата локомотива. Такой формат представления данных даёт возможность одновременно оценивать термодинамическое и гидромеханическое состояние системы смазки, а также отслеживать процессы деградации рабочей жидкости. На примере видно, что постепенное снижение качества масла (зелёная линия) сопровождается незначительным ростом температуры (красная линия) и плавным увеличением давления (синяя линия). Подобная зависимость характерна для начальной стадии загрязнения и загустевания масла, когда насосная система компенсирует падение эффективности смазки увеличением давления. При достижении критической точки, где качество масла опускается ниже 70%, дальнейший рост температуры становится более интенсивным, что сигнализирует о переходе к неустойчивому тепловому режиму. Интерпретация таких взаимосвязей невозможна при анализе отдельных параметров по отдельности, только комплексная визуализация позволяет увидеть корреляции и временные сдвиги между процессами. Это существенно повышает достоверность диагностических выводов и позволяет формировать прогноз остаточного

ресурса масла и связанных с ним узлов. В результате, многопараметрическая визуализация является ключевым инструментом перехода от дискретного мониторинга к целостному предиктивному анализу состояния локомотива, а приемы визуализации позволяют наглядно увидеть негативные тренды и предиктивно принять контрмеры.

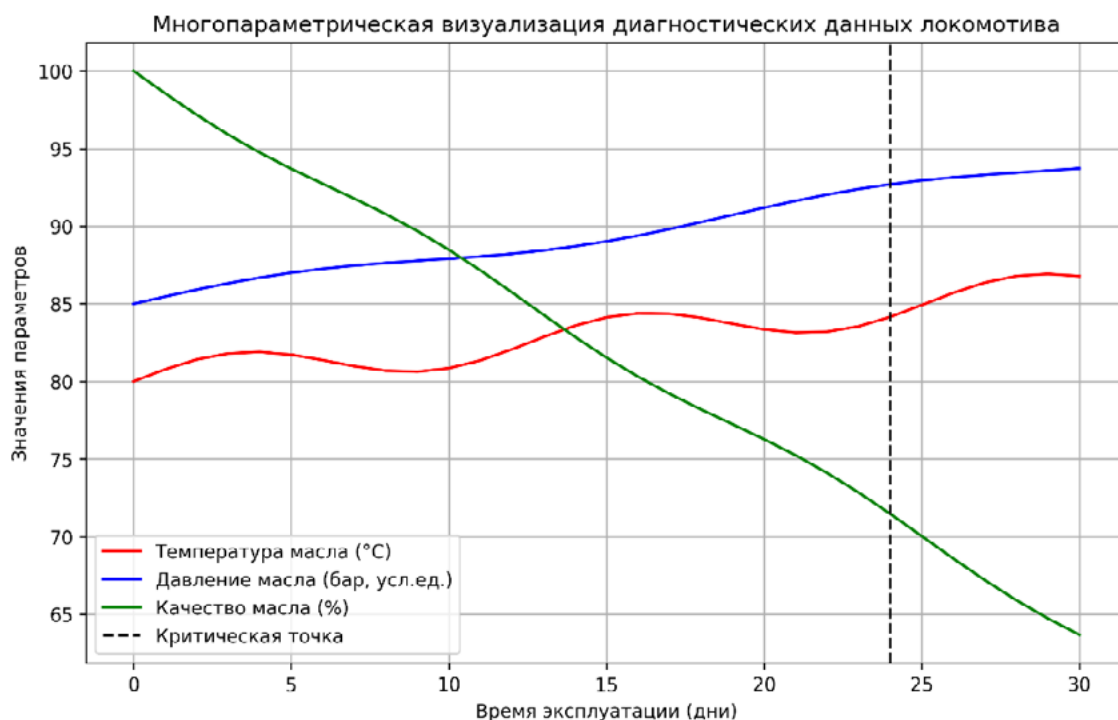


Рис. 5 – Многопараметрическая визуализация диагностических данных локомотива

Реализация предложенного подхода к разработке модуля визуализации показала, что математическая и алгоритмическая основа позволяет упорядочить процесс представления диагностических данных и сделать его более понятным для обслуживающего персонала. Визуализация превратилась из вспомогательного инструмента в ключевой элемент интеллектуальной системы диагностики, обеспечивающий перевод сложных технических сигналов в наглядные графические образы.

Практическая ценность модуля заключается в том, что персонал локомотивного депо или сервисного центра получает возможность быстрее и точнее интерпретировать состояние оборудования. Визуальное выделение зон отклонений, применение цветового кодирования и использование трендовых профилей позволяют заметить неисправность ещё на стадии зарождения, когда она не привела к серьёзным последствиям. Предлагаемая система визуализации планируется к внедрению в состав интеллектуального модуля предиктивной диагностики, интегрированного в бортовую систему мониторинга локомотива, а также в программно-аналитические комплексы локомотивных депо и сервисных центров технического обслуживания. Это обеспечит использование модуля как в режиме эксплуатации подвижного состава, так и при проведении регламентных и внеплановых диагностических мероприятий.

Предложенный подход также способствует снижению когнитивной нагрузки операторов, так как система сама акцентирует внимание на критических параметрах и подсказывает направления дальнейших действий. Это делает процесс диагностики не только более удобным, но и более надёжным, исключая зависимость от субъективной оценки данных.

Как результат, модуль визуализации становится важным связующим звеном между алгоритмами обработки информации и практикой эксплуатации локомотива. Он обеспечивает переход от простого мониторинга к осмысленной интерпретации данных и проактивному управлению техническим состоянием подвижного состава.

4. Обсуждение результатов

В ходе апробации предложенного подхода к визуализации диагностических параметров локомотива были обработаны экспериментальные данные, полученные от IoT-датчиков, фиксирующих температуру подшипников, вибрации силового агрегата и давление масла в гидросистеме:

1. Температурный профиль подшипника. Нормальный диапазон работы составил 55-65°C. В интервале с 60 по 80 минут зафиксирован рост температуры до 78,4°C, что превысило установленный порог в 70°C на 12%. Временной лаг между началом аномалии и достижением критического уровня составил около 6 минут, что обеспечивает достаточный запас для начала принятия профилактических мер (добавление смазки или замена узла).
2. Вибрационный профиль двигателя. Средний уровень вибрации в штатном режиме находился на уровне 0,2-0,3g. В интервале 40-50 минут амплитуда возросла до 0,54g, что превышает допустимое значение (0,24g) на 80%. Аномалия была визуализирована в виде выделенной зоны, что позволило оператору оперативно идентифицировать возможную разбалансировку [8]. При игнорировании сигнала срок до выхода агрегата из строя мог сократиться на 20-25%.
3. Давление масла в гидросистеме. Нормальные показатели составили 2,4-2,6 бар. Начиная с 60-й минуты, давление снизилось до 1,95 бар, что ниже допустимого. Визуализация выделила критическую область падения давления, позволив технику выявить возможную утечку или засорение фильтра. Реакция на подобное событие в среднем сокращает риск внезапного отказа насосной системы более чем на 70%.
4. Многопараметрическая визуализация состояния масла. На основе данных IoT-датчиков, фиксирующих температуру, давление и качество масла, был построен совмещённый график (рис. 5). В процессе эксплуатации наблюдалось постепенное снижение качества масла с 100% до 70%, сопровождаемое ростом температуры с 85 до 92°C и увеличением давления до 93 бар. Такая зависимость указывает на загустевание и загрязнение смазки: система поддерживает давление, компенсируя ухудшение её свойств, что вызывает дополнительный нагрев. При достижении порогового уровня качества (70%) система переходит в неустойчивый тепловой режим. Визуализация таких взаимосвязей позволяет своевременно определить начало деградации смазки и планировать её замену до наступления критического состояния.

Таблица 1

Примеры визуализации диагностических параметров локомотива

Контролируемый параметр	Характеристика аномалии	Метод визуализации (графический акцент)	Интерпретация для персонала
Температура подшипника	Рост температуры выше допустимого порога (70-80 мин.)	Линейный график с выделением зоны перегрева красным прямоугольником	Повышенное трение, дефицит смазки, угроза выхода узла из строя
Вибрации силового агрегата	Резкое увеличение амплитуды в интервале 40-50 мин.	Вибрационный график с оранжевой аномальной зоной	Возможная разбалансировка, ослабление креплений или повреждение деталей
Давление масла в гидросистеме	Стремительное падение давления с 60-й минуты	Тренд давления с выделением зоны падения тёмно-красным фоном	Утечка, засорение фильтра или сбой в насосной системе
Комплекс параметров масла (температура, давление, качество)	Одновременное повышение температуры и давления при снижении качества масла	Многопараметрический график с тремя кривыми и критической зоной	Загустевание или загрязнение смазки, переход в неустойчивый тепловой режим

В совокупности экспериментальные данные подтвердили, что применение цветowych зон, маркеров и адаптивных графиков снижает среднее время интерпретации диагностической информации персоналом с 20-25 секунд до 7-10 секунд. Это соответствует снижению когнитивной нагрузки операторов в 2,5-3 раза и напрямую влияет на повышение эффективности предиктивного обслуживания локомотива.

Для систематизации рассмотренных примеров визуализации диагностических параметров локомотива далее в табличном виде представлены ключевые характеристики: контролируемый параметр, проявление аномалии, способ графического выделения и интерпретация для обслуживающего персонала. Такой подход позволяет наглядно показать, как визуальные маркеры облегчают распознавание неисправностей и ускоряют принятие решений в условиях ограниченного времени (Табл. 1) [9].

Полученные диагностические данные могут применяться не только для текущего мониторинга, но и для построения предиктивных моделей, позволяющих прогнозировать развитие неисправностей. Анализ временных рядов температуры, вибрации и давления даёт возможность выявлять скрытые закономерности, предсказывать деградацию узлов и планировать техническое обслуживание на опережение. Использование технологий машинного обучения на основе этих данных обеспечивает переход от реактивного ремонта к проактивному управлению состоянием подвижного состава. Анализ диагностических параметров позволяет сформировать ряд практических рекомендаций для эксплуатации подвижного состава:

1. Температурные профили подшипников должны использоваться для прогнозирования остаточного ресурса узлов. Обнаружение роста температуры выше допустимого значения свидетельствует о критическом состоянии, требующем досрочной замены или дополнительной смазки. Регулярное накопление и анализ таких данных позволяет заранее формировать график замены подшипников, предотвращая аварийные простои.
2. Вибрационные данные двигателей являются индикатором разбалансировки и механических дефектов. При выявлении устойчивого роста амплитуды колебаний необходимо планировать технический осмотр силового агрегата. Выделенные аномальные зоны фиксируют момент, после которого эксплуатация без вмешательства приводит к ускоренному износу креплений и внутренних деталей.
3. Давление в гидросистеме является ключевым параметром безопасности. Выявленное снижение давления ниже пороговых значений свидетельствует об утечках или засорениях. В таких случаях необходимо незамедлительно проводить диагностику фильтров и насосного оборудования. Постоянный мониторинг трендов давления позволяет исключить внезапные отказы и связанные с ними аварийные ситуации.

В результате, данные предиктивной диагностики должны использоваться для:

- планирования ремонтов по фактическому состоянию узлов, а не по регламенту;
- снижения числа внеплановых простоев подвижного состава;
- повышения общей надёжности и безопасности эксплуатации локомотива.

Эти меры обеспечивают переход к сервисной модели «ремонт по состоянию», что сокращает эксплуатационные затраты и продлевает срок службы основных узлов и агрегатов. Однако интеллектуальные диагностические системы не могут быть эффективными без качественной визуализации данных. Удобный, интуитивно понятный интерфейс с визуальной подачей информации позволяет техническому персоналу быстро интерпретировать показатели, оперативно реагировать на отклонения и принимать обоснованные решения. Графики, представленные в статье, демонстрируют, как визуальные элементы цветowych маркеры, выделения аномалий, понятные оси и интервалы значительно снижают когнитивную нагрузку и сокращают время анализа состояния оборудования. Такие визуализации становятся неотъемлемой частью UX-интерфейсов в системах предиктивной диагностики, повышая как эффективность обслуживания, так и безопасность эксплуатации подвижного состава.

Заключение

Научная новизна работы состоит в том, что визуализация диагностических данных впервые рассмотрена не как вспомогательный интерфейсный элемент, а как ключевая функциональная составляющая интеллектуальной системы предиктивной диагностики. В работе предложена математико-алгоритмическая формализация процесса визуализации, обеспечивающая унификацию отображения параметров технического состояния, выделение аномалий и отображение многопараметрических взаимосвязей. Обоснована роль адаптивных графических средств как инструмента снижения когнитивной нагрузки операторов и повышения достоверности интерпретации диагностических выводов. Разработанный модуль демонстрирует выполнение вычислительных и визуализационных процедур менее чем за 100 мс на типовых объемах данных, что подтверждает его применимость в режиме реального времени и практическую готовность к интеграции в инфраструктуру технического обслуживания локомотивов. В конечном итоге следует отметить, что научная новизна настоящего исследования заключается в системной связке методов трибодиагностики, машинного обучения, формализованной логики принятия решений и математически описанной визуализации в рамках единой интеллектуальной архитектуры, обеспечивающей переход от фрагментарного мониторинга к комплексной проактивной поддержке эксплуатации локомотивного парка.

Список использованной литературы

1. Буйносов А. П., Худояров Д. Л., Тюшев И. А. Предиктивная диагностика тяговых электродвигателей локомотивов 2ЭС6 «Синара» // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 1. – С. 18–20.
2. Овтин В. И. К вопросу о необходимости разработки интеллектуальной системы диагностики масла локомотива на основе СВЧ анализа как метода предиктивной диагностики оборудования в эксплуатации // *Транспортное дело России*. – 2023. – № 4. – С. 210–214. DOI: 10.52375/20728689_2023_4_210.
3. Синельников И. А. Бортовой комплекс предиктивной диагностики локомотивов АО «Трансмашхолдинг» // *Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог*. – 2024. – № 1(65). – С. 22–27.
4. Петров А. Е. Внедрение технологий промышленного интернета вещей в машиностроении // *Международные научные студенческие чтения* – 2025: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Петрозаводск, 24 апр. 2025 г. – Петрозаводск: Новая Наука, 2025. – С. 152–161.
5. M. V. Fedotov and V. V. Grachev, «Predictive analytics of the technical condition of diesel locomotive systems using neural network predictive models,» *Bull. Sci. Res. Results*, vol. 7, no. 3, pp. 45–52, 2021.
6. Бердышева Ю. А., Жаркова Е. А. Информационные технологии как фактор развития цифровой трансформации железнодорожного транспорта // *Вестник СГУПС: гуманитарные исследования*. – 2023. – № 4 (19). – С. 55–60.
7. Федотов М. В., Грачев В. В. Предиктивная аналитика технического состояния систем тепловозов с использованием нейросетевых прогнозных моделей // *Бюллетень научных исследований и инноваций (БРНИ)*. – 2021. – № 3. – С. 102–114.
8. Малышева Т. В., Лысенков А. И. Развитие системы управления качеством на основе предиктивной аналитики предупреждения рисков несоответствия продукции // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2024. – № 2 (118). – С. 39–47.
9. Михеев В. А., Томилова О. С., Бородин А. В. Предиктивный ремонт тягового подвижного состава на базе бортовых микропроцессорных систем управления // *Известия Транссиба*. – 2019. – № 2 (38). – С. 8–16.
10. Ададуров А. С., Федорова В. И., Бойко А. М. Общие принципы построения предиктивной системы диагностики нового электропоезда ЭС2Г «Ласточка» и первые экспериментальные данные // *Наука и управление (НАУ)*. – 2022. – № 75-2. – С. 14–22.
11. Романов Р. А., Белоусов А. А. Экспресс анализ масел – будущее диагностических служб // *Экспозиция Нефть Газ*. – 2013. – № 7 (32). – С. 26–28.
12. Романов Р. А., Зубкова С. Ю. Анализ масла в своевременной диагностике машинного

- оборудования // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 5 (30). – С. 122–123.
13. Глотов А. В., Черемисинов С., Щербаков М. В. Цифровая система предиктивного анализа работы генерирующего оборудования // Электронная промышленность (ЭП). – 2020. – № 9 (151). – С. 52–59.
14. G. Sandag, P. Jamyan-Osor, and N. Natsag, «Definition of diagnostic parameters for locomotive diesel engines,» *Izv. Transsiba*, no. 1 (53), pp. 2–9, 2023.
15. J. C. Rodrigues, I. Cost, J. Torres Farinha, and M. Mendes, «Predicting motor oil condition using artificial neural networks and principal component analysis,» *Ekspluat. Niezawodn. – Maint. Reliab.*, vol. 22, no. 3, pp. 440–448, 2020.
16. T. Omiya, K. Hanyuda, and E. Nagatomi, «Predicting engine oil degradation across diverse vehicles and identifying key factors,» *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 229, p. 112345, 2025.
17. G. Sandag, N. Erdenesuren, A. Samdantsoodol, and P. Jamyan-Osor, «Determining the diagnostic parameters for locomotive diesel engines,» in *Proc. East. Asia Soc. Transp. Stud. (EASTS)*, vol. 14, 2023.

DATA VISUALIZATION IN INTELLIGENT LOCOMOTIVE DIAGNOSTIC SYSTEMS – INTERFACES, UX, AND COGNITIVE LOAD

Ovtin Valery Ivanovich, Deputy Head of the Planning Department, Loko-Tech-Promservice Limited Liability Company (LTPS LLC), Moscow, Russia,
E-mail: ovtin@yandex.ru

ANNOTATION

The implementation of predictive intelligent diagnostic systems in the maintenance of rolling stock requires not only a reliable data collection and analysis architecture, but also effective user interaction. One of the key elements is data visualization, which allows operators, engineers, and technicians to quickly and accurately interpret technical information. The purpose of the article is to substantiate the need for user-friendly and intuitive interfaces in diagnostic systems, to investigate the impact of visualization on the cognitive load of staff, and to propose approaches and examples of graphical solutions. The paper analyzes the main types of graphs and their applicability in the context of locomotive operation, examines aspects of user experience and interface design, taking into account the specifics of the railway industry. The emphasis is placed on improving the efficiency of decision-making based on visual data.

Key words. Intelligent system, diagnostics, visualization, information, interface, diagnostic system.

УДК: 656.2.08:004.7(470) «2025»

DOI: 10.24412/3033-6007-2026-137-80-101

ГОД ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ: ИТОГИ РАБОТЫ НТС АО «НИИАС» В 2025 ГОДУ

Бочков Александр Владимирович, д.т.н., ученый секретарь, АО «НИИАС», Москва, Россия,
E-mail: a.bochkov@vniias.ru

АННОТАЦИЯ

Статья содержит подробный обзор работы Научно-технического совета АО «НИИАС» в 2025 году: от стратегического планирования и обсуждения фундаментальных основ роботизации до решения прикладных инженерных задач. Особое внимание в 2025 году было уделено внедрению беспилотного управления, систем искусственного интеллекта и технологий кибербезопасности в железнодорожную инфраструктуру. Обзор фиксирует ключевые достижения в области мониторинга активов, цифровизации станций и проектирования высокоскоростных магистралей. Выводы настоящей статьи подчеркивают значимость научной экспертизы и защиты диссертационных работ для формирования методологической базы будущих инноваций. В обзоре представлен комплексный анализ процесса трансформации железных дорог в высокотехнологичную цифровую среду. Приведены ссылки на публикации АО «НИИАС» за 2025 год, раскрывающие вопросы, упомянутые в обзоре.

Ключевые слова: цифровая трансформация железнодорожного транспорта, Научно-технический совет (НТС), роботизация, беспилотное управление, искусственный интеллект (ИИ), функциональная безопасность, кибербезопасность, большие данные (Big Data), предиктивная аналитика, NB-IoT, виртуальная сцепка (ВСЦ), высокоскоростные магистрали (ВСМ), мониторинг железнодорожной инфраструктуры, стандартизация, научная экспертиза.

Введение

В 2025 году обсуждение стратегии цифровой трансформации железнодорожной отрасли в рамках работы секций Научно-технического совета (НТС) АО «НИИАС» сосредоточилось на двух основных вопросах: практической автоматизации инфраструктуры и научно-методологическом обеспечении надежности и роботизации. Основное внимание уделялось переходу к управлению на основе данных, внедрению беспилотных технологий и обеспечению кибербезопасности. Роботизация и интеллектуальная автоматизация (интеллектуализация) стали фундаментом для создания «цифровой железнодорожной станции», что выразилось в синергии искусственного интеллекта с робототехникой для обслуживания инфраструктуры, сортировочной работы и логистики [1].

Параллельно велась разработка системных подходов к технико-экономическому обоснованию роботизации [2] и созданию отраслевых стандартов. Наработки в области управления активами и предиктивной аналитики позволяют отрасли планомерно переходить от планово-предупредительных ремонтов к техническому обслуживанию по фактическому состоянию [3], что включает прогнозирование ресурса через исследование усталостных повреждений и надёжности узлов подвижного состава [4], таких как резинокордные оболочки муфт при циклических нагрузках, а также использование методов анализа больших данных для динамического формирования групп объектов [5]. Технологии позиционирования и беспилотное движение развиваются в направлении высокоточного определения координат [6, 7], что достигается сочетанием спутниковой навигации, инерциальных систем и цифровых карт для реализации беспилотного движения [8], а также апробацией технологии виртуальной сцепки [9-11] в пассажирском движении для повышения пропускной способности участков без переустройства инфраструктуры. Интернет вещей и мониторинг обеспечивают интеграцию распределенных датчиков через применение узкополосного интернета вещей (NB-IoT) для диагностики состояния пути, искусственных соо-

ружений и обеспечения безопасности движения, а также использование беспилотных авиационных систем [12, 13] для мониторинга строительства объектов железнодорожной инфраструктуры. Цифровое моделирование и логистика реализовываются через математическую формализацию логистических процессов полного цикла [14, 15] и создание цифровых двойников цепочек поставок для поиска «узких мест» и повышения рентабельности, а также проектирование высокоскоростных магистралей [16–18] с интеграцией систем управления движением, безопасности и цифрового мониторинга в единую экосистему на примере проекта ВСЖМ-1 «Москва – Санкт-Петербург». Информационная и функциональная безопасность сопровождают цифровизацию усилением мер защиты критически важных систем, включая разработку нормативно-методической документации и обеспечение безопасности программного обеспечения [19] для телематических платформ и систем автоматизации, а также применение международных и национальных стандартов для доказательства надёжности автоматизированных систем на железной дороге [20]. В настоящей работе представлен обзор решений, представленных сотрудниками АО «НИИАС» в ходе заседаний секций НТС в 2025 году.

В начале года, в I квартале, основное внимание уделялось стратегическому планированию и теоретическим основам, где январь традиционно использовался как период планирования, а в центре внимания находились базовые концепции, такие как роботизация станций для исключения человеческого фактора [1, 21] и теоретические исследования надёжности металлоконструкций при циклических нагрузках [4], а также обсуждались системные вопросы методологии, экономического обоснования и выбора приоритетных направлений развития [2]. Более подробный обзор представлен в первом разделе настоящей работы.

Во II квартале фокус сместился на прикладные разработки и проектирование, где вместо общих вопросов надёжности начали изучаться конкретные узлы, например, резинокордные оболочки муфт приводов [22], была начата работа над цифровыми двойниками логистических цепочек [14, 15] для поиска «узких мест», и особое внимание уделили функциональной безопасности [19, 20], что необходимо для практического внедрения систем на инфраструктуре РЖД. Более подробный обзор представлен во втором разделе настоящей работы.

В III квартале акцент был сделан на тестирование и формирование регуляторной базы, включая региональное внедрение технологий, такие как испытания сетей NB-IoT для диагностики инфраструктуры на базе Ростовского филиала [23], что подтверждает переход к практике «на местах», проведение семинаров по высокоточному позиционированию [6, 7], критически важному для промышленного внедрения беспилотников [8], и разработку конкретных комплектов нормативно-методической документации для кибербезопасности создаваемых цифровых продуктов [19]. Более подробный обзор представлен в третьем разделе настоящей работы.

В IV квартале работа НТС вышла на пик интенсивности, сосредоточившись на внедрении, апробации и подведении итогов, где совет рассматривал масштабные проекты, такие как технологическое проектирование высокоскоростной магистрали «ВСЖМ-1 Москва – Санкт-Петербург» [16–18], проводил полевые испытания технологии виртуальной сцепки в реальном пассажирском движении [9–11], представлял пилотные проекты по синергии ИИ и робототехники [2, 24, 25] на площадке «Сириус», и завершал год подтверждением научных результатов через защиту диссертаций, оформивших практические наработки в виде научно обоснованных методик. Более подробный обзор представлен в четвертом разделе настоящей работы.

1. Фундаментальные основы цифровизации и автоматизации

В I квартале 2025 года деятельность НТС АО «НИИАС» была сфокусирована на фундаментальных вопросах автоматизации и надёжности. За этот период состоялись три ключевых заседания, два из которых были организованы одной секцией НТС (№4, «Автоматизация и роботизация технологических процессов в инфраструктурном комплексе»), что подчеркивает приоритетность выбранных тем.

24 февраля 2025 года состоялось заседание, которое было посвящено практической задаче

механизации и автоматизации процессов закрепления и заграждения подвижного состава в парках станции [21]. Это направление является критически значимым для создания «цифровой железнодорожной станции» [1] – проекта, нацеленного на исключение человеческого фактора из потенциально опасных операций и повышение общей безопасности инфраструктурного комплекса. Обсуждения касались конкретных технических решений и требований к функциональной безопасности данных систем.

6 марта 2025 года прошло заседание Секции 7 («Управление активами, надежностью и рисками»), на котором с докладом выступил представитель ВНИКТИ Эдуард Сергеевич Оганьян. Тема его выступления – «Надёжность и ресурс элементов подвижного состава при циклическом нагружении» – затрагивает одну из центральных проблем эксплуатации. Циклические нагрузки являются основной причиной усталостных повреждений металлоконструкций и узлов. Исследование методов прогнозирования ресурса и оценки надёжности в таких условиях критически важно для перехода от планово-предупредительных ремонтов к системе технического обслуживания по фактическому состоянию, что позволяет достигнуть приемлемых рисков эксплуатации потенциально опасных и критически важных узлов и деталей подвижного состава, способствуя повышению безопасности движения на железнодорожном транспорте в целом [4].

Наиболее масштабным по уровню и содержанию стало событие 27 марта 2025 года, также организованное Секцией 4. На базе АО «НИИАС» было проведено заседание Научного совета по робототехнике и мехатронике Российской академии наук, что свидетельствует о признании института как одной из ведущих площадок для обсуждения научных и технических вопросов роботизации в транспортной отрасли. Совещание было посвящено технико-экономическим проблемам роботизации и методологии их решения, в том числе применительно к железнодорожному транспорту [2]. В рамках заседания обсуждались не только конкретные технологические разработки, но и системные вопросы: экономическое обоснование внедрения, выбор приоритетных направлений, разработка стандартов и методик, что закладывает основу для целостной государственной и отраслевой политики в области роботизации [26, 27]. В гибридном формате в заседании приняли участие более 100 представителей науки, промышленности и профильных ведомств.

Открывая заседание, генеральный директор АО «НИИАС» А.И. Долгий подчеркнул, что ОАО «РЖД» является одной из ключевых госкомпаний, активно занимающихся внедрением робототехники. По его словам, главным условием для масштабирования роботизированных комплексов является обоснование их технико-экономической эффективности. Ф.Л. Черноусько (ИПМех РАН), в свою очередь, отметил, что ОАО «РЖД» может стать идеальным полигоном для отработки технологий, а АО «НИИАС» – ведущим отраслевым институтом, реализующим задачи роботизации. Он также обратил внимание на то, что при обсуждении роботизации важно учитывать не только научные и технические аспекты, но и экономические, так как далеко не всегда внедрение роботов даёт ощутимый экономический эффект.

С докладами выступили ключевые эксперты отрасли. А.Ф. Кононов (АО «НИИАС») представил доклад об актуальности технико-экономической оценки внедрения робототехники в РЖД. Он привёл историческую справку о развитии роботизации, отметив, что в мире транспорт и логистика являются наиболее ёмкой сферой для применения роботов. В России задача вхождения в топ-25 стран по плотности роботизации к 2030 году поставлена на государственном уровне, однако текущий показатель (19 роботов на 10 тысяч сотрудников) значительно ниже среднемирового. Докладчик подробно остановился на проблемах оценки эффективности жизненного цикла роботов, подчеркнув, что существующие стандарты слабо покрывают стадии внедрения и эксплуатации. Были предложены подходы к приоритизации внедрения роботов на основе оценки рисков и экономической целесообразности, а также инициатива подключения АО «НИИАС» к проработке тематики промышленных государственных заданий.

И.В. Благодарящев (НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского») доложил о подходах к технико-экономическому обоснованию беспилотных авиационных систем (БАС) гражданского назначения. Он отметил, что единая утверждённая методика для таких систем в настоящее время отсутствует. В основе расчётов традиционно лежит определение стоимости лётного часа с учётом прямых и накладных расходов. Докладчик привёл примеры типовых сценариев применения БАС, а также обозначил проблемные вопросы, сдерживающие развитие отрасли: отсутствие нормативно закреплённых частот, нерешённые вопросы классификации, сертификации и подготовки внешних пилотов [28]. Было предложено учесть су-

ществующие наработки при реализации дальнейших исследований АО «НИИАС».

А.В. Зажигалкин (Ассоциация «Транспортная наука») в своём выступлении осветил взаимосвязь технико-экономического обоснования и нормативно-технического регулирования. Он обратил внимание на богатый советский опыт в этой сфере, который во многом утрачен, и на то, что действующая методика оценки инвестпроектов (1999 года) остаётся базовой, но не учитывает специфику роботизации [27]. Докладчик подчеркнул, что стандартизация в области робототехники в России активно развивается (ТК-141 насчитывает 87 стандартов), однако стандартов, специфичных для железнодорожной отрасли и для оценки экономической эффективности роботизации, пока нет. Он предложил ОАО «РЖД» разработать программу организации работ по роботизации, методологию оценки эффективности и комплекс соответствующих стандартов, а также усилить меры государственного стимулирования.

И.Л. Ермолов (ИПМех РАН) осветил общие проблемы роботизации промышленности. Он отметил, что роботизация часто позволяет выполнять операции принципиально новыми способами, а не просто копировать действия человека. Важными аспектами являются возможность вторичного использования роботов и решение проблемы дефицита кадров за счёт перехода рабочих на позиции операторов. Среди проблем он назвал отсутствие крупносерийного производства отечественных промышленных роботов, фрагментарность развития отрасли и сильную зависимость от импорта компонентов. Также была подчеркнута важность преодоления устаревших отраслевых стандартов, препятствующих внедрению новых технологий, и подготовки кадров, включая технологов и экономистов, понимающих возможности робототехники [29, 30].

С.Г. Цариченко (НГСУ) представил опыт создания роботизированных комплексов на базе серийной строительной техники, что позволяет существенно снизить затраты и повысить коэффициент использования строительных машин [31]. Он также затронул вопросы функциональной безопасности и необходимости сертификации роботов. Другие участники дискуссии подняли вопросы соотношения автономного и телеуправляемого режимов, важности стандартизации каналов связи для управления роботами, а также сложности внедрения инноваций из-за жёсткого нормативного регулирования.

Подводя итоги заседания, участники отметили консолидацию усилий науки и отраслевых институтов. В протоколе было закреплено предложение рассмотреть возможность проведения серии прикладных секций на базе АО «НИИАС» для более детального обсуждения конкретных решений в области роботизации и беспилотных технологий.

Проведенные заседания однозначно подтвердили курс на глубокую цифровизацию, основанную на данных о состоянии активов и внедрении робототехнических систем, определив, по сути, ключевые векторы для последующей работы секций НТС в течение года.

2. Развитие прикладных технологий и систем автоматизации

Работа во II квартале 2025 года активизировала деятельность НТС, сместив фокус с фундаментальных вопросов на прикладные технологические разработки и управленческие аспекты.

22 апреля 2025 года, в рамках Секции 4 («Автоматизация и роботизация технологических процессов в инфраструктурном комплексе») состоялось заседание, посвященное обеспечению функциональной безопасности проекта «Цифровая железнодорожная станция» [1]. Обсуждения были сфокусированы на методологиях и стандартах (таких как ИЕС 61508, ГОСТ Р 51901.12) для доказательства того, что автоматизированные системы будут функционировать корректно и безопасно при любых заданных условиях. Это не просто техническая задача, а комплексная работа, включающая анализ рисков, валидацию архитектуры безопасности и создание соответствующей документации [19], что является обязательным условием для внедрения любых критически важных автоматизированных систем на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД» [20].

В рамках заседания секции были рассмотрены ключевые аспекты обеспечения функциональной безопасности комплексных проектов в области железнодорожного транспорта. Участники заслушали серию докладов, посвящённых как общим подходам к безопасности, так и конкретным реализованным системам и комплексам.

Открывая работу секции, А.Е. Хатламаджиян (АО «НИИАС») подчеркнул, что функциональная безопасность является критическим свойством объектов железнодорожной автоматики. Предъявление жёстких требований ко всей цифровой железнодорожной станции (ЦЖС) может привести к излишнему усложнению конечных модулей. В связи с этим был принят подход, основанный на релейно-процессорных централизациях: основной функционал реализуется программными средствами, к которым не предъявляются требования безопасности, а сама безопасность обеспечивается нижним уровнем – релейными схемами. Это позволило сконцентрировать требования на пяти ключевых модулях из двадцати четырёх, так называемых Контурах безопасности. Для всех этих модулей разработаны доказательства безопасности, подтверждающие их способность противостоять случайным отказам, искажению информации, внешним воздействиям и ошибкам эксплуатации.

Значительная часть докладов была посвящена сортировочным комплексам. И.А. Ольгейзер (первый заместитель директора Ростовского филиала АО «НИИАС») представил результаты эксплуатации Комплексной системы автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП): на сортировочной горке Челябинск с 2013 года зафиксирован лишь один опасный отказ, аналогичная ситуация наблюдается на горке Красноярск-Восточный с 2006 года. В докладе также отмечено, что состав оборудования КСАУ СП к 2025 пополнится устройством счета и контроля расцепа вагонов (УСКР) [33] на базе технического зрения (Рис. 1).

Вопросы безопасности при работе с опасными грузами были освещены В.Н. Соколовым (заместитель директора Ростовского филиала АО «НИИАС»). Он представил интегрированный комплекс автоматизации роспуска опасных грузов (ИКАР ОГ) [32], который применяется для обработки вагонов со взрывчатыми материалами, сжиженными газами и легковоспламеняющимися жидкостями. Технология работы комплекса основана на полном блокировании ручного вмешательства, расчёте параметров движения, резервировании модулей управления и немедленной остановке роспуска при любых неисправностях. Вероятность отказа системы автоматизации роспуска составляет $8 \cdot 10^{-9}$ 1/ч. Далее докладчик привёл показатели надёжности для систем управления стрелками, балочными и точечными замедлителями, а также представил анализ дерева событий, согласно которому вероятность повреждения вагона с опасным грузом составляет $4,2 \cdot 10^{-8}$ 1/ч, что соответствует допустимым нормам безопасности.

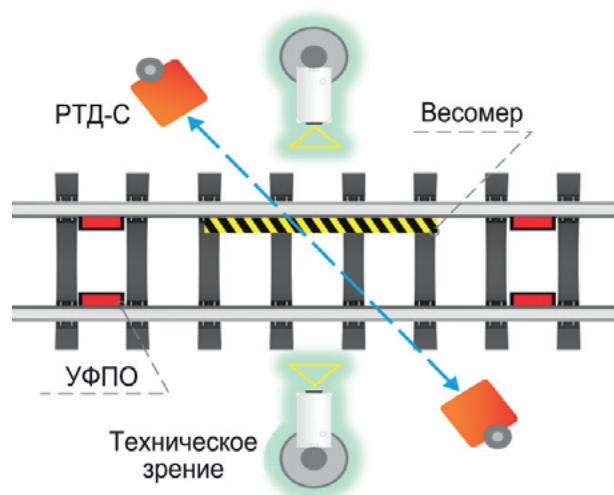


Рис. 1 – Схематическое расположение компонентов УСКР

Завершающий доклад К.И. Корниенко (АО «НИИАС») был посвящён функциональной безопасности комплекса автоматизированного закрепления подвижного состава [21]. Он напомнил, что интенсивность опасных отказов для станционных систем автоматики регламентируется на уровне $1 \cdot 10^{-7}$ 1/ч для малых станций и $1 \cdot 10^{-9}$ 1/ч для крупных. Опасным отказом следует считать самопроизвольное движение закреплённого состава с выходом за границы пути. Для предотвращения таких ситуаций применяются комбинированные схемы упоров, домкратовидных и гидравлических устройств. Докладчик отметил необходимость

дальнейшего совершенствования методов контроля и разработки новых стандартов для автоматизированных систем закрепления.

Участники констатировали, что представленные разработки АО «НИИАС» демонстрируют высокий уровень функциональной безопасности, подтверждённый как расчётными методами, так и многолетней статистикой эксплуатации. Применяемые подходы, включающие резервирование, вынесение функций безопасности на нижний уровень, использование верифицируемых конечных автоматов для контроля нейросетевых алгоритмов и полное исключение человеческого фактора при работе с опасными грузами, позволяют минимизировать риски и обеспечивают соответствие самым строгим требованиям нормативной базы.

23 мая 2025 года под председательством заместителя генерального директора АО «НИИАС» И.Р. Гургенидзе состоялось заседание секции № 2 НТС, посвящённое моделированию логистических процессов полного цикла [14, 15]. Данное направление является ключевым для оптимизации управления грузопотоками и повышения эффективности всей транспортной системы. Обсуждения касались разработки и внедрения цифровых двойников логистических цепочек, что позволяет анализировать сценарии, прогнозировать узкие места и повышать рентабельность перевозок. Этот проект напрямую связан с созданием комплексной системы управления перевозочным процессом на основе данных. Заседание прошло в смешанном формате и собрало представителей профильных центров и отделов, занимающихся цифровым моделированием и организацией движения.

Участники заслушали доклад П.М. Модонова и А.А. Честнова (АО «НИИАС») о разработке системы автоматизированного анализа скоростемерных лент. Было отмечено, что создаваемый инструмент тягового моделирования обеспечивает автоматическую загрузку данных об инфраструктуре, извлечение параметров из скоростемерных лент и гибкость настройки сценариев. Благодаря визуализации расчётов и сохранению заданных параметров система позволяет оперативно пересчитывать сценарии и повышает наглядность аналитики для принятия решений.

Значительный интерес вызвал доклад А.В. Степанова (АО «НИИАС»), посвящённый макро моделированию пассажирских перевозок в период Чемпионата мира по футболу FIFA-2018 [16]. Моделирование позволило оценить пиковый спрос на железнодорожные перевозки между городами-организаторами и определить схемы курсирования дополнительных поездов. Основной задачей было обеспечение перевозки около 1,6 млн болельщиков с минимальным количеством составов в обороте. Оптимизация маршрутов и перераспределение поездопотоков позволили сократить дефицит подвижного состава на 18% и сформировать сжатый график движения на весь месяц турнира. Разработанные ленточные графики оборотов и внутриузловые передачи обеспечили бесперебойную доставку пассажиров к местам проведения матчей.

В ходе обсуждения имитационного моделирования на направлении Москва-Адлер Ю.А. Емельянов (АО «НИИАС») представил результаты проверки межстанционных интервалов [39]. Для увеличения пропускной способности предлагается оборудовать пути системой АЛСО с ПБУ на базе АБТЦ-МШ, установить дополнительные и групповые выходные светофоры. Исходными данными для модели служили одностанционные планы станций, ведомости занятия путей, графики движения и нормативные документы. Моделирование позволило выделить дополнительные нитки для пассажирских поездов, включая «Ласточки» и поезда дальнего следования. Однако было отмечено, что в процессе моделирования выявляются «узкие места», которые могут препятствовать достижению необходимого количества пропускаемых составов.

Д.Ю. Халевин (АО «НИИАС») доложил об особенностях моделирования работы промышленных предприятий на примере ООО «ПГ «Фосфорит» и АО «ВМЗ» [40]. Сравнительный анализ показал, что простая схема путевого развития и поточная технология «Фосфорита» обеспечивают допустимые показатели рабочего парка и минимальные простои. В то же время разветвлённая сеть путей и высокий объём внутризаводских перевозок на АО «ВМЗ» приводят к завышенным показателям парка и увеличенным простоям. В связи с этим подходы к моделированию различаются: для «Фосфорита» применяются общепринятые принципы, тогда как для АО «ВМЗ» требуется моделирование через диспетчеризацию и суточное планирование. Точность прогнозов напрямую зависит от глубины проработки инфраструктуры и комплексного учёта всех объектов завода, включая локомотивное депо.

В продолжение темы А.А. Недбайлов и К.В. Кузнецова (АО «НИИАС») представили результаты моделирования работы ремонтного локомотивного депо для оценки освоения ре-

монтной программы АО «ВМЗ» с применением программы AnyLogic [41]. Модель учитывает существующую инфраструктуру, режим работы, парк локомотивов, нормы периодичности и продолжительности технического обслуживания, численность персонала и наличие грузоподъёмных машин. Аналитические расчёты выполнены на основе инструкций ОАО «РЖД» по расчёту пропускной способности и системе ремонта локомотивов. В докладе отражены предварительные результаты, позволяющие оценить возможности депо по выполнению заданных объёмов ремонта.

По итогам заседания секции отмечена высокая практическая значимость разрабатываемых инструментов моделирования для оптимизации перевозочного процесса, повышения пропускной способности и эффективности использования подвижного состава. Отмечено, что применение имитационного моделирования позволяет заблаговременно выявлять узкие места, оценивать пиковые нагрузки и обосновывать технические решения для обеспечения бесперебойной и безопасной работы железнодорожного транспорта.

18 июня 2025 года, прошло заседание Секции 7 («Управление активами, надёжностью и рисками»), на котором с докладом выступил А.П. Евдокимов (ИМАШ РАН). Тема его выступления – «Ресурс и надёжность резинокордных оболочек упругих соединительных муфт приводов подвижного состава» – затрагивает критически важный элемент тягового электрооборудования. В докладе рассматривались вопросы ресурса и надёжности резинокордных оболочек (РКО), применяемых в соединительных муфтах железнодорожного транспорта. Резинокордные оболочки являются ключевыми элементами упругих муфт, обеспечивающими передачу крутящего момента, компенсацию несоосностей валов, снижение динамических нагрузок и виброзащиту силовых приводов. Ввиду того, что работа имеет важное практическое значение для повышения надёжности и продления срока службы узлов подвижного состава [22], остановимся на этом более подробно в настоящем обзоре.

Исследование проводилось на примере тепловоза ТГМ4К (Рис. 2), чья компоновка характерна для многих типов маневровых и магистральных тепловозов.

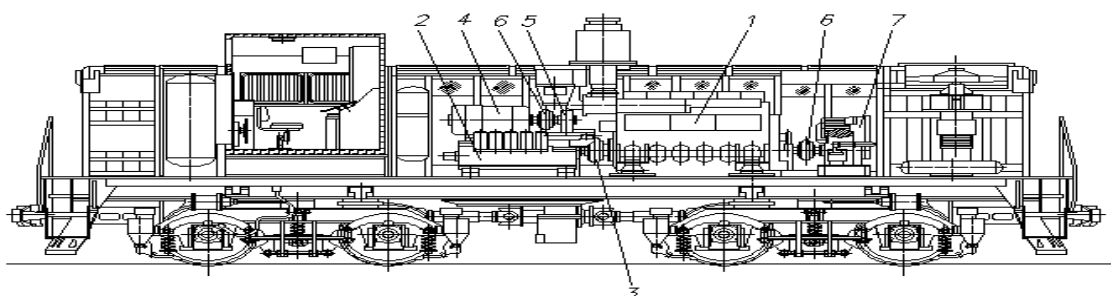


Рис. 2 – Конструкция тепловоза ТГМ4К

1 – дизель 6ЧН2А 21/21; 2 – гидродинамическая передача УГП750/202М2; 3 – упругая муфта с РКО ЭМ580×130; 4 – двухмашинный агрегат А706Б; 5 – механический редуктор; 6 – упругая муфта с РКО ЭМ320×80; 7 – поршневой компрессор ВУЗ,5

Упругая соединительная муфта с резинокордной оболочкой (Рис. 3) имеет сложную многослойную конструкцию, которая разработана для обеспечения необходимых упругих и прочностных характеристик при передаче крутящего момента в условиях значительных динамических нагрузок и неизбежных несоосностей соединяемых валов.

Основными элементами муфты являются: резинокордная оболочка (поз. 1), представляющая собой основной упругий и силопередающий элемент; стальные фланцы (поз. 2, 3), обеспечивающие крепление муфты к валам привода; крепёжные болты (поз. 4), соединяющие фланцы с оболочкой; резинокордный каркас (поз. 5), воспринимающий основные нагрузки; металлическое кольцо (поз. 6), обеспечивающее формоустойчивость оболочки; протектор (поз. 7), защищающий каркас от внешних воздействий; внутренний защитный слой (поз. 8); наполнительный шнур (поз. 9) и крыльевая лента (поз. 10), обеспечивающие герметичность и целостность конструкции. Особенностью конструкции является использование резинокордного каркаса, который состоит из нескольких слоёв корда, арми-

рованного полиамидными нитями. Такая структура обеспечивает высокую прочность при относительно небольшой массе и способность воспринимать значительные деформации кручения.

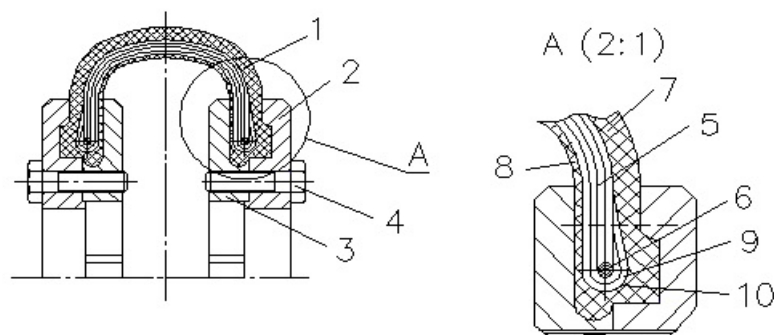


Рис. 3 – Упругая соединительная муфта с РКО

В докладе отмечено, что в процессе эксплуатации резинокордные оболочки подвергаются воздействию сложного комплекса нагрузок, что приводит к возникновению различных дефектов. На Рис. 4 представлены характерные дефекты РКО, среди которых основное место занимает контактное деформирование в зонах взаимодействия резинокордного каркаса с металлическими фланцами и кольцом.



Рис. 4 – Дефекты РКО

Для изучения контактного деформирования рассматривались оболочки с двумя монослоями корда. Схема нагружения бортов РКО радиальной силой показана на Рис. 5. Экспериментальные исследования позволили получить ряд важных зависимостей, характеризующих поведение оболочки под нагрузкой.

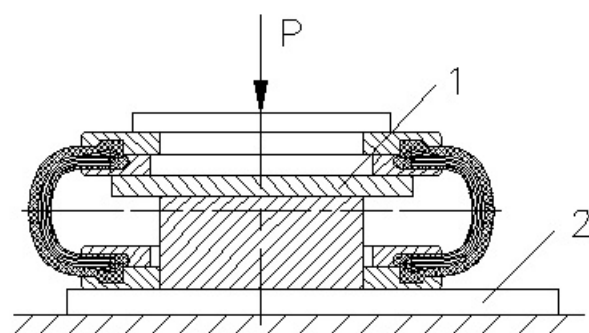


Рис. 5 – Схема нагружения бортов РКО радиальной силой

На Рис. 6 представлена зависимость сжатия борта оболочки от радиального усилия для серийной (кривая 1) и опытной (кривая 2) оболочек. Видно, что опытная оболочка обладает большей жёсткостью при радиальном сжатии, что положительно сказывается на стабильности её работы.

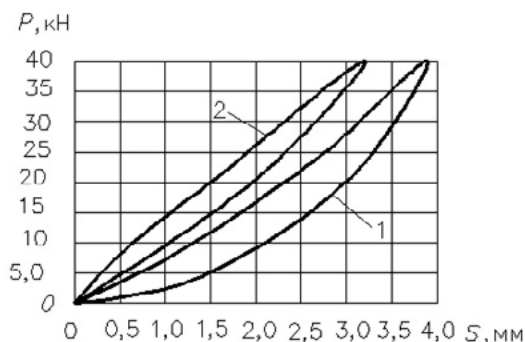


Рис. 6 – Зависимость сжатия борта оболочки от радиального усилия

Рис. 7 показывает зависимость сжатия борта оболочки от усилия затяжки металлических фланцев. Здесь также опытная оболочка (кривая 2) демонстрирует меньшие деформации по сравнению с серийной (кривая 1), что свидетельствует о более эффективном распределении напряжений в конструкции.

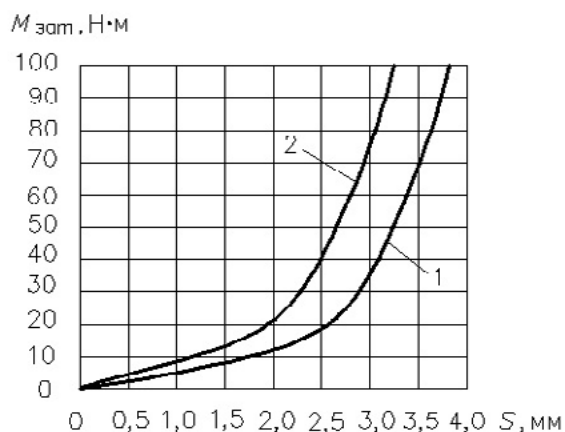


Рис. 7 – Зависимость сжатия борта оболочки от усилия затяжки металлических фланцев

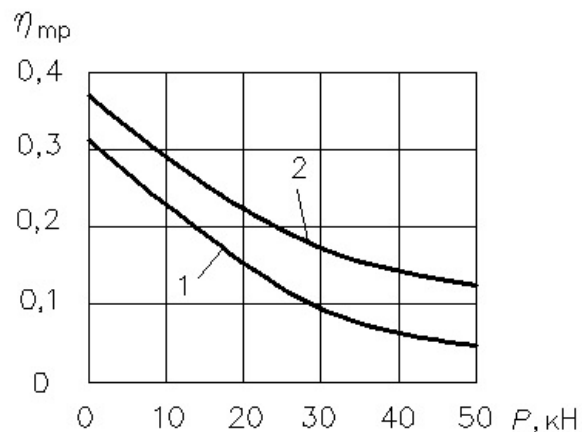


Рис. 8 – Зависимость коэффициента трения от усилия сжатия

Важными характеристиками являются зависимости коэффициента трения (Рис. 8) и момента трения (Рис. 9) от усилия сжатия. Опытная оболочка показывает более стабильные значения коэффициента трения во всем диапазоне нагрузок. Зависимость момента скольжения от величины сжатия (Рис. 10) подтверждает, что опытная конструкция обеспечивает более надёжное фрикционное соединение.

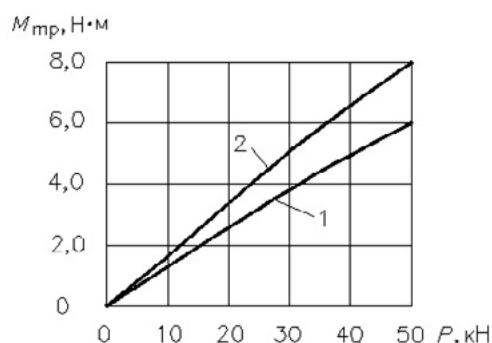


Рис. 9 – Зависимость момента трения от усилия сжатия

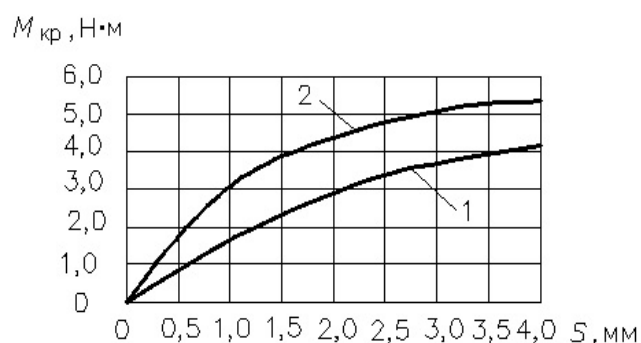


Рис. 10 – Зависимость момента скольжения от величины сжатия

Исследование напряжённо-деформированного состояния (НДС) резинокордных оболочек проводилось с использованием методов математического моделирования и экспериментальных данных. В докладе представлена схема меридионального сечения РКО ЭМ320×80 с указанием крепёжных фланцев Ф1, Ф2 и стального кольца К, приведены гра-

фики распределения параметров НДС при кручении: деформации максимальных сдвигов $\gamma_{\max}$, интенсивности напряжений σ_e и интенсивности деформаций ε_e . Анализ полученных распределений показывает, что наиболее нагруженными являются внутренние слои резины в зонах контакта с металлическими элементами. Полиамидный корд воспринимает основную нагрузку, при этом уровень его деформаций остаётся в допустимых пределах благодаря высокой жёсткости. Выявленная неравномерность распределения напряжений и деформаций по слоям оболочки указывает на необходимость оптимизации её конструкции для выравнивания нагруженности.

Для оценки реальных условий работы РКО были проведены экспериментальные исследования динамической нагруженности силовых приводов. Представлены графики изменения динамического крутящего момента и угла закручивания резинокордной оболочки при пуске и рабочей частоте вращения дизеля. Анализ осциллограмм показал, что в момент пуска возникают значительные динамические нагрузки, превышающие номинальные в несколько раз. При выходе на рабочий режим колебания момента и угла закручивания стабилизируются, однако сохраняются переменные составляющие, обусловленные работой дизеля и неравномерностью передачи крутящего момента. РКО эффективно демпфирует эти колебания.

Резинокордные оболочки обладают существенно нелинейными упругими характеристиками, что связано с физико-механическими свойствами резины и корда, а также с конструктивными особенностями. При статическом нагружении крутящим моментом наблюдается характерная петля гистерезиса (Рис. 11), площадь которой характеризует рассеяние энергии в материале.

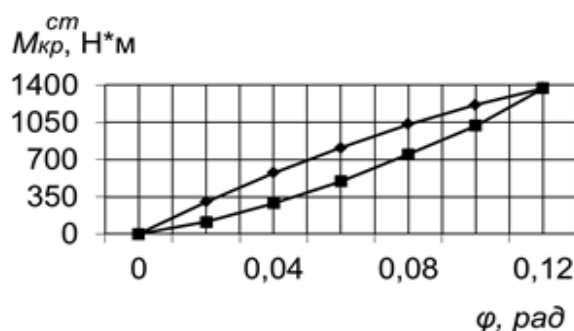


Рис. 11 – Петля гистерезиса РКО при нагружении статическим крутящим моментом

Кривая нагружения при закручивании оболочки описывается полиномом пятой степени с нечётными показателями. Учитывая симметричность характеристики относительно начала координат, а также условия прохождения кривой через заданные экспериментальные точки, можно составить два уравнения для вычисления коэффициентов m_0 и n_0 :

$$M(\varphi) = m_0\varphi + n_0\varphi^3 + k_0\varphi^5.$$

Из условий симметрии и экспериментальных данных получаем:

$$\begin{cases} M_1 = m_0\varphi_1 + n_0\varphi_1^3 + k_0\varphi_1^5 \\ M_2 = m_0\varphi_2 + n_0\varphi_2^3 + k_0\varphi_2^5 \end{cases} \quad (1)$$

Для кривой разгрузки используется аналогичное выражение, но с другими коэффициентами:

$$M_{\text{разг}}(\varphi) = m_0'\varphi + n_0'\varphi^3 + k_0'\varphi^5. \quad (2)$$

В докладе были приведены результаты испытаний оболочки при нагружении статическим крутящим моментом, включая значения углов закручивания и соответствующих моментов. Эти экспериментальные данные служат основой для определения коэффициентов нелинейности и построения математических моделей поведения РКО. Температурные условия эксплуатации оказывают существенное влияние на механические свойства резинокордных оболочек. Резина как полимерный материал изменяет свои упругие и диссипативные характеристики при нагреве и охлаждении. Для количественной оценки

этого влияния введён коэффициент жёсткости K_t , представляющий собой отношение жёсткости при данной температуре к жёсткости при нормальной температуре. В докладе представлена зависимость коэффициента жёсткости K_t от температуры РКО. Показано, что с повышением температуры жёсткость монотонно снижается, что может приводить к изменению нагрузочных характеристик муфты. Не менее важным параметром является коэффициент демпфирования, также зависящий от температуры. Приведены значения коэффициента демпфирования в зависимости от температуры окружающей среды. С ростом температуры демпфирующая способность материала изменяется, что влияет на эффективность гашения колебаний.

Полученные результаты подчёркивают важность учёта температурных условий при проектировании и эксплуатации муфт, а также необходимость термостабилизации и выбора материалов, устойчивых к температурным воздействиям.

Одним из ключевых аспектов исследования является оценка ресурса резинокордных оболочек. Используя статистические данные выхода из строя РКО, можно в первом приближении определить их ресурс в зависимости от угла закручивания по степенному уравнению долговечности:

$$N = C \cdot \varphi^{-m}, \quad (3)$$

где N – число циклов до разрушения, φ – угол закручивания, C и m – эмпирические коэффициенты, определяемые по результатам испытаний.

Расчётная долговечность (ресурс в единицах времени) определяется по формуле:

$$T = \frac{N}{f}, \quad (4)$$

где f – частота нагружения.

Было показано, что для более детального анализа долговечности используются интегральные характеристики резинокордной оболочки: петля гистерезиса, квазиупругая деформация.

Амплитуда квазиупругой деформации определяется выражением:

$$\Delta\varphi_{\text{ку}} = \frac{\Delta M}{C_k}, \quad (5)$$

где ΔM – размах момента, C_k – крутильная жёсткость.

Амплитуда неупругой деформации:

$$\Delta\varphi_{\text{н}} = \Delta\varphi - \Delta\varphi_{\text{ку}}. \quad (6)$$

Суммарная амплитуда деформации:

$$\Delta\varphi_{\text{сум}} = \Delta\varphi_{\text{ку}} + \Delta\varphi_{\text{н}}. \quad (7)$$

На Рис. 12 представлены зависимости долговечности резинокордных оболочек от величины квазиупругой (кривая 1), неупругой (кривая 2) и суммарной (кривая 3) деформации для трёх типоразмеров РКО: ЭМ320×80 (рис. 12а), ЭМ580×130 (рис. 12б) и ЭМ520×150 (рис. 12в).

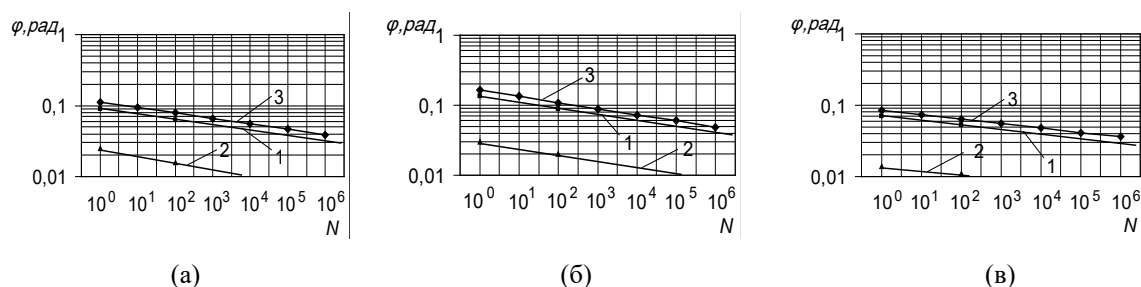


Рис. 12 – Зависимость долговечности резинокордных оболочек от величины деформации РКО

Анализ этих зависимостей показывает, что наибольшее влияние на ресурс оказывает неупругая составляющая деформации, связанная с процессами внутреннего трения и накопления повреждений в материале. С увеличением амплитуды деформаций долговечность снижается по степенному закону, причём для разных типов оболочек показатели степени могут различаться в зависимости от конструктивных особенностей и применяемых материалов.

На заседании было отмечено, что проведённое исследование вносит значительный вклад в понимание работы резинокордных оболочек соединительных муфт железнодорожного транспорта. Получены экспериментальные данные о деформировании и напряжённом состоянии РКО при различных видах нагружения, исследовано влияние конструктивных факторов на характеристики жёсткости и демпфирования, выполнена оценка ресурса с учётом нелинейных и температурных эффектов. Результаты работы позволяют оптимизировать конструкцию резинокордных оболочек, выбирать материалы с улучшенными характеристиками, разрабатывать рекомендации по эксплуатации и обслуживанию муфт. Практическая ценность исследования заключается в возможности повышения надёжности и продления срока службы узлов силовых приводов подвижного состава. Для дальнейшего анализа надёжности необходимо получение статистических характеристик исследуемых объектов для вероятностной оценки. Перспективными направлениями являются углублённое изучение механизмов накопления повреждений, разработка более точных математических моделей, учитывающих нелинейность, вязкоупругость и температурные зависимости свойств материалов, а также создание методов расчёта ресурса на основе критериев механики разрушения. Работа имеет высокую практическую ценность для инженеров и специалистов, занимающихся обслуживанием и проектированием железнодорожной техники, а также для научных работников, исследующих проблемы прочности и долговечности резинокордных композиционных материалов.

В целом, II квартал продемонстрировал диверсификацию тем и углубление в прикладные инженерные задачи. Если в первом квартале обсуждались общие принципы роботизации и надёжности, то здесь работа секций сконцентрировалась на конкретных узлах (соединительные муфты), конкретных методологиях (функциональная безопасность) и цифровых инструментах управления (моделирование логистики). Эта деятельность отражает переход от стратегического планирования к фазе проектирования и инженерной проработки решений в рамках утвержденных технологических направлений, закрепляя роль АО «НИИАС» как головного института, решающего комплексные задачи цифровой трансформации железнодорожного транспорта [42].

3. Цифровая экосистема: Связь и защита информации

Работа в III квартале 2025 года была отмечена интенсивной междисциплинарной активностью и смещением акцента на вопросы связи, позиционирования и регионального внедрения инноваций.

16 сентября 2025 года, состоялось заседание Секции 6 («Системы телекоммуникаций и передачи данных»), организованное на базе Ростовского филиала АО «НИИАС». Тема мероприятия – «Применение сетей NB-IoT для задач диагностики инфраструктуры и обеспечения безопасности движения» – отражает тренд на интеграцию интернета вещей (IoT) в железнодорожную отрасль. Узкополосный IoT идеально подходит для подключения распределённых, энергоэффективных датчиков контроля состояния пути, искусственных сооружений и окружающей среды. Проведение заседания в региональном филиале свидетельствует о практической ориентированности работы и тестировании технологий в реальных условиях. Основное внимание было уделено проекту по разработке системы интервального регулирования движения поездов с реализацией технологии пакетного пропуска в режиме виртуальной сцепки [9-11] на базе стандарта DMR (англ., Digital Mobile Radio, Цифровая Подвижная Радиосвязь), а также вопросам применения сетей NB-IoT для диагностики инфраструктуры.

В ходе заседания были рассмотрены итоги работ, выполненных в 2025 году на полигоне Инская – Балезино, охватывающем Свердловскую и Западно-Сибирскую железные дороги [43]. Специалистами проведена настройка локомотивного оборудования на электровозах серии 2ЭС6 и тестирование взаимодействия сервера УСБС с локомотивными комплектами при использовании средств криптографической защиты [44]. Также выполнена адаптация программного обеспечения для сопряжения с системой автоматического управления торможением (САУТ).

В ходе опытных поездок двух сцепленных поездов на участке Свердловск-Сортировочный – Войновка были зафиксированы продолжительные потери связи с сервером УСБС, превышающие 60 секунд. Анализ показал, что одиннадцать базовых станций включались лишь на время проезда состава. Для выявления и устранения «проблемных» зон покрытия проведены работы по регулировке мощности стационарных радиостанций РМУ-4. Тем не менее, сохраняются две ключевые проблемы: необеспеченность электромагнитной совместимости с оборудованием DMR, предназначенным для технологической радиосвязи, зарегистрированные длительные перерывы связи.

По итогам обсуждения секцией даны рекомендации по подготовке технических решений для подавления мешающих влияний на смежные комплекты аппаратуры DMR. Предложено провести стендовые испытания с использованием фильтра ППРФ 1608/P4 и разработать рекомендации по его применению на опытном полигоне. Также рекомендовано выработать меры по увеличению дальности связи базовых станций и сокращению продолжительности нарушений связи с последующей настройкой радиосредств и повторной проверкой на опытном участке.

Вторым ключевым вопросом повестки стало рассмотрение результатов работ Ростовского филиала АО «НИИАС» по созданию и внедрению систем промышленного интернета на базе сетей NB-IoT. В рамках этого направления разработана и испытана на Октябрьской железной дороге система автоматизированного обогрева стрелочных переводов «СМАРТ.Обогрев стрелок» [23]. На Северо-Кавказской и Южно-Уральской железных дорогах успешно прошел испытания беспроводной датчик прохода колес «СМАРТ.CO», предназначенный для контроля маневровых передвижений на станциях. Для интеграции различных устройств в единую экосистему создана программная платформа, обеспечивающая сбор диагностической информации и сопряжение систем промышленного интернета с действующими технологическими процессами.

Кроме того, имеются перспективные наработки, включая систему предупреждения пешеходов о приближающемся поезде [36], комплекс контроля температуры рельсовых плетей на бесстыковом пути для заблаговременного информирования о критических значениях, а также оборудование водомерных постов на мостовых переходах в зонах паводковых рисков.

Несмотря на широкий спектр потенциальных применений технологий интернета вещей для диагностики инфраструктуры и повышения безопасности движения, участники заседания констатировали, что данное направление в настоящее время недостаточно динамично развивается в настоящее время. В связи с этим секция рекомендовала НТС и Ростовскому филиалу АО «НИИАС» подготовить обоснованные предложения по включению тематики комплексного развития систем промышленного интернета в план работ.

25 сентября 2025 года в формате VII ежегодного технического семинара на тему «Технологии позиционирования на железнодорожном транспорте» состоялось заседание Секции 3 («Беспилотное управление подвижным составом») [8]. Проведение такого масштабного регулярного мероприятия подчеркивает стратегическую важность темы высокоточного определения местоположения для реализации концепций беспилотного движения и интеллектуального управления. На семинаре обсуждались комплексные решения, сочетающие спутниковую навигацию (ГЛОНАСС/GPS с коррекцией), инерциальные системы, цифровые карты и путевое оборудование [6, 7], а также вопросы отказоустойчивости и безопасности этих систем [45], что является критическим условием для их сертификации и промышленного внедрения.

В середине квартала, 18 июля 2025 года, прошло заседание Секции 8 («Информационная и кибербезопасность»). Его повестка включала обсуждение вопросов обеспечения безопасности программного обеспечения [19], анализ выполнения договора на разработку комплекта нормативно-методической документации (НМД), ответственным за которое был А.Г. Сабанов, а также вопросы безопасности ПО как одного из видов деятельности СДС ИБ РЖД. Это заседание «высветило» проблемы операционной и регуляторной стороны цифровизации применительно к безопасности программного обеспечения. Разработка и соблюдение НМД в области кибербезопасности – обязательная основа для создания защищенных систем. Обсуждение докладов указывает на необходимость контроля за практической реализацией проектов, а фокус на обеспечение безопасности ПО напрямую связан с жизненным циклом разрабатываемых институтом цифровых продуктов и систем, будь то системы автоматизации станций или телематические платформы.

Таким образом, III квартал продемонстрировал выход деятельности НТС на новый уровень зрелости, охватывая как фундаментальные семинары по ключевым для будущего технологиям (позиционирование), так и прикладные аспекты их реализации, включая телекоммуникационную «последнюю милю» (NB-IoT) и критически важные рамки кибербезопасности. Географическое распределение мероприятий (Москва, Ростов-на-Дону) и сочетание стратегических семинаров с проектными отчетами отражают комплексный подход АО «НИИАС» к инновационному развитию, где научно-техническая проработка неотделима от вопросов практического развертывания, стандартизации и защиты создаваемой цифровой среды железнодорожного транспорта.

4. Внедренческие проекты и научная экспертиза

Работа НТС в IV квартале 2025 года сосредоточилась на рассмотрении конкретных внедренческих проектов, защите научных исследований и стратегическом планировании. Квартал открылся 7 октября 2025 года заседанием Секции 2 («Технология управления перевозочным процессом»), посвященным технологическому проектированию высокоскоростной магистрали «ВСЖМ-1 Москва – Санкт-Петербург» [16-18]. Рассмотрение аспектов, вызовов и инноваций этого грандиозного проекта подтверждает роль АО «НИИАС» как генератора технологических решений для инфраструктуры нового поколения [48]. Обсуждения затрагивали не только вопросы пути и энергоснабжения, но и интеграцию комплексных систем управления движением, безопасности, пассажирского сервиса и цифрового мониторинга состояния инфраструктуры в единую экосистему, что требует принципиально новых подходов к проектированию и стандартизации [49].

6 ноября 2025 года, состоялось значимое междисциплинарное мероприятие, организованное Секцией 4 («Автоматизация и роботизация технологических процессов в инфраструктурном комплексе») на площадке инновационного центра «Сириус». Тема – «Внедрение робототехники и систем искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте» [2]. Выбор площадки мирового уровня для этого события символизирует стремление вывести отраслевую роботизацию на передовой технологический фронт. Мероприятие проводилось в рамках международной научной конференции «Интеллектуальные информационные технологии для индустрии» (ИТИ) [49], организатором которого наравне с Ростовским государственным университетом путей сообщения (РГУПС) и Российской ассоциацией искусственного интеллекта был АО «НИИАС». Этот аспект подчеркивает важность разработок АО «НИИАС» наравне с фундаментальными исследованиями, подсвеченными на конференции ИТИ.

Обсуждение прошло в очно-дистанционном формате и было посвящено вопросам построения цифровых двойников инфраструктурных объектов, а также актуальным разработкам в области роботизации технологических процессов [24, 25]. В заседании приняли участие руководители и ведущие специалисты АО «НИИАС», представители проектно-конструкторских бюро ОАО «РЖД», Всероссийского института научной и технической информации РАН и РГУПС.

С приветственным словом к участникам обратился Генеральный директор АО «НИИАС» А.И. Долгий, подчеркнувший стратегическую важность развития роботизации и цифрового моделирования для повышения эффективности и безопасности железнодорожной инфраструктуры, что также отмечено в его публикациях в 2025 году [1, 42].

В ходе заседания был заслушан ряд докладов, охватывающих широкий спектр направлений. Значительное внимание было уделено вопросам технико-экономического обоснования внедрения робототехнических комплексов (РТК) [24, 25]. Докладчики представили результаты опытной эксплуатации конкретных разработок: робототехнического комплекса для сцепки вагонов при роспуске составов на сортировочных горках [24], а также роботизированной системы для автоматического отпуска и проверки действия автотормозов грузовых вагонов. Участники обсудили программно-аппаратную архитектуру перспективных роботов для технического осмотра подвижного состава [25] и методы повышения точности позиционирования автономных роботов за счёт слияния данных одометрии и радионавигационных измерений [51].

Отдельный блок докладов был посвящён интеллектуальным системам взаимодействия с машинистом. Был представлен автоматизированный комплекс информирования машиниста с интеллектуальным распознаванием речи (АКИМ) [35], а также обсуждались архитектуры

и модели распознавания речи, лежащие в основе его работы [52]. Участники отметили высокий потенциал таких систем для снижения нагрузки на локомотивные бригады и повышения ситуационной осведомлённости.

В рамках тематики цифровых двойников были рассмотрены вопросы моделирования вертикального воздействия на путь колёс грузовых вагонов с дефектами, способы беспроводного контроля состояния буксовых узлов с передачей телеметрии в кабину машиниста, а также интеллектуальные методы обработки данных о техническом состоянии объектов инфраструктуры [3, 53]. Докладчики из Ростовского филиала АО «НИИАС» и РГУПС представили наработки по созданию внутренних фреймворков для задач машинного зрения и автоматизированному контролю ключевых элементов ходовой части локомотивов [54].

Ключевой проблемой, обозначенной в ходе обсуждения, стало отсутствие в существующей нормативной базе положений, регламентирующих применение инновационных робототехнических разработок. Это создаёт риски при их тиражировании и внедрении на сети железных дорог. Участники констатировали, что для масштабирования уже находящихся в опытной эксплуатации комплексов необходимо не только техническое совершенствование, но и формирование соответствующей нормативной и методической базы.

По итогам заседания было принято ряд решений. АО «НИИАС» поручено продолжать работу по разработке и сопровождению средств роботизации, а также активизировать поиск возможностей для внедрения робототехнических комплексов, в том числе на вокзалах, пунктах технического осмотра и экипировки. Институту предписано оказывать содействие функциональным заказчикам в части технико-экономического обоснования применения РТК для формирования отдельной инвестиционной программы. Кроме того, в первом квартале 2026 года запланировано направить в ЦТЕХ предложение по разработке стандарта, классифицирующего робототехнические комплексы на железнодорожном транспорте. Следующее заседание секции по вопросам роботизации намечено и проведено 17 февраля 2026 года, описание которого будет опубликовано во второй половине 2026 года.

21 ноября 2025 года была проведена совместная работа Секции 7 («Управление активами, надежностью и рисками»), Секции 8 («Информационная и кибербезопасность») и Экспертного совета АО «НИИАС». Целью было обсуждение диссертационной работы А.Б. Рябцева «Развитие метода динамичного формирования групп объектов по принципу идентичности для больших данных», часть положений которой отражены в работе [5]. Рассмотрение этой кандидатской работы на столь высоком межсекционном уровне НТС подчеркивает ее прикладную значимость для института. Предложенный метод, лежащий на стыке data science и управления активами, направлен на решение фундаментальной задачи анализа больших данных – автоматической кластеризации объектов (например, вагонов, узлов) для предиктивной аналитики и оптимизации их обслуживания.

25 ноября 2025 года, прошло заседание Секции 1 («Системы обеспечения безопасности движения поездов и интервального регулирования»), сфокусированное на применении технологии виртуальной сцепки (ВСЦ) в пассажирском движении на участках с 3-значной автоблокировкой и АБТЦ-МШ [9, 10]. С докладами выступили А.А. Никонюк и М.А. Дежков. Намечен переход от научных исследований к конкретной апробации технологии, позволяющей повысить пропускную способность и эффективность на существующей инфраструктуре без ее коренной переделки. Обсуждение применения ВСЦ в условиях различных систем автоблокировки представляет собой важный шаг к созданию универсальных и масштабируемых решений. В заседании приняли участие руководители и специалисты профильных центров института, а также приглашенные машинисты-инструкторы локомотивных бригад эксплуатационных локомотивных депо ТЧЭ-2 С.А. Макиевский и ТЧЭ-11 В.В. Власов, принимавших участие в организации и проведении испытаний.

Основной целью заседания стало рассмотрение результатов исследовательских испытаний по апробации новых технологических решений в организации движения пассажирских поездов с использованием технологии ВСЦ [9]. Испытания проводились во исполнение программы совершенствования и развития технологии «виртуальная сцепка», утверждённой Заместителем генерального директора - главным инженером ОАО «РЖД» А.М. Храмцовым 29 сентября 2023 г №1814(2), и договора на разработку технологического процесса организации движения поездов на направлении Центр-Юг. В ходе испытаний проверялась работоспособность системы УСАВП-ВСЦ для реализации функционала ВСЦ в пассажирском движении, а также реакция «виртуального ведомого» локомотива на режимы движения, передаваемые от «виртуального ведущего» по радиоканалу [44, 55]. В качестве основной задачи, при реализации работы, являлся результат проверки фактической

возможности пропуска пассажирских поездов с минимальными межпоездными интервалами по технологии ВСЦ.

Полигоном для испытаний был выбран участок Россось – Лихая Юго-Восточной и Северо-Кавказской железных дорог. Поездки выполнялись на электровозах серии ЭПМ, оборудованных приборами безопасности КЛУБ-У с различными версиями программного обеспечения и системой УСАВП-ВСЦ с радиомодемом М-ЛИНК. Выбор серии электровоза ЭПМ обусловлен тем, что электровозы этой серии составляют основу парка пассажирских локомотивов, что обеспечивает репрезентативность проводимых испытаний.

В ходе проведения испытаний было зафиксировано, что системы автоведения и радиосвязи работали в штатном режиме на всём протяжении участка. Радиосвязь между локомотивами на основном канале была устойчива, пропаданий связи более чем на 30 секунд не зафиксировано. Межпоездные интервалы между ведущим и ведомым поездами составляли от 3 до 6 минут при физическом расстоянии от 2300 до 8000 метров. Приборы безопасности КЛУБ-У с версиями программного обеспечения 13 доп. 3 и 15 доп. 6 функционировали штатно, при этом версия 13 доп. 3 обеспечивала визуальную индикацию показаний локомотивного светофора и данных о расстоянии до впереди стоящего светофора, что было отмечено как преимущество для восприятия машинистом. Экспериментальная апробация технологии показала, что система способна в реальном времени обрабатывать данные и оптимально управлять движением ведомого поезда.

Важным эпизодом испытаний стала проверка экстренного торможения при внезапном появлении запрещающего сигнала. По указанию руководителя испытаний был перекрыт выходной светофор на станции Сергеевка. Ведущий поезд, следовавший со скоростью 106 км/ч, был остановлен перед запрещающим показанием на расстоянии 375 метров, тормозной путь составил 676 метров. Комиссия отметила, что система САУТ-ЦМ/485 корректно выполнила функцию запрета отпуска тормозов, отключив автоведение и обеспечив плавное снижение скорости. Это подтвердило безопасность движения при внезапном возникновении препятствия.

Вместе с тем, в ходе испытаний были выявлены отдельные организационные сложности: на станциях Зайцевка и Миллерово технические поезда останавливались для пропуска пассажирских составов, что не в полной мере соответствовало требованиям телеграммы ОАО «РЖД» о соблюдении расписания. Однако комиссия сочла, что эти отклонения позволили оценить работу технологии в условиях реальной эксплуатационной обстановки.

По итогам обсуждения докладов участники заседания признали результаты исследовательских испытаний успешными. Все запланированные проверки, за исключением стендовых, были выполнены в полном объёме. В результате работы секции принят ряд решений, направленных на дальнейшее совершенствование технологии. АО «НИИАС» совместно с ООО «АВП Технология» поручено доработать взаимодействие системы автоведения ИСАВП-РТ-М с устройством безопасности КЛУБ-У для получения информации об ограничениях скорости и кривых снижения скорости на участках, оборудованных АБТЦ-МШ. Также отмечена необходимость привлечения НПО САУТ при тиражировании технологии ВСЦ в пассажирском движении для корректировки и синхронизации бортовой базы с системой автоведения, включая применение комбинированного торможения для сокращения тормозного пути. Кроме того, для получения максимального эффекта при использовании команды К-277 рекомендовано устанавливать для локомотивов категорию 3.

Из предстоящих работ по реализации проекта отмечена необходимость разработки необходимых организационно-технических мероприятий по усилению пассажирской инфраструктуры и локомотивного хозяйства таких, как проведение анализа фактических и нормативных времен хода пассажирских поездов по участкам направления Центр-Юг с оценкой продолжительности и целесообразности существующих технических стоянок в пути следования, распределения пассажиропотоков при посадке и высадке, как с начальных станций, так и в пути следования на остановках, выполнения досмотровых операций в рамках обеспечения транспортной безопасности, параллельной экипировки составов пассажирских поездов, определения технологических резервов для сокращения стоянок поездов при выполнении операций по смене локомотивных бригад, технических возможностей оснащения электровозов других серий системами автоведения и связи для следования в режиме ВСЦ, а также целого ряда других мероприятий, связанных со следованием и обслуживанием поездов и локомотивов.

17 декабря 2025 года Секция 5 («Геоинформационные технологии, спутниковая навигация и аэрокосмическое дистанционное зондирование») провела рассмотрение диссер-

тационной работы М.А. Щеглова «Разработка методики применения беспилотных авиационных систем для мониторинга строительства объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта», часть результатов которой представлена в [12, 13]. Заседание прошло в смешанном формате с участием членов секции, приглашённых экспертов из профильных научных организаций и сотрудников АО «НИИАС».

Открывая заседание, А.А. Павловский (АО «НИИАС») представил диссертационное исследование, выполнявшееся в АО «НИИАС» на протяжении последних семи лет в рамках работ по внедрению технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в интересах железнодорожного транспорта [56, 57]. С основным докладом выступил сам соискатель М.А. Щеглов, изложивший основные положения работы, выносимые на защиту по специальности «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия».

А.И. Карелов (АО «НИИАС») сообщил, что представленное исследование базируется на двух крупных проектах, реализованных институтом для ОАО «РЖД» в 2021-2024 годах: разработке Концепции применения БАС и создании технологии мониторинга строительных работ на объектах Восточного полигона. Разработанная концепция легла в основу расширения парка БАС компании, который в настоящее время насчитывает более 500 единиц. Результаты мониторинга получили высокую оценку как со стороны правительства Российской Федерации, так и от линейных подразделений РЖД, подтвердивших экономический эффект от внедрения. М.А. Щеглов участвовал в этих работах на всех этапах – от постановки задачи до промышленной эксплуатации, включая разработку структуры отчётности и интерпретацию данных.

Подводя итоги, руководитель секции А.А. Павловский отметил огромную практическую ценность исследования, подчеркнув его потенциальное влияние на развитие гражданского применения БАС в интересах железнодорожного транспорта, включая использование тепловизионной и лидарной съёмки. Было принято решение поручить Н.В. Сазонову подготовить проект заключения по диссертационной работе М.А. Щеглова для представления в диссертационный совет.

Таким образом, IV квартал 2025 года стал периодом консолидации результатов и определения будущих горизонтов. В работе НТС в этот период органично сочетались рассмотрение прорывных инфраструктурных проектов (ВСЖМ), апробация конкретных технологий на сети (ВСЦ), научная экспертиза диссертационных исследований, формирующих методологический фундамент, и итоговое стратегическое планирование. Такой комплексный подход демонстрирует зрелость системы научно-технического управления в АО «НИИАС», где тактические внедренческие задачи неразрывно связаны с перспективными исследованиями и системным видением развития цифрового железнодорожного транспорта.

Заключение

Опираясь на достигнутые результаты и выявленные в ходе обсуждений проблемные зоны, деятельность НТС в 2026 году должна быть сосредоточена на решении комплекса приоритетных задач, охватывающих нормативное регулирование, масштабирование технологий и научное сопровождение инноваций. Новым направлением развития станет появление секции «Применение технологий искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте», что привлечет перспективные направления разработок и исследований, а также обмена опытом в области интеллектуальных транспортных систем.

Ключевым направлением должно стать формирование нормативно-правовой базы для новых технологий, что предполагает разработку и утверждение стандартов, классифицирующих робототехнические комплексы на железнодорожном транспорте и регламентирующих требования к их функциональной безопасности во исполнение решений заседания в Университете «Сириус», а также создание методик сертификации программных продуктов на основе искусственного интеллекта, используемых в системах управления движением, и актуализацию нормативно-методической документации по кибербезопасности с учетом появления новых типов угроз для распределенных IoT-систем.

Параллельно должно осуществляться масштабирование и тиражирование успешных решений, включая переход от опытной эксплуатации технологии виртуальной сцепки к ее промышленному внедрению на ключевых направлениях, прежде всего на Восточном полигоне, с целью достижения целевых показателей пропускной способности,

расширение функционала «Цифровой железнодорожной станции» путем интеграции систем автоматического закрепления и роспуска с интеллектуальными алгоритмами планирования маневровой работы, а также запуск пилотных проектов по роботизированному техническому обслуживанию подвижного состава на базе пунктов технического осмотра.

Важнейшей задачей остается интеграция систем мониторинга и управления в единую экосистему, что предусматривает реализацию комплекса работ по созданию опытного полигона для отработки технологий интернета вещей в целях диагностики инфраструктуры при условии выделения целевого финансирования, дальнейшее развитие методов высокоточного позиционирования, устойчивого к воздействию средств радиоэлектронной борьбы для обеспечения гарантированной безопасности беспилотного движения, а также широкое внедрение технологий беспилотных авиационных систем для мониторинга строительства и оценки состояния инфраструктуры на всем полигоне железных дорог, включая использование тепловизионной и лидарной съемки.

В сфере цифровой трансформации управления жизненным циклом активов должно быть обеспечено внедрение методов динамического формирования групп объектов на основе больших данных в корпоративные системы управления парком вагонов и локомотивов для оптимизации ремонтной программы, а также развитие методологии технико-экономического обоснования внедрения робототехники, учитывающей полный жизненный цикл и риск-ориентированный подход.

Особое внимание должно быть уделено научному закреплению и кадровому обеспечению: необходимо завершить и защитить диссертационные исследования, начатые в 2025 году, по тематике применения беспилотных авиационных систем для мониторинга инфраструктуры и методов кластеризации данных, а также организовать серию обучающих семинаров и курсов повышения квалификации для специалистов ОАО «РЖД» по работе с новыми роботизированными комплексами и цифровыми системами с акцентом на формирование компетенций в области анализа больших данных и эксплуатации беспилотных систем.

Таким образом, межсекционное взаимодействие НТС АО «НИИАС» в 2025 году не только обеспечило комплексное решение текущих задач цифровизации, но и заложило прочный научно-методический фундамент для реализации стратегических планов 2026 года, а дальнейшее развитие должно быть направлено на создание целостной, безопасной и высокоэффективной цифровой транспортной среды, где человеку отводится роль постановщика задач и контролера, а рутинные и опасные операции передаются интеллектуальным роботизированным системам.

Список использованной литературы

1. Долгий А. И. Цифровая железнодорожная станция как ключевой элемент повышения эффективности перевозочного процесса // *Железнодорожный транспорт*. – 2025. – № 9. – С. 7–11.
2. Долгий А. И., Хатламаджиян А. Е., Озеров А. В., Бочков А. В. Роботизация на железнодорожном транспорте // *Интеллектуальный транспорт*. – 2025. – Т. 9, № 3 (35). – С. 4–32.
3. Хатламаджиян А. Е., Ольгейзер И. А., Суханов А. В., Боровлев П. В. Выправка сортировочных путей на основе данных компьютерного зрения // *Интеллектуальный транспорт*. – 2025. – Т. 9, № 1 (33). – С. 19–26.
4. Махутов Н. А., Коссов В. С., Оганьян Э. С. и др. Долговечность элементов подвижного состава при циклическом нагружении // *Надежность*. – 2025. – Т. 25, № 3. – С. 3–9. DOI: 10.21683/1729-2646-2025-25-3-3-9.
5. I. F. Antipov, S. K. Dulin, and A. B. Ryabtsev, «Formation of groups of identical objects,» *J. Comput. Syst. Sci. Int.*, vol. 64, no. 3, pp. 474–481, 2025. DOI: 10.1134/S1064230725700443.
6. Кисельгоф Г. К., Кудряшов И. О., Куприенко О. Ю., Низовский А. В., Чернов С. С. Программа синхронизации времени с системой высокоточного позиционирования // Свид. о регистрации программы для ЭВМ RU 2025686530; заявл. 02.10.2025; опубл. 02.10.2025.
7. Кисельгоф Г. К., Кудряшов И. О., Низовский А. В., Чернов С. С. Программа взаимодействия с системой ЗАСЛОН // Свид. о регистрации программы для ЭВМ RU 2025690534; заявл. 10.11.2025; опубл. 10.11.2025.
8. Охотников А. Л., Соколов С. В., Костюков А. В. Концепция построения интегрированных систем управления беспилотным железнодорожным транспортом // *XXI век: итоги*

- прошлого и проблемы настоящего плюс.* – 2025. – Т. 14, № 2 (70). – С. 149–154.
9. Беляцкий С. Н., Фуярчук К. Г. Модуль визуализации обнаруженных препятствий для пользователя // Свид. о регистрации программы для ЭВМ RU 2025696087; заявл. 16.12.2025; опубл. 16.12.2025.
 10. Пронкин А. В., Кузема А. П., Бояринова Н. А., Кисельгоф Г. К. Развитие технологии виртуальной сцепки // *Автоматика, связь, информатика.* – 2025. – № 7. – С. 2–4. DOI: 10.62994/AT.2025.7.7.001.
 11. Никонюк А. А., Дежков М. А., Суслов А. А. Информационное обеспечение при вождении поездов с применением технологии «Виртуальная сцепка»: ключевые направления развития // *Транспорт Российской Федерации.* – 2025. – № 1 (116). – С. 18–22.
 12. Щеглов М. А., Карелов А. И., Павловский А. А. Методика сбора и анализа разнородной геоинформации для решения задач строительного контроля на объектах строительства железных дорог // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.* – 2025. – Т. 69, № 2. – С. 23–34. DOI: 10.30533/GiA-2025-011.
 13. Щеглов М. А., Павловский А. А., Карелов А. И., Мильштейн С. И. Выявление ряда опасных процессов, угрожающих железнодорожной инфраструктуре на Байкало-Амурской магистрали, на основании данных беспилотных авиационных систем // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.* – 2025. – Т. 69, № 4. – С. 59–69. DOI: 10.30533/GiA-2025-042.
 14. Дежков М. А., Никонюк А. А., Филиппченко С. А., Куренков П. В., Герасимова Е. А., Александрова В. С. Реализация логистических решений по повышению эффективности железных дорог Российской Федерации // *Логистика.* – 2025. – № 1 (218). – С. 10–14.
 15. Куренков П. В., Никонюк А. А., Ежова Н. Н., Мизиев М. М., Филиппченко Н. С. Логистика Восточного полигона: стратегия развития и оптимизация транспортных потоков. Предложения // *Логистика.* – 2025. – № 2 (219). – С. 10–14.
 16. Гинзбург Р. В., Громов К. С., Гургенидзе И. Р., Кузин В. В., Розенберг Е. Н., Садыков В. А., Самбурский И. М., Телепин А. В. Программа для программно-технического комплекса верхнего уровня для ВСМ Москва – Санкт-Петербург. Программа АРМ ДНЦ // Свид. о регистрации программы для ЭВМ RU 2025696092; заявл. 16.12.2025; опубл. 16.12.2025.
 17. Гинзбург Р. В., Громов К. С., Гургенидзе И. Р., Кузин В. В., Розенберг Е. Н., Садыков В. А., Самбурский И. М., Телепин А. В. Программа для программно-технического комплекса верхнего уровня для ВСМ Москва – Санкт-Петербург. Программа резервного комплекса // Свид. о регистрации программы для ЭВМ RU 2025696090; заявл. 16.12.2025; опубл. 16.12.2025.
 18. Воронин В. А. Выбор параметров рельсовых цепей для ВСЖМ-1 // *Железнодорожный транспорт.* – 2025. – № 5. – С. 30–33.
 19. Попов П. А., Розенберг Е. Н., Сабанов А. Г., Шубинский И. Б. Концепции обеспечения комплексной безопасности АСУ ТП верхнего уровня управления для объектов КИИ железнодорожного транспорта // *Надежность.* – 2025. – Т. 25, № 3. – С. 42–49. DOI: 10.21683/1729-2646-2025-25-3-42-49.
 20. Бояринова Н. А., Пенькова Н. Г., Шубинский И. Б., Иньков Ю. М. Надежность и безопасность человеко-машинных систем в ответственных технологических процессах // *Электротехника.* – 2025. – № 3. – С. 72–79. DOI: 10.53891/00135860-2025-3-72-79.
 21. Золотарев Ю. Ф., Корниенко К. И., Ольгейзер И. А., Рыжов Д. А., Соколов В. Н., Суханов А. В., Тищенко А. М., Хатламаджиян А. Е., Юндин А. Л. Система автоматического закрепления подвижного состава // Пат. RU 2836918 С1; заявл. 17.09.2024; опубл. 24.03.2025.
 22. Капитонов К. С. Анализ существующих методов заправки букс моторно-осевых подшипников электровозов и их недостатков // *Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава (ТОиР)*: тр. II Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. – Красноярск, 2025. – С. 152–156.
 23. Система электрообогрева стрелочных переводов / В. В. Терехов, П. П. Гулак, Н. В. Пантелеев, А. Н. Скоробогатов // Пат. 195719 U1 Рос. Федерация; заявл. 13.11.2019; опубл. 05.02.2020, Бюл. № 4.
 24. Кудюкин В. В., Вуколов А. В., Кузьмин В. С. Имитационное моделирование работы робототехнических комплексов, предназначенных для расформирования составов на сортировочных горках // *Автоматика на транспорте.* – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 16–29. DOI: 10.20295/2412-9186-2025-11-01-16-29.
 25. Долгий А. И., Кудюкин В. В., Хатламаджиян А. Е., Шаповалов В. В. Контроль и диагностика подвижного состава – от одиночных устройств до роботизированных диагностических

- комплексов // *Интеллектуальный транспорт*. – 2025. – Т. 9, № 4 (36). – С. 76–101.
26. Корниенко К. И. Применение искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте // *Проблемы безопасности на транспорте: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. пятилетке качества, Гомель, 20–21 нояб. 2025 г.: в 2 ч.* – Гомель: БелГУТ, 2025. – С. 173–175.
27. Охотников А. Л., Зажигалкин А. В. Обзор ключевых технологий робототехники // *Проблемы искусственного интеллекта*. – 2025. – № 1 (36). – С. 141–155. DOI: 10.24412/2413-7383-141-155.
28. Максимова С. Е. К вопросу о формировании культуры обеспечения безопасности полетов в процессе обучения пилотированию беспилотных воздушных судов гражданской авиации с максимальной взлетной массой менее 30 кг // *Современные векторы в образовании: теория и практика: ст. и материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), посвящ. Году Семьи и 85-летию со дня образования ГСГУ.* – Коломна, 2025. – С. 106–109.
29. Капитонов К. С. О формировании единого поля компетенций в сфере актуальных инноваций на железнодорожном транспорте // *Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава (ТОuP): тр. II Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф.* – Красноярск, 2025. – С. 157–163.
30. Гришаев С. Ю., Кудюкин В. В., Хатламаджиян А. Е., Ольгейзер И. А. Кадры для Цифровой железнодорожной станции // *Автоматика, связь, информатика*. – 2024. – № 5. – С. 29–32. DOI: 10.62994/AT.2024.5.5.003.
31. Система дистанционного управления строительной машиной / А. Ф. Пермяков, Е. А. Дудоров, И. М. Кутлубаев и др. // Пат. 2817073 С1 Рос. Федерация; заявл. 09.11.2023; опубл. 09.04.2024.
32. Долгий А. И., Корниенко К. И., Морозов В. В., Ольгейзер И. А., Соколов В. Н., Хатламаджиян А. Е. Система автоматизации роспуска вагонов для перевозки опасных грузов // Пат. RU 2841792 С1; заявл. 17.12.2024; опубл. 17.06.2025.
33. Ольгейзер И. А., Суханов А. В., Корниенко К. И., Боровлев П. В. Устройство счета и контроля расцепа вагонов // *Автоматика, связь, информатика*. – 2024. – № 5. – С. 9–11. DOI: 10.62994/AT.2024.5.5.001.
34. Стационарный комплекс контроля свободности пути / В. В. Батраков, Е. Н. Розенберг, Е. Е. Шухина // Пат. 210466 U1 Рос. Федерация; заявл. 06.12.2021; опубл. 18.04.2022, Бюл. № 11.
35. Долгий А. И., Катаенко А. А., Корниенко К. И., Удалов А. М., Хатламаджиян А. Е., Шапекин А. Е., Ярнов П. Е. Система речевого информирования машиниста // Пат. RU 2849038 С1; заявл. 21.04.2025; опубл. 22.10.2025.
36. Бояринова Н. А., Воронин В. А., Куваев С. И., Марков А. В., Озеров А. В., Розенберг Е. Н. Устройство передачи управляющих команд автоматической локомотивной сигнализации в рельсовые цепи централизованной системы автоблокировки // Пат. RU 2834089 С1; заявл. 23.07.2024; опубл. 03.02.2025.
37. Батраев В. В., Бояринова Н. А., Ипатов С. В., Куприенко О. Ю., Репин Д. Р., Шухина Е. Е. Устройство определения местоположения и маршрута следования поезда // Пат. RU 2836929 С1; заявл. 24.09.2024; опубл. 24.03.2025.
38. Бояринова Н. А., Дежков М. А., Марков А. В., Озеров А. В., Розенберг Е. Н. Система поддержания интервала разграничения между последовательно движущимися поездами // Пат. RU 2839168 С1; заявл. 26.08.2024; опубл. 28.04.2025.
39. Козловский А. П., Халевин Д. Ю., Приходько А. А., Бутым М. Н. Имитационное моделирование развития инфраструктуры ЖАТ // *Автоматика, связь, информатика*. – 2025. – № 12. – С. 6–10. DOI: 10.62994/AT.2025.12.12.001.
40. Тимонин А. Н. Обзор инструмента имитационного моделирования AnyLogic // *Информационные технологии в образовании*. – 2021. – № 4. – С. 231–237.
41. Долгий А. И. Технологии интенсивного развития ОАО «РЖД» – эффективный ответ на современные вызовы // *Железнодорожный транспорт*. – 2025. – № 7. – С. 6–15.
42. Розенберг Е. Н., Дежков М. А., Новиков В. Г. Применение технологии виртуальной сцепки на Восточном полигоне // *Автоматика, связь, информатика*. – 2025. – № 8. – С. 7–11. DOI: 10.62994/AT.2025.8.8.002.
43. Батраев В. В., Вуцан Д. Г., Долгий А. И., Розенберг Е. Н., Сафронов Р. А., Сорокина Н. В., Шухина Е. Е. Система автоматизированного управления движением поездов // Пат. RU 2850929 С1; заявл. 03.06.2025; опубл. 17.11.2025.

44. Куприенко О. Ю., Батраев В. В., Маршов С. В., Ипатов С. В. Определение местоположения поезда в условиях работы систем РЭБ // *Железнодорожный транспорт*. – 2025. – № 7. – С. 36–39.
45. Безродный Б. Ф., Иванин И. И. Особенности обеспечения безопасности информации в системах ЖАТ // *Автоматика, связь, информатика*. – 2025. – № 5. – С. 17–19. DOI: 10.62994/AT.2025.5.5.004.
46. Кукушкин С. С., Розенберг Е. Н., Озеров А. В. Искусственный интеллект как основа обеспечения комплексной защиты информации в системах обеспечения безопасности железнодорожного движения. Теория и практика его реализации // *Искусственный интеллект. Теория и практика*. – 2025. – № 1 (9). – С. 79–87.
47. Алиев В. А., Озеров А. В., Бочков А. В. Научный обзор: технологии высоких скоростей в железнодорожном транспорте // *Интеллектуальный транспорт*. – 2025. – Т. 9, № 3 (35). – С. 54–66.
48. Озеров А. В., Баранов А. Г. Автоматизированная система диспетчерского управления для высокоскоростного движения // *Интеллектуальные транспортные системы: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф.* – М., 2025. – С. 361–364.
49. Ковалев С. М., Котенко И. В., Родзин С. И. и др. Аналитический обзор трудов конференции ПТИ-25 // *Вестник Рост. гос. ун-та путей сообщения*. – 2025. – № 4 (100). – С. 108–150. DOI: 10.46973/0201-727X_2025_4_108.
50. Павелина Ю. А., Попов И. Ю. Метод коллективного анализа внешней среды автономными агентами в условиях неполноты данных на основе алгоритма жуков-усачей // *Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики*. – 2025. – Т. 25, № 6. – С. 1160–1167. DOI: 10.17586/2226-1494-2025-25-6-1160-1167.
51. Медведев А. А. Синтетическая аугментация данных как способ повышения точности голосового управления беспилотными локомотивами // *Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта: материалы Междунар. науч.-практ. конф.* – Екатеринбург, 2025. – С. 63–66.
52. Долгий А. И., Ковалев С. М. Структурно-чувствительный подход к организации интеллектуального мониторинга на основе нечетких эволюционирующих моделей // *XXII национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2025): тр. конф.* – СПб., 2025. – С. 33–42. DOI: 10.15622/rcai.2025.034.
53. Вуколов А. В., Кудюкин В. В., Кузьмин В. С., Семенов А. Н., Хакиев З. Б., Хатламаджиян А. Е. Способ ультразвукового дефектоскопического контроля колес железнодорожного подвижного состава // Пат. RU 2843501 С1; заявл. 24.02.2025; опубл. 14.07.2025.
54. Розенберг Е. Н., Новиков В. Г. Децентрализованная архитектура систем управления движением поездов, использующих цифровой радиоканал передачи данных // *Образование и наука в развитии технологий, экономики, общества: материалы докл. 58-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвящ. 60-летию УО «ВГТУ»*: в 2 т. – Витебск, 2025. – С. 378–381.
55. Павловский А. А., Величко Р. А., Белкин Д. В., Михайлов А. А. Концептуальные вопросы формирования и использования среды общих данных для применения технологий информационного моделирования в ОАО «РЖД» // *Экономика железных дорог*. – 2025. – № 12. – С. 85–99.
56. Павловский А. А., Величко Р. А., Шеронова Т. Н., Белкин Д. В., Михайлов А. А. Концептуальные положения разработки, внедрения и применения корпоративной системы классификации для технологии информационного моделирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта // *Экономика железных дорог*. – 2025. – № 2. – С. 26–40.

YEAR OF DIGITAL TRANSFORMATION OF RAILWAYS: RESULTS OF THE WORK OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL COUNCIL OF JSC «NIIAS» IN 2025

Alexander V. Bochkov, Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary, JSC «NIIAS», Moscow, Russia,
E-mail: a.bochkov@vniias.ru

ABSTRACT

The article provides a detailed review of the work of the Scientific and Technical Council of JSC «NIIAS» in 2025: from strategic planning and discussion of the fundamental foundations of robotics to solving applied engineering problems. Special attention in 2025 was paid to the implementation of unmanned control, artificial intelligence systems and cybersecurity technologies in railway infrastructure. The review records key achievements in the field of asset monitoring, station digitalization and high-speed rail design. The conclusions of this article emphasize the importance of scientific expertise and the defense of dissertations for forming the methodological basis of future innovations. The review presents a comprehensive analysis of the process of transforming railways into a high-tech digital environment. References are provided to publications of JSC «NIIAS» for 2025, which elaborate on the issues mentioned in the review.

Keywords: digital transformation of railway transport, Scientific and Technical Council (STC), robotics, unmanned control, artificial intelligence (AI), functional safety, cybersecurity, big data, predictive analytics, NB-IoT, virtual coupling (VCU), high-speed rail (HSR), railway infrastructure monitoring, standardization, scientific expertise.

