

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ, ЦИФРОВИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Бочков А.В.^{1,а}, Долгий А.И.^{1,б}, Зажигалкин А.В.^{1,2,с}, Розенберг Е.Н.^{1,д},
Суханов А.В.^{1,е}, Хатламаджиян А.Е.^{1,ф}, Чернуха А.В.^{1,г}

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), Москва, Россия

² Ассоциация «Транспортная наука», Москва, Россия

E-mail: ^а a.bochkov@vnias.ru, ^б a.dolgiy@vnias.ru, ^с zashigalkin@mail.ru, ^д S.Lavruhina@vnias.ru,
^е a.suhanov@vnias.ru, ^ф a.hatlamadzhian@vnias.ru, ^г a.chernuha@vnias.ru

Аннотация. В работе систематизированы результаты научно-практической конференции «PRO//Движение. Транспортные системы управления» (18–20 августа 2026 г., г. Нижний Новгород), посвященной цифровизации перевозочного процесса, искусственному интеллекту и роботизации железнодорожного транспорта. В конференции приняли участие представители руководства холдинга «Российские железные дороги», научного отраслевого комплекса, а также производственных предприятий – руководители, ученые и инженеры. Рассмотрены целевая модель управления грузопотоками, проект «Цифровая железнодорожная станция», технологии виртуальной сцепки, технического зрения, прогнозной диагностики и физического искусственного интеллекта. Особое внимание уделено роли научной деятельности АО «НИИАС» в формировании единой архитектуры данных, моделей и исполнительных систем, а также вопросам функциональной безопасности, экономической эффективности и тиражирования разработок. Обсуждены перспективы развития искусственного интеллекта в железнодорожной отрасли.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, цифровая станция, управление движением, искусственный интеллект, техническое зрение, робототехника, цифровой двойник, функциональная безопасность.

Введение: контекст и значение конференции

Состоявшаяся в Нижнем Новгороде международная научно-практическая конференция и выставка «PRO//Движение. Транспортные системы управления»¹ стала ключевым отраслевым событием года, собрав более 600 участников – представителей руководства ОАО «РЖД», ведущих научно-исследовательских институтов, производителей оборудования и разработчиков систем управления движением.

В выступлении первого заместителя генерального директора ОАО «РЖД»

Для цитирования:

Бочков А.В., Долгий А.И., Зажигалкин А.В., Розенберг Е.Н., Суханов А.В., Хатламаджиян А.Е., Чернуха А.В. Современное состояние систем интеллектуализации, цифровизации и роботизации отечественного железнодорожного транспорта. *Интеллектуальный транспорт*. 2026. № 3(39). С. 115–158. DOI: 10.24412/3033-6007-2026-339-115-158.

¹<https://tcs-forum.ru/> [Дата последнего обращения: 3.09.2026]

Сергея Алексеевича Кобзева к приоритетным задачам отрасли были отнесены повышение скоростей движения, точности перевозок и уровня комфорта пассажиров. Решение указанных задач требует совершенствования методов управления перевозочным процессом и координации деятельности производственных и научно-исследовательских организаций.

В рамках конференции работало восемь тематических сессий, охватывающих все аспекты цифровой трансформации железнодорожного транспорта: от фундаментальных вопросов управления движением до применения искусственного интеллекта и роботизации. С учетом рубрик сетевого научно-практического журнала «Интеллектуальный транспорт» наибольший научный интерес представляют сессии, на которых обсуждались стратегические направления развития систем управления, интеллектуальные технологии, цифровое управление перевозочным процессом и роботизация производственных процессов. Современные системы интервального регулирования, беспилотные системы и вопросы функциональной безопасности, затронутые на отдельных сессиях конференции, заслуживают самостоятельной обзорной работы. Настоящий обзор систематизирует ключевые тезисы этих сессий.

Материалы конференции целесообразно рассматривать в разрезе трех взаимосвязанных элементов единого контура управления перевозочным процессом. Первый элемент образуют средства получения достоверной цифровой информации: напольные и бортовые устройства, системы счета осей, диагностики, технического зрения и мониторинга. Второй элемент включает модели планирования и поддержки решений: автоматизированную систему ведения графика исполненного движения нового поколения (АС ГИД НП), «Альфа-Модель», цифровые двойники и интеллектуальные алгоритмы прогнозирования. Третий элемент связан с исполнением сформированных заданий: автоматическим ведением поездов, цифровой централизацией, роботизированными комплексами и автономными локомотивами. Именно замыкание этих элементов в единый контур отличает цифровую трансформацию от простой установки разрозненных технических средств [1–3].

Общим для всех сессий вопросом, отдельно рассмотренным на завершающей сессии конференции, являлось обеспечение доверия к автоматизированным решениям. Для железнодорожного транспорта недостаточно показать высокую точность алгоритма в лабораторных условиях. Необходимо доказать полноту и своевременность данных, объяснимость рекомендаций, устойчивость связи, функциональную безопасность интеллектуальной системы, возможность резервного управления и экономическую целесообразность на всем жизненном цикле. Поэтому в докладах постоянно пересекались инженерная, информационная, организационная и нормативная проблематика доверия к системам управления транспортом. Результативность внедрения определяется согласованием указанных составляющих в рамках единой архитектуры, а не характеристиками отдельного технического решения. Здесь стоит отдельно отметить работы под руководством Е. Розенберга, И. Шубинского и К. Бочкова, на которые неоднократно ссылались при обсуждении вопроса безопасности перевозочного процесса [4–7].

Настоящая статья построена следующим образом. В разделе 1 рассмотрены стратегические направления развития систем управления железнодорожным транспортом, обозначенные на пленарном заседании конференции. Раздел 2 обобщает результаты транспортной интеллектуализации, раздел 3 –

цифровизации, раздел 4 – роботизации. В завершающем разделе даны выводы и дальнейшие направления исследований и разработок в области управления отечественным железнодорожным транспортом.

1. Стратегические приоритеты развития систем управления движением

1.1. Общая характеристика пленарного заседания

Пленарное заседание обозначило стратегические приоритеты развития интеллектуализации и роботизации систем управления движением на ближайшие годы. В центре внимания оказались проекты, направленные на повышение пропускной и провозной способности железнодорожной сети, снижение эксплуатационных затрат и повышение безопасности перевозочного процесса. Ключевым тезисом, прозвучавшим в выступлениях, стал переход от фрагментарной автоматизации отдельных процессов к созданию единой цифровой экосистемы управления перевозками.

Помимо первого заместителя генерального директора ОАО «РЖД» в пленарной сессии приняли участие министр транспорта и автомобильных дорог Нижегородской области Л. Самухин, управляющий директор дивизиона «Железнодорожная автоматика и телемеханика» группы компаний (ГК) «Нацпроектстрой» К. Хромушкин, генеральный директор АО «НИИАС» А. Долгий, управляющий директор по развитию интеллектуальных систем управления АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ) А. Романчиков, президент ГК «Промэлектроника» И. Тильк и председатель совета директоров Курского электроаппаратного завода (КЭАЗ) А. Канунников. Модератором сессии выступила ведущая РЖД ТВ М. Ожерельева.

1.2. Технологии управления движением на Восточном полигоне и ВСМ

Значительное внимание на пленарной сессии было уделено Восточному полигону – стратегически важному направлению, которое обеспечивает связь с восточными регионами страны и внешними рынками. Сергей Алексеевич Кобзев в своем докладе привел показатели интенсивности перевозок: грузонапряженность Забайкальской железной дороги составляет более 180 млн тонн в год, что является рекордным показателем в мировой практике. Каждые 7 минут по Транссибу идет грузовой поезд, что создает серьезную нагрузку на инфраструктуру.

Для решения задачи обслуживания инфраструктуры в условиях такой интенсивности движения была разработана технология виртуальной сцепки [8]. Эта технология базируется на ранее разработанных и апробированных системах автоведения грузовых поездов. В пассажирском движении автоведение применяется уже несколько десятков лет, но для грузового движения потребовалось сочетание не только «умного» локомотива, но и «умных» устройств автоматики и телемеханики, а также согласование движения нескольких поездов одновременно. Международные исследования связывают виртуальную сцепку и подвижный блок с изменением принципов интервального регулирования, требований к связи и оценки безопасности в отказных режимах [9].

Сергей Алексеевич Кобзев сообщил, что были проведены опытные

поездки с пятью поездами, и сейчас есть техническая возможность сократить интервал между поездами до минимума, обеспечив синхронное вождение. Эта технология уже работает в штатном режиме на Восточном полигоне. Более того, генеральный директор ОАО «РЖД» Олег Валентинович Белозеров анонсировал применение этой технологии в пассажирском движении на направлении Москва – Юг, где также необходимо сокращение интервалов попутного следования.

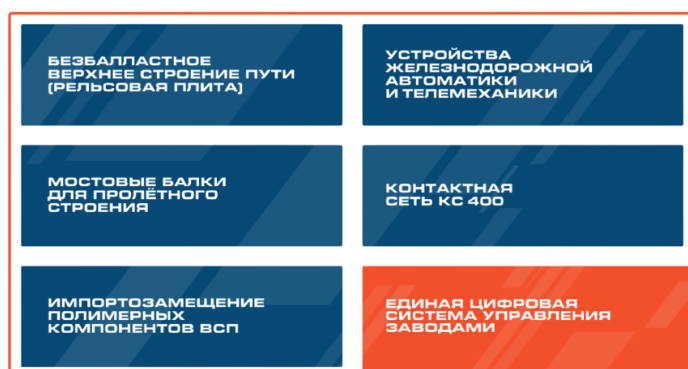
Особое место в дискуссии заняла тема строительства первой в России высокоскоростной магистрали (ВСМ) Москва – Санкт-Петербург. К. Хромушкин рассказал, что «Нацпроектстрой» является одним из ключевых поставщиков систем управления и автоматики для этого проекта (рис. 1). ВСМ задает новые отраслевые стандарты точности и надежности, а все технические решения, применяемые на магистрали, являются полностью отечественными.

РАБОТАЕМ НАД ПРОЕКТАМИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

НПС // ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ
АВТОМАТИКА
И ТЕЛЕМЕХАНИКА

МОСКВА — САНКТ-ПЕТЕРБУРГ. ВСМ

Высокоскоростная железная дорога с движением до 400 км/ч
на участке в 676 км. Минимальное время в пути — 2 часа 15 минут



Дивизион ЖАТ ГК НПС | 2026

Рис. 1. Реализация проектов ВСМ дивизиона «Железнодорожная автоматика и телемеханика» ГК «Нацпроектстрой»

Проект ВСМ предусматривает разработку новых стандартов, материалов и систем организации движения поездов. Участие российских компаний создает условия для накопления компетенций и разработки решений, потенциально применимых на железнодорожных сетях колеи 1520 мм. Сравнение отечественных и зарубежных решений требует оценки по единым техническим и эксплуатационным критериям.

1.3. Новая парадигма управления перевозочным процессом

Генеральный директор АО «НИИАС» А. Долгий в своем выступлении представил видение новой целевой модели управления, которая должна прийти на смену существующим подходам. Современные транспортные системы управления – это не только системы исполнительных устройств, автоматики и диспетчеризации, как это было еще 5–10 лет назад. Сегодня это цифровые комплексы, включая верхнеуровневые системы планирования,

контроля и взаимодействия с различными транспортными системами других отраслей.

Сложившаяся система ключевых показателей эффективности (KPI), которая зачастую стимулирует станции к локальной оптимизации по принципу «передай от себя быстрее и больше», не подходит к современным реалиям. Такая модель может улучшать показатели одной станции, но ухудшать работу соседних и всего полигона в целом. Это приводит к многократным переработкам грузов, излишним простоям, кружности вагонов и, как следствие, росту себестоимости перевозок (рис. 2).

От режимов работы станции — к адаптивному интеллектуальному планированию. Изменение парадигмы управления перевозочным процессом.

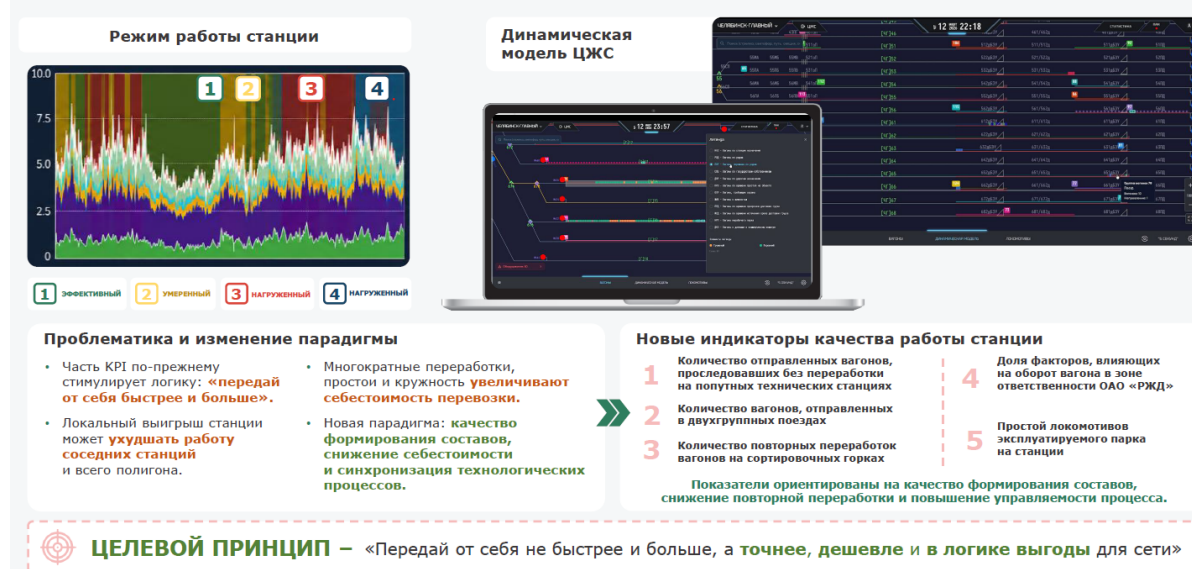


Рис. 2. Решение проблемы локальной оптимизации перевозочного процесса на станциях

В качестве альтернативы АО «НИИАС» предлагает новую систему индикаторов качества работы станции, ориентированную не на валовые объемы, а на качество формирования составов и снижение себестоимости [10–12]. Среди показателей – количество отправленных вагонов, проследовавших без переработки; количество вагонов, отправленных в двухгруппных поездах; количество повторных переработок вагонов; доля факторов, влияющих на оборот вагона в зоне ответственности ОАО «РЖД»; и простой локомотивов эксплуатируемого парка. Целевой принцип здесь звучит как «Передай от себя точнее и дешевле и в логике выгоды для сети», что знаменует переход от локальной оптимизации к глобальной эффективности всей транспортной системы. Методика формирования объективных показателей станции по данным «от колеса» представлена российскими исследователями в работе [12].

Для реализации этой модели предлагается переход к управлению грузопотоками со слежением за каждой элементарной вагоноотправкой. Это достигается через интеграцию АС ГИД НП и «Альфа-Модели» – инструмента прогнозирования и оптимизации (рис. 3). Данная модель предполагает сквозной цифровой контур, где данные непрерывно собираются о состоянии подвижного состава и инфраструктуры, затем на их основе осуществляется интеллектуальное планирование, а завершается цикл роботизированным

исполнением задач, сформированных системой.



Рис. 3. Реализация «Альфа-Модели» в увязке с АС ГИД НП

В докладе уделено внимание вопросу создания единой цифровой платформы управления перевозочным процессом, которая объединит более двух сотен автоматизированных систем, действующих на российских железных дорогах. Эта платформа должна устранить цифровые разрывы и различия в нормативно-справочной информации, создав непрерывный сквозной технологический процесс. Особое значение придается плановой модели движения – так называемому вариантному графику движения. Внедрение этой системы существенно расширило представление о природе транспортного процесса: по каждому поездоучастку сети каждый месяц создается порядка 30 тысяч различных вариантных графиков, включающих полное технологическое обеспечение перевозочного процесса. Научные подходы к устойчивости расписаний, распределению путевой мощности и оперативному разрешению конфликтов подробно представлены в работах [13–16].

1.4. Проект «Цифровая железнодорожная станция» как пилотный полигон новой парадигмы

Ключевым проектом, объединяющим все элементы новой модели управления, является концепция «Цифровая железнодорожная станция» (ЦЖС) на станции Челябинск-Главный [17]. Этот проект, разрабатываемый АО «НИИАС», стал пилотным полигоном для отработки сквозной цифровизации процессов работы станции. К моменту проведения конференции готовность ЦЖС оценивалась в 80%, а ключевая задача на 2026 год – проведение комплексных испытаний.

В рамках проекта на станции тестируются 19 из 24 технических решений. Уже сейчас маршруты на сортировочной станции прокладываются с использованием искусственного интеллекта, вагоны и локомотивы диагностируются «на ходу» с помощью технического зрения, а расцепку составов выполняет

робот (рис. 4). Данные в цифровой двойник станции поступают без ручного ввода напрямую с беспилотных локомотивов и систем мониторинга инфраструктуры. В международной практике возможности цифровых двойников для мониторинга, прогнозного обслуживания и анализа безопасности железнодорожных объектов рассматриваются в исследованиях [18–20].

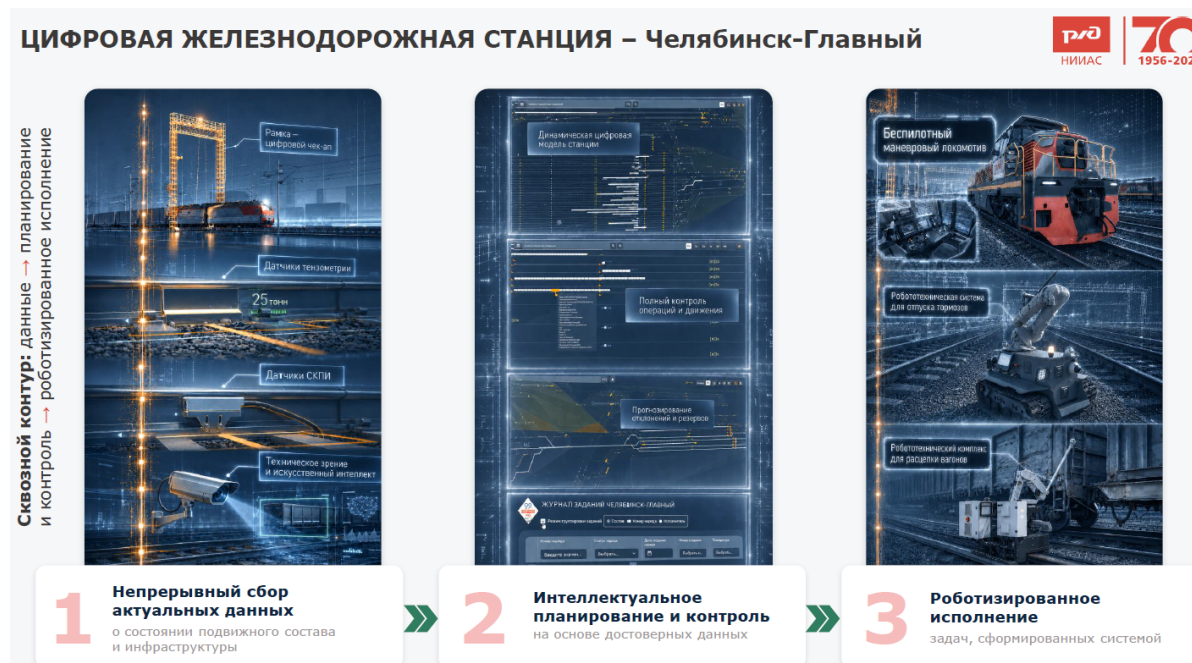


Рис. 4. Концепция ЦЖС в рамках пилотного проекта на ст. Челябинск-Главный

Цифровая станция – это не просто ускорение обработки вагонов, но и снижение издержек, связанных с ошибками персонала. Как первым заместителем генерального директора ОАО «РЖД», так и генеральным директором АО «НИИАС» отмечено, что уровень ошибок и сбоев при цифровой автоматизации радикально ниже, чем на станциях с традиционной организацией труда. По оценкам специалистов, до 15% инцидентов на железнодорожном транспорте связаны с участием человека в технических операциях, а внедрение компонентов ЦЖС позволяет автоматизировать до двух третей операций, сокращая время обработки состава на 50% и повышая при этом перерабатывающую (пропускную) способность станции. Кумулятивный экономический эффект от тиражирования таких решений на сети оценивается в десятки млрд руб. ежегодно. Кроме того, цифровизация позволяет улучшить условия труда работников, освободив их от тяжелого физического труда на путях станции, особенно в наиболее опасных зонах, таких как горб сортировочной горки при расцепке вагонов.

Социальный аспект внедрения цифровых технологий также был затронут в выступлениях. Большая сортировочная станция – это тысячи работающих в смену людей в разных географических широтах и сложных погодных условиях. Тяжелый труд осмотрщиков вагонов, путейцев, составителей поездов, регулировщиков скорости – все это требует автоматизации не только для повышения эффективности, но и для сохранения здоровья и безопасности работников.

Отдельное внимание было уделено роботизированному комплексу для

расцепки вагонов при роспуске составов на сортировочной горке. Этот робот, разработанный АО «НИИАС» в кооперации с российскими роботостроителями, успешно прошел опытную эксплуатацию по одному пути сортировочной горки. За время испытаний робот выполнил более 9 тыс. расцепок вагонов в диапазоне скоростей до 10 км/ч (для сравнения: при ручной расцепке средняя скорость движения состава составляет 5 км/ч). Успешное завершение опытной эксплуатации позволяет перейти к оснащению всех путей станции и подготовке к приемочным испытаниям, а в дальнейшем – к тиражированию технологии на крупнейшие сортировочные станции сети, такие как Инская, Кинель, Входная и им. Максима Горького.

1.5. Транспортная автоматизация

В выступлении А. Романчикова автоматизация была показана как система взаимосвязанных инфраструктурных и бортовых компонентов (рис. 5). Инфраструктура формирует ограничения и разрешения на движение, а бортовой комплекс должен помочь машинисту соблюдать допустимую скорость, обеспечить торможение и контролировать состояние машиниста. Такой принцип особенно важен при сокращении межпоездных интервалов: рост пропускной способности допустим только при одновременном повышении точности определения местоположения, надежности обмена данными и быстродействия управляющих воздействий.

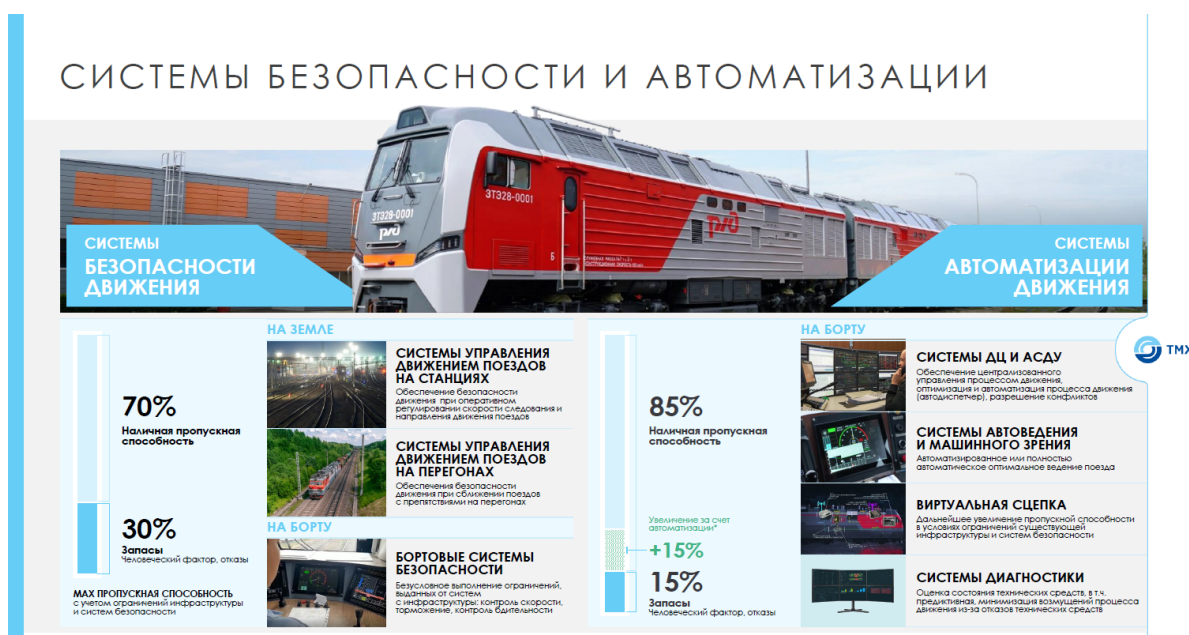


Рис. 5. Комплексная автоматизация на базе проектов «Трансмашхолдинг»

Совместно с АО «НИИАС» была разработана модернизированная отечественная бортовая система безопасности БОРТ-Р. В материалах отмечено прохождение приемочной комиссии и опытной эксплуатации на электровозах 2ЭС5К «Ермак» и электропоездах ЭП2ДМ. В июне 2026 года первый серийный комплект бортового комплекса предиктивной диагностики был установлен на электровоз 3ЭС5К. По представленным оценкам, комплекс способен выявлять до 43% отказов первой и второй категорий по диагностируемому оборудованию. В отличие от регламентного обслуживания, ориентированного

на усредненный ресурс, такая диагностика создает основу для ремонта по фактическому состоянию.



Рис. 6. Результаты деятельности ТМХ за 2025–2026 гг.

Наиболее зрелым примером интеграции назван комплекс виртуальной сцепки и автоведения (рис. 6). В презентационных материалах сообщалось, что в 2026 году применение виртуальной сцепки на Транссибе выросло на 16%, объем перевозок – на 7,6%, а количество тяжеловесных поездов – на 20,2%. Системами виртуальной сцепки было оборудовано 2435 электровозов. Эти показатели важны тем, что характеризуют уже не единичную демонстрацию, а масштабируемую технологию, влияние которой проявляется на уровне полигона.

Дальнейшая программа ТМХ включает применение близких принципов в проектах МЦД-4, беспилотного БАМа, цифровой железнодорожной станции и высокоавтоматизированных маневровых локомотивов ТЭМ23 с функцией «Автомашинист» совместно с АО «НИИАС».

1.6. Отечественная компонентная база и эксплуатационная устойчивость

Доклады КЭАЗ и ГК «Промэлектроника» дополнили обсуждение практическими вопросами технологического суверенитета. КЭАЗ представил комплекс энергоснабжения постового оборудования железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: вводные устройства фидеров, комплектные распределительные устройства, системы бесперебойного питания, шкафы с изолирующими трансформаторами, средства технической диагностики и мониторинга. Заявленный уровень локализации достигает 96%, а оборудование рассчитано на эксплуатацию при температурах от -60 до $+60$ °С, вибрационных и ударных воздействиях, характерных для транспортной инфраструктуры.

Пример КЭАЗ показывает, что суверенность определяется наличием полного цикла проектирования и производства, отраслевой сертификации, ремонтной базы, запасных частей, типовых проектных решений и специа-

листов, способных сопровождать оборудование десятилетиями. Работа над альбомом типовых схем низковольтных комплектных устройств позволяет унифицировать проектирование и снизить риск появления уникальных, трудно обслуживаемых конфигураций на каждой станции.

Президент ГК «Промэлектроника» И. Тильк связал развитие автоматики с пятью ограничениями: дефицитом квалифицированного персонала, сокращением финансирования строительства и обслуживания средств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), уходом зарубежных поставщиков, быстрым изменением технологий и необходимостью осторожного применения радиосвязи и спутниковой навигации. В качестве ответа были представлены бесконтактное устройство контроля схода подвижного состава, комплекс технических средств автоматического закрепления, объектные контроллеры и решения для малодеятельных линий.

В докладе показана перспективная концепция «цифрового грузового вагона», которая предполагает объединение вагонных датчиков в поездную сеть (рис. 7).

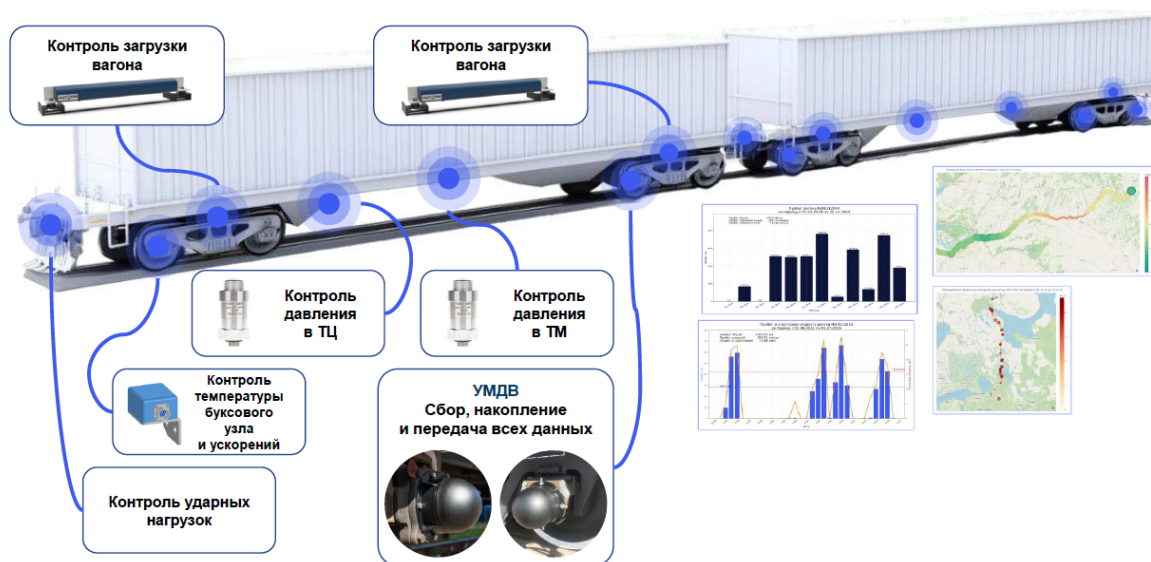


Рис. 7. Иллюстрация концепции цифрового вагона

Машинист и управляющая система получают сведения о состоянии тормозной магистрали, нагреве узлов, целостности состава и других параметрах в ходе движения, а не только при осмотре на станции. При реализации такой концепции вагон становится активным источником данных для цифрового полигона. Это принципиально меняет диагностику: решение о дальнейшем следовании, ограничении скорости или выводе вагона из состава может приниматься на основании непрерывной истории состояния.

2. Интеллектуализация железнодорожного транспорта

2.1. Искусственный интеллект как сквозная технология

В отличие от других сессий конференции, где акцент делался на аппаратных решениях, в центре внимания сессии по искусственному интеллекту (ИИ) оказались метаалгоритмы, нейросетевые модели и их интеграция в различные аспекты железнодорожной деятельности. Доклады показали, что искусственный интеллект на российских железных дорогах перешел из стадии научных экспериментов в фазу системного промышленного внедрения. Стоит отметить, что на международной арене современная классификация таких применений и вопросы нормативного регулирования обобщены в работах [2, 3, 21].

По оценке компании Baker McKenzie, к концу 2025 года только в сфере генеративного ИИ в мире активно развивалось более 10 000 проектов. Инвестиции в США на 2026 год запланированы на уровне около 745 млрд долларов только у четырех основных гигантов, в Китае – около 100 млрд долларов. Россия также увеличивает объемы инвестиций. Модератор сессии (А. Зажигалкин) подчеркнул, что искусственный интеллект становится реально работающей технологией, поскольку крупные финансовые компании инвестируют в это направление. Следовательно, искусственный интеллект сегодня – технология, которая уже приносит определенные эффекты и возврат инвестиций.

Вместе с тем А. Зажигалкин обозначил и риски, связанные с развитием ИИ: существенные риски юридического, этического и управленческого плана. Упомянут эффект сингулярности в области искусственного интеллекта, когда ИИ начнет самостоятельно управлять технологическими и иными процессами, оттесняя человека от соответствующих функций. При этом участники сессии сосредоточились на более прикладных вопросах: насколько ИИ пригоден, интересен и эффективен для реализации технологий в сфере железнодорожного транспорта.

2.2. Корпоративная система поддержки деятельности на основе LLM

Генеральный директор АО «ВНИИЖТ» С. Виноградов представил подход института к внедрению больших языковых моделей (LLM) в основные рабочие процессы. Корпоративная система на основе LLM получила наименование «СоТрудник» (рис. 8).

В докладе отмечены высокая скорость обработки типовых задач и сравнительно низкая стоимость вычислительных операций. Одновременно указаны ограничения универсальных языковых моделей: нестабильность результатов при смене предметной области, отсутствие знаний о внутренних процессах института и необходимость экспертной проверки сформированных материалов. Приведенные в докладе показатели производительности требуют верификации на репрезентативном наборе производственных задач.

Предложена архитектура корпоративной системы, включающая три компонента:

- **Память** – библиотека института с отчетами, статьями и стандартами с поддержкой семантического поиска;

- **Интерфейс** – унифицированный механизм доступа к корпоративным системам;
- **Правила** – методики и регламенты, определяющие порядок обработки запросов и ограничения моделей.

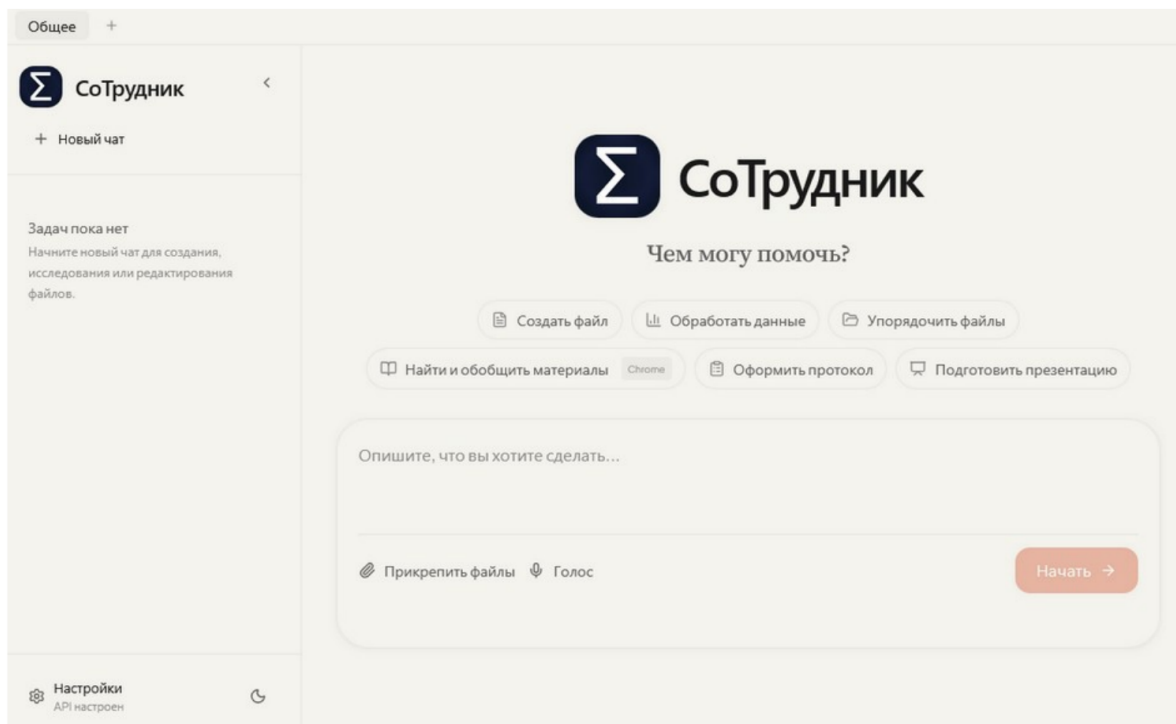


Рис. 8. Интерфейс «СоТрудник»

Разделение прикладного контура и базовой языковой модели позволяет обновлять модель без перестройки базы знаний, интерфейсов и регламентов. К заявленным областям применения системы относятся поиск в нормативных документах, обработка результатов измерений и испытаний, подготовка отчетных материалов, анализ изображений дефектов рельсов, а также разработка и корректировка программного кода в защищенном контуре. Результаты, сформированные системой, подлежат проверке профильным специалистом.

Также представлена система «СИГМА», реализующая многоагентный анализ сложных производственных задач (рис. 9). Для формирования заключения используются специализированные программные агенты, представляющие различные предметные области, включая локомотивное и путевое хозяйство, системы сигнализации, централизации и блокировки, психологию и технологии перевозочного процесса. Итоговое заключение имеет рекомендательный характер и утверждается ответственным специалистом.

В качестве следующего этапа внедрения заявлена интеграция платформы с процессами делопроизводства и проектного управления АО «ВНИИЖТ».

2.3. Физический искусственный интеллект и биоморфные роботы

В докладе заместителя генерального директора АО «НИИАС» А. Хатламджияна отмечено важное концептуальное различие между тремя типами ИИ (рис. 10).

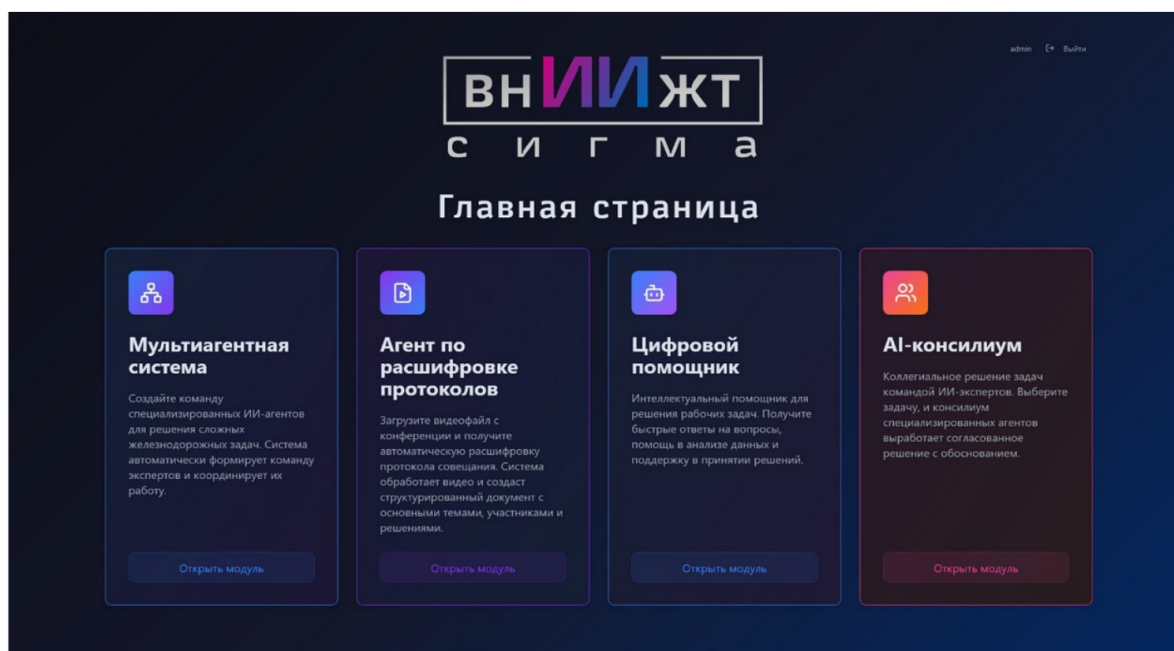


Рис. 9. Интерфейс «СИГМА»



Рис. 10. Три типа искусственного интеллекта для ж-д. транспорта

Именно физический ИИ является следующим большим рубежом, поскольку он не просто «думает», а действует через мехатронные устройства, воспринимает мир через сенсоры, понимает физические свойства и контекст окружения и использует механизмы для взаимодействия с объектами. Ключевое преимущество подхода – создание независимого от аппаратной части интеллекта: один и тот же универсальный физический ИИ может управлять различными роботами, от точной сборки на конвейере до автономной логистики на складе.

В докладе приведены аналитические прогнозы: к 2050 году рынок роботов может достичь 5 триллионов долларов, а количество роботов-андроидов в мире вырастет до 1 миллиарда. Применительно к ОАО «РЖД» это означает около 70 тысяч роботов, что делает создание универсального «мозга» для них одной из ключевых технологических задач десятилетия.

В ОАО «РЖД» уже определены этапы создания физического ИИ и биоморфных роботов:

1. Разработка ядра физического ИИ;
2. Создание опытных образцов с использованием покупных антропоморфных роботов (Unitree, UBTech, AIdol);
3. Проведение испытаний в реальных условиях.

В качестве примеров применения биоморфных роботов приведено их использование в транспортной полиции, для контроля состояния грузовых вагонов при выходе из ремонта и для автоматизации контроля пассажирских вагонов на входе и выходе из ремонта (рис. 11).



Рис. 11. Существующая реализация физического ИИ для ж.-д. транспорта

Первоочередными площадками внедрения антропоморфных роботов с физическим ИИ определены вагоноремонтные предприятия, сортировочные станции, пункты технического обслуживания, терминально-складские комплексы и вокзалы.

Спектр заменяемых профессий широк: от инспекторов вагонов и соста-

вителей поездов до слесарей, экипировщиков и работников информационных стоек. В докладе также представлена мировая практика создания центров обучения роботов (фабрик компетенций) в Китае, Германии, США и России (Сбер, Яндекс) (рис. 12) и обоснована необходимость создания отраслевого Центра обучения роботов ОАО «РЖД», который будет учить роботов быть именно «железнодорожниками» – безопасно, по регламенту и в реальных условиях эксплуатации.



Рис. 12. Мировой опыт обучения роботов

2.4. Применение методов ИИ в жизненном цикле систем ЖАТ: от технологического ПО до организации движения

В докладе М. Фомина, ИТ-директора дивизиона «Железнодорожная автоматика и телемеханика» ГК «Нацпроектстрой», выделены четыре области применения методов ИИ в жизненном цикле систем ЖАТ:

- цифровое проектирование инфраструктуры;
- диспетчеризация и управление движением;
- киберзащита критической инфраструктуры;
- управление техническим обслуживанием.

В первой области эффект связан с исключением ручного преобразования проектной документации, в последней – с накоплением данных об износе для планирования обслуживания по состоянию.

Основная часть доклада посвящена интеллектуальной системе управления перевозочным процессом (ИСУПП). Показана эволюция систем от контроля и управления объектами ЖАТ через диспетчерскую централизацию к уровню, включающему управление расписанием, автоматическое слежение за поездом, прогнозирование движения и разрешение конфликтов. В сопоставлении с зарубежными системами по пяти функциям – управление расписанием (TM), автоматическая установка маршрутов (ARS), разрешение конфликтов (CR),

автоматическое слежение (АТТ) и прогнозирование (ТФ) – заявлена полная реализация всех функций, тогда как у ряда аналогов реализация частичная.

Функциональность ИСУПП включает непрерывный мониторинг поездного положения, автоматическую установку маршрутов, контроль выполнения расписания, прогнозирование движения и предиктивное обнаружение конфликтов. Разрешение конфликтов выполняется методами машинного обучения с учетом технико-распорядительных актов станций, категорий поездов, приоритетов и текущих ограничений инфраструктуры; система работает в режиме автодиспетчера, периодически пересчитывая прогнозный график и формируя варианты устранения конфликтов. Постановка задач переупорядочения и перемаршрутизации поездов в реальном времени и би-критериального разрешения конфликтов изложена в [1,14,16]; отечественный опыт мультиагентного планирования и автоматической установки маршрутов на Московском центральном кольце (МЦК) описан в [22].

Второй блок доклада – применение больших языковых моделей при разработке технологического программного обеспечения систем ЖАТ на специализированных языках ЯЗОП и СТОЯЗ (рис. 13).

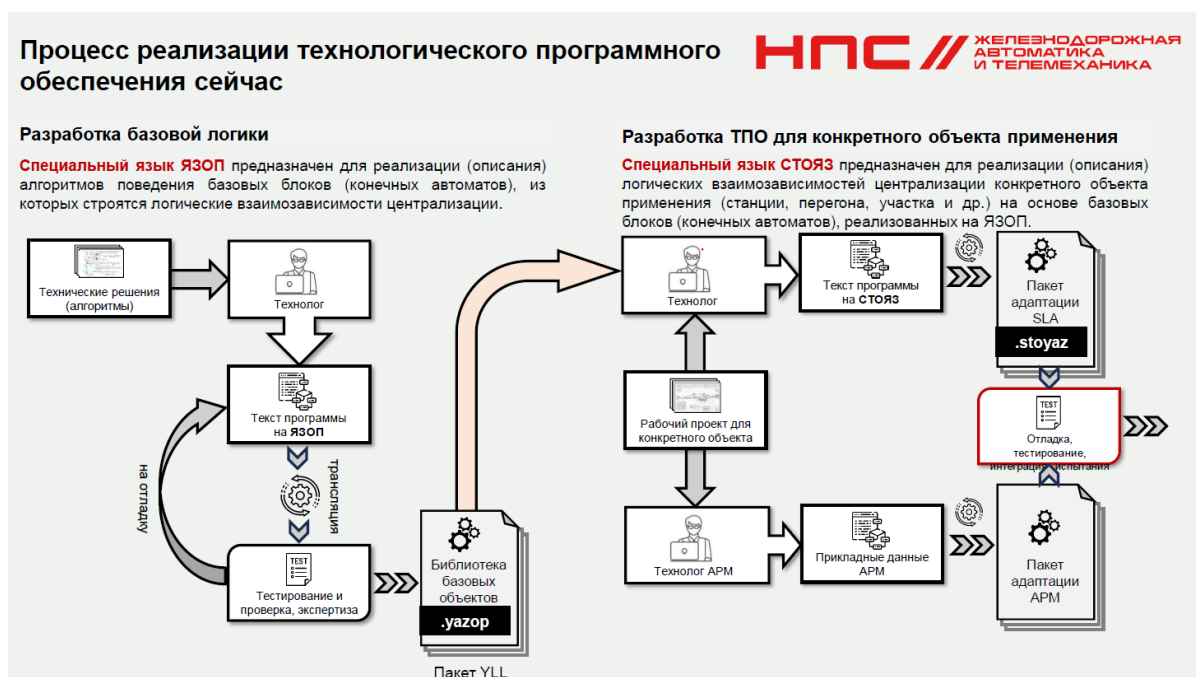


Рис. 13. Процесс реализации ПО ЖАТ на специализированных языках ЯЗОП и СТОЯЗ

Модели используются как ассистенты и как агенты, генерирующие и адаптирующие код под конкретный объект. В пилотном проекте трудоемкость разработки сокращена с 5 800 до 44 часов, а продуктовая ценность внедрения ИИ оценена в 30%. Возможности языковых моделей в задачах генерации кода исследованы в [23]. Для программного обеспечения, влияющего на безопасность движения, сгенерированный код в любом случае подлежит независимой верификации и валидации по требованиям признанных стандартов, поэтому эффект относится к сокращению трудоемкости разработки, а не к сокращению доказательной базы.

2.5. Информационная безопасность систем искусственного интеллекта

А. Малявкин, руководитель департамента услуг по информационной безопасности АО «Компания ТрансТелеКом», рассмотрел нормативную базу применения ИИ в Российской Федерации^{2,3}.

Из доклада следует, что нейросетевая модель является информационной системой, которую необходимо защищать и от которой необходимо защищаться. Выделены пять групп рисков применения больших языковых моделей: утечки данных (персональные данные, коммерческая тайна, токены, пароли); промпт-инъекции, прямые и не прямые [24]; злоупотребления агентов, включая генерацию недопустимого контента и отравление модели; «теневой ИИ» – неучтенные сервисы вне контроля подразделения информационной безопасности; несоответствие требованиям регуляторов. Классические средства защиты анализируют трафик и структурированные данные по сигнатурам, поэтому вход и выход модели без специализированного контроля остаются незащищенной зоной.

В докладе предложена трехуровневая модель защиты (рис. 14).



Рис. 14. Многоуровневая модель защиты систем на основе больших языковых моделей

В качестве средств названы шлюзы и межсетевые экраны для LLM, обеспечивающие фильтрацию промптов и аудит, поиск уязвимостей на стадиях обучения и эксплуатации, платформы AI Security и методика OWASP Top 10 for LLM Applications⁴. Рекомендуемая последовательность внедрения: аудит ИИ-систем (инвентаризация моделей, агентов и точек интеграции), определение ограничений использования ИИ, закрепление требований в политиках, моделях угроз и регламентах доступа, внедрение средств контроля. Отечественные подходы к киберзащите централизаций и к применению ИИ при

²Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (с Национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года).

³Федеральный закон № 243-ФЗ «О поддержке развития технологий искусственного интеллекта».

⁴OWASP Top 10 for Large Language Model Applications, version 2025. OWASP Foundation. <https://owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications/>

функциональном тестировании критической инфраструктуры представлены в [25, 26].

2.6. Техническое зрение и предиктивная диагностика инфраструктуры

Е. Павлов, первый заместитель генерального директора АО «ЭЛТЕЗА», в докладе «Применение нейромоделей и технического зрения на объектах инфраструктуры» обосновал переход от массового к гибкому и интеллектуальному производству, в котором скорость реакции на изменения становится основным конкурентным параметром. Представлена архитектура ИИ-ядра систем технического зрения на сверточных сетях, детекторах и трекерных архитектурах и приведены задачи для транспорта: обнаружение препятствий на переездах, контроль инцидентов на эскалаторах, платформах, в тоннелях и на мостах. Для производственных площадок описаны обнаружение дефектов на поверхности изделий, прогнозное обслуживание оборудования, контроль соблюдения требований охраны труда (каска, перчатки, очки, процедуры), обнаружение людей в слепых зонах техники и контроль заполняемости участков. Систематизация методов компьютерного зрения для железнодорожных задач дана в [27–32].

По одной из внедренных систем за 6 месяцев идентифицировано 180 тыс. транспортных средств, 14 тыс. человек и 1 тыс. животных, зафиксировано 23 факта несанкционированного проезда через закрытый переезд и 2 случая остановки на путях по неисправности; время подготовки отчета по инциденту сокращено до 1 минуты, оператор подключается только к тревожным событиям (рис. 15). Отличительные свойства решений: устойчивость к условиям съемки за счет мультисенсорного подхода и ансамбля моделей; исполнение на периферийных вычислителях, при котором данные не покидают инфраструктуру заказчика; интеграция без модернизации линий связи; аппаратное резервирование; открытость архитектуры для замены моделей – от сверточных сетей до VLA-агентов.

А. Лохач, начальник департамента информационно-аналитических систем АО «Фирма ТВЕМА», представил направления применения ИИ в диагностике инфраструктуры. Компания поставила более 400 мобильных и 5 000 ручных средств диагностики; ежегодно проверяется более 3,6 млн км пути в 43 странах. Показана эволюция от ручных методов к автоматизированной обработке с применением ИИ и больших данных, включая пилотные проекты с VK Tech. Примеры задач: обработка данных видеоконтроля (шпалы, крепления, накладки, болты, зазоры, поверхностные дефекты рельсов), данных путеизмерителя (автоматическое измерение параметров стрелочных переводов), данных неразрушающего контроля рельсов (автоматическое определение дефектов) и георадиолокации (загрязненность балластной призмы, состояние земляного полотна).

Основная часть доклада посвящена Единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой – системе диагностики и мониторинга инфраструктуры (ЕК АСУИ СДМИ), в которой реализован прогноз бокового износа рельсов в кривых. На основе накопленных данных (1 ПБ за 6 лет, 1 134 сервера в Главном вычислительном центре ОАО «РЖД» (ГВЦ)) определяется дата достижения предельных значений износа, участки ранжируются по прогнозным величинам и формируются планы замены и



Рис. 15. Архитектура и результаты эксплуатации системы технического зрения на переезде (АО «ЭЛТЕЗА»)

переукладки рельсов. Эффект за прошедший год оценен в 512 км сэкономленных рельсов, или 14,4 млрд руб. Алгоритм прогноза и его место в предиктивном анализе состояния пути описаны в [33].

2.7. Компьютерное зрение для малолюдных технологий

А. Сулов, технический директор ООО «АВП Технология», представил комплекс бортовых решений на основе компьютерного зрения, направленных на снижение участия человека в опасных операциях. Система обнаружения препятствий для магистральных локомотивов в ходе испытаний подтвердила обнаружение, классификацию и локализацию объектов на расстоянии до 600 м; функции включают детектирование показаний светофоров и положения стрелочных переводов, формирование команд о наличии препятствий, автоматическую подачу звукового сигнала при обнаружении человека и вывод визуальной информации машинисту (рис. 16). Обзор бортовых систем обнаружения препятствий и оценки дистанции для железнодорожного транспорта приведен в [34]; компания является разработчиком систем автоведения, на которых построена технология виртуальной сцепки [8].

Смежные решения: система контроля положения стрелочных переводов, распознающая положение остряков, формирующая предупреждение и при критической угрозе выдающая команду на экстренное торможение; система предупреждения проезда запрещающих сигналов, детектирующая людей в запрещенных зонах с геопривязкой инцидентов и передачей сигнала в кабину. Система дистанционного видеоконтроля (СДВ) при движении вагонами вперед использует мобильный блок на хвостовом вагоне и передает изображение машинисту с предупреждением о приближении к препятствию, что позволяет отказаться от нахождения составителя на подножке последнего вагона. Система дистанционного управления локомотивом по радиоканалу обеспечивает управление тягой, торможением, реверсом и вспомогательным

Система обнаружения препятствий (СОП)



Рис. 16. Бортовая система обнаружения препятствий и дистанционного видеоконтроля (ООО «АВП Технология»)

оборудованием с переносного или стационарного пульта и сокращает время нахождения персонала на путях.

2.8. Данные, обучение и жизненный цикл моделей

Обсуждение на сессии по искусственному интеллекту показало, что результат применения ИИ определяется не выбором конкретной архитектуры, а организацией жизненного цикла данных. Исходная информация формируется средствами автоматизации, бортовыми регистраторами, диагностическими вагонами, камерами, датчиками инфраструктуры, диспетчерскими системами и ручными отчетами; источники различаются по частоте обновления, точности, форматам и правилам интерпретации. Механическое объединение таких данных приводит к тому, что модель обучается на закономерностях регистрации, а не технологического процесса. Проблема доступности, репрезентативности и повторного использования отраслевых наборов данных в мировой практике рассмотрена в [35].

Перед обучением требуется паспорт набора данных: происхождение записей, временной диапазон, метод разметки, полнота классов, известные искажения, условия эксплуатации и область применения. Для технического зрения необходимо включать зимние и переходные периоды, осадки, загрязнение оптики, контровое освещение, различные типы подвижного состава и редкие дефекты; для языковых моделей – отделять утвержденные нормативные документы от проектных версий и архивных инструкций; для моделей управления движением – сохранять контекст решения: состояние инфраструктуры, ограничения тягового электроснабжения, приоритеты поездов, наличие бригад и последствия воздействия [30, 36].

После внедрения модель подлежит контролю: изменение технологии, обновление оборудования или появление новых типов объектов вызывает

дрейф данных. Промышленная система ИИ должна регистрировать входы и решения, выявлять снижение качества, обеспечивать безопасный откат версии и повторную валидацию. В этом смысле модель является сопровождаемым технологическим объектом, а не готовым программным модулем.

2.9. Объяснимость и распределение ответственности

Участники сессии разделяли рекомендательную и управляющую функции ИИ. На начальном этапе интеллектуальные решения целесообразно внедрять как «второе мнение»: система обнаруживает риск, предлагает вариант и показывает факторы, повлиявшие на вывод, а решение принимает специалист. Такой режим позволяет накопить статистику, сопоставить рекомендации с действиями опытных работников и выделить классы ситуаций, в которых автоматизация надежнее человека.

При переходе к автоматическому исполнению ответственность распределяется между разработчиком модели, владельцем данных, интегратором, эксплуатирующим подразделением и должностным лицом, утвердившим область применения. Высокая средняя точность не является достаточным доказательством безопасности: редкая ошибка в критическом сценарии весит больше тысяч правильных ответов в штатной обстановке. Практическим следствием является гибридная архитектура: нейросетевая модель распознает ситуацию, прогнозирует ее развитие или формирует план верхнего уровня, а границы допустимых действий задаются детерминированными алгоритмами, нормативами и независимыми защитными контурами. Общие подходы к доказательству безопасности автономных систем и к применению нейронных сетей в ответственных приложениях изложены в [7]; требования к процессам разработки программного обеспечения железнодорожных применений установлены европейским стандартом⁵.

3. Цифровые решения для управления перевозочным процессом

3.1. Достоверность данных как условие проактивного управления

Четвертая сессия (модератор – А. Козловский, начальник комплекса цифрового моделирования АО «НИИАС») связала стратегические положения пленарного заседания с архитектурой управления перевозками. Первый доклад Е. Максимовой, директора Института управления и цифровых технологий РУТ (МИИТ), был посвящен достоверности данных при автоматизации управления движением. Наличие массива записей в автоматизированных системах не означает существования цифрового управления, поскольку качество решения, как правило, не может превышать качество исходной информации, а запоздалые данные, оставаясь формально правильными, теряют оперативную ценность. Особенности применения больших данных к исследованию грузопотоков рассмотрены в [37].

В традиционной схеме стоимость перевозочного процесса оценивается по расходам прошлых периодов; такие сведения необходимы для учета и ретроспективного анализа, но не характеризуют последствия конкретного оперативного решения. Из рассмотрения выпадают вторичные потери, воз-

⁵EN 50716:2023. Railway Applications – Requirements for software development. Brussels: CENELEC, 2023.

никающие позднее и в другом подразделении: задержка оборота вагона, нарушение подвода локомотива, конфликт с ремонтным «окном», производственный прогреб, срыв согласованной доставки. Риск-ориентированный подход добавляет к стоимости произошедшего события стоимость и временной масштаб возможных последствий.

Е. Максимовой сформулированы пять требований к данным для прогнозирования: полнота, достоверность, своевременность, сопоставимость и прослеживаемость. Нарушение любого из них запускает цепочку: задержка регистрации → искаженная картина состояния → ошибка прогноза → неверная оценка риска → неэффективное корректирующее воздействие. Отдельно рассмотрена разница между фактическим временем события и временем его внесения в систему: если задержка сопоставима с резервом времени на управленческое решение, запись утрачивает значение для проактивного управления. Иллюстрацией служит пакетный ручной ввод, при котором последовательные операции регистрируются почти одновременно и причинно-временная последовательность переходов объекта между состояниями исчезает из цифровой информации. Исследование на пути необщего пользования с сопоставлением четырех независимых источников информации показало, что данные одной автоматизированной системы не должны считаться единственным основанием для прогноза.

Предложенная целевая схема (рис. 17) предусматривает автоматическое сопоставление источников на общей временной шкале и присвоение каждой записи уровня доверия: данные высокой достоверности поступают в модель автоматически, неоднозначные направляются на дополнительную проверку, записи с низким доверием требуют ручного подтверждения. Условие проактивности сформулировано количественно: задержка между событием и загрузкой подтвержденных данных должна быть меньше времени, имеющегося для предотвращения риска.

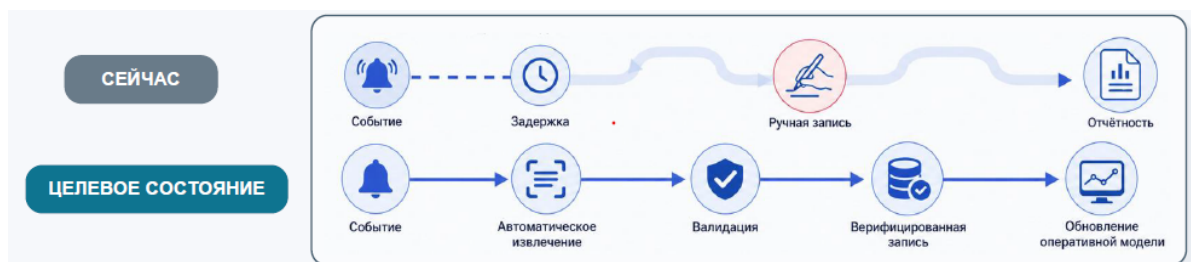


Рис. 17. Схема верификации цифровой информации

3.2. «Альфа-Модель»: гибридное прогнозирование на уровне вагоноотправки

И. Гургенидзе, заместитель генерального директора АО «НИИАС», в докладе «Интеллектуальное управление перевозками: гибридные модели на стыке ML и классических методов планирования на основе графиков движения и плана формирования» представила «Альфа-Модель» как парадигму управления, а не как отдельную информационную систему. Логика решения: система должна знать текущее состояние, построить прогноз, обнаружить нежелательный сценарий и изменить его до наступления последствий. Метод управления движением с использованием вариантных графиков, лежащий в основе плановой модели, защищен патентом [38].

Основой служит единая инфраструктурная модель. Сегодня различные системы используют собственные описания станций, перегонов, путей, профилей и ограничений, что затрудняет обмен и порождает разные трактовки одного объекта. В «Альфа-Модели» инфраструктура должна быть общей для нормативного планирования, фактического контроля, тяговых расчетов, моделирования и выдачи заданий; такой подход применен при проектировании ВСМ и должен быть распространен на действующую сеть. Фактическую информацию формируют АС ГИД НП, станционные системы и динамическая модель цифровой станции. В докладе использовано различие между системами, читающими «с листа» (план формирования, график) и «с колеса» (средства мониторинга) [11,12]; оркестратор, обрабатываемый на фактических данных, объединяет оба слоя и рассчитывает прогноз с учетом работы станций, категорий поездов, времени хода и межпоездных интервалов (рис. 18).

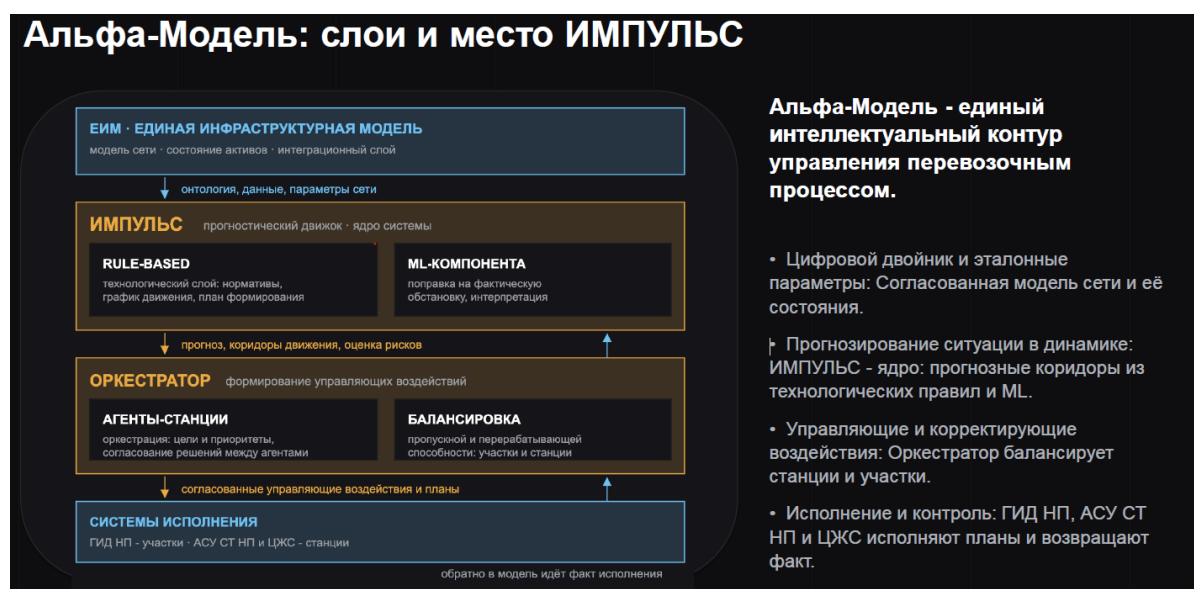


Рис. 18. Архитектура «Альфа-Модели»: единая инфраструктурная модель, фактические данные и контур упреждающих воздействий

Объектом прогноза является не только поезд, но и элементарная вагоноотправка: модель отвечает, где окажется конкретная отправка, в каком состоянии и в какой момент времени. Если прогнозируемый срок выходит за допустимый коридор, подбирается упреждающее воздействие на одном из трех уровней – изменение плана формирования, выбор маршрута вагоноотправки, регулирование движения по перегону. Расчет опирается на моделирование станций, варианты графики и движение поездов.

Рекомендации формируются в объяснимом виде: языковая модель используется для составления протокола, описывающего выявленный риск, учтенные ограничения, выбранное воздействие и ожидаемый результат, что позволяет диспетчеру проверить логику решения. Набор воздействий включает приоритетность пропуска и формирования поездов, перераспределение ресурсов и изменение планов; критерий оптимизации учитывает интересы государства, ОАО «РЖД», операторов, грузоотправителей и грузополучателей, то есть исключает улучшение одного показателя за счет неприемлемого ухудшения другого. Это согласуется с системой сетевых индикаторов качества работы станций, предложенной в докладе генерального директора АО

«НИИАС» А. Долгого (см. раздел 1).

3.3. Цифровизация ЖАТ

М. Фомин в докладе представил существенное изменение автоматизированных систем управления технологическими процессами – переход от циклического опроса зависимостей к событийно-ориентированной модели: расчет запускается при изменении состояния, а не повторяется с фиксированной частотой для всех объектов. На реальной станции число одновременных событий невелико, поэтому основная часть реакций выполняется за миллисекунды; наибольшая нагрузка возникает при запуске контроллеров и массовом обновлении состояния – в представленном в докладе примере полный пересчет занимал до 300 мс. В штатном режиме предел быстродействия все чаще определяется каналом связи, а не вычислителем.

Платформенность подтверждена при вынужденной замене элементной базы: после прекращения доступности выбранных микроконтроллеров проектирование вычислительного модуля и полный цикл испытаний выполнены за девять месяцев благодаря разделению на стандартный вычислительный модуль, унифицированную подсистему питания и прикладную часть. На нижнем уровне представлены универсальные платы управления стрелками и светофорами, модули дискретных и потенциальных входов, релейные интерфейсы и собственный пункт счета осей; один тип платы поддерживает несколько схем управления стрелочным приводом. Разрабатываемый компактный вычислительный модуль предназначен для переездов, разъездов и малых станций, где полноразмерный комплекс экономически избыточен, что обеспечивает масштабирование одной технологической базы от крупной станции до малодеятельного объекта.

Ю. Федоркин, главный инженер ООО «Компания „Стальэнерго“» (дивизион ЖАТ ГК «Нацпроектстрой»), представил решение по модернизации числовой кодовой автоблокировки без использования реле. На питающем конце рельсовой цепи группа релейных приборов заменяется двухчастотным генератором ГКЛС-К со стабилизацией временных параметров кода, который одновременно формирует сигнал 25 Гц для контроля рельсовой цепи и сигнал АЛС 75 Гц; функциональное резервирование позволяет второму каналу принять функции основного при его защитном отказе. На релейном конце блоки дешифрации и импульсные реле заменяются микропроцессорным приемником-дешифратором, который контролирует в том числе сход изолирующих стыков и передает диагностические сообщения в аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля; при внешней помехе устройство переходит в защитное состояние и возвращается к работе после нормализации (рис. 19).

На Восточном полигоне эксплуатируется около 3 700 приборов. Для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений применены конструктивные меры; заявленная электрическая прочность между корпусом и платой достигает 6 кВ. Система контролирует выработку ресурса варисторных модулей и при достижении 80% передает предупреждение для плановой замены, то есть обслуживание защитного элемента переводится на прогнозируемое состояние.

Следующий этап – передача данных между генератором, приемником

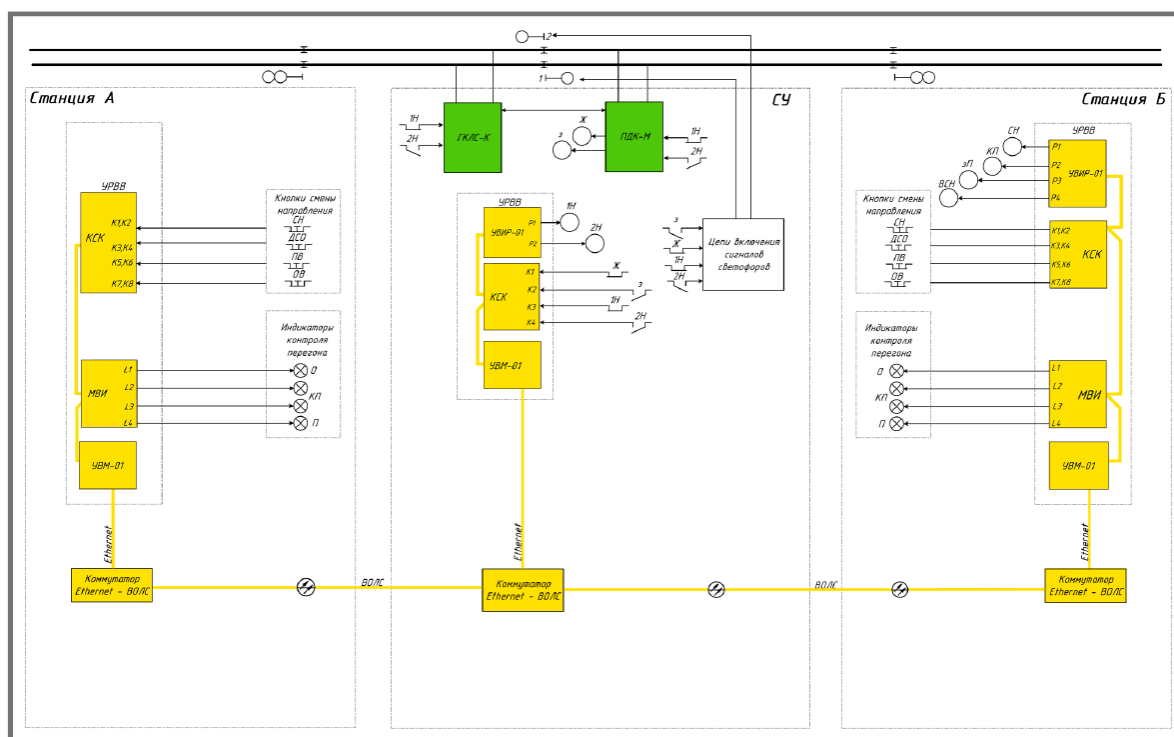


Рис. 19. Структура числовой кодовой автоблокировки от ООО «Компания „Стальэнерго“»

и станциями по волоконно-оптической сети для снижения зависимости от медного кабеля и повышения устойчивости к перенапряжениям. Статистика надежности оптической части на момент конференции не накоплена; включение опытного участка планировалось на 20 ноября 2026 г.

3.4. Замкнутый цикл управления городским рельсовым транспортом

А. Колесников, директор по управлению проектами компании «Лаборатория Сота», представил замкнутый цикл управления городским рельсовым транспортом из четырех этапов: анализ спроса и планирование, построение расписания, оперативная диспетчеризация, анализ исполнения с возвратом результатов в следующий цикл планирования. Приведен опыт единой диспетчерской системы Московского метрополитена (рис. 20) и системы мониторинга Центрального транспортного узла, контролирующей около тысячи единиц подвижного состава в сутки. Необходимость совместного рассмотрения расписания, путевого развития и технологических «окон» обоснована также в мировой практике [39]; отечественные архитектурные и информационные решения для интеллектуального управления городским рельсовым транспортом изложены в [40–43].

На этапе планирования интерактивные модели пересчитывают пассажиропотоки при закрытии участка, ремонте, строительстве крупного объекта или изменении маршрутной сети и формируют количественные задания: сколько пассажиров и по каким направлениям необходимо перевезти. При ручной разработке графика инженер тратит один-два рабочих дня на маршрут; представленный инструмент строит согласованное расписание для маршрутной сети города-миллионника за одну-пять минут, а оптимизация потребности в водителях занимает от десяти до пятидесяти минут, что позволяет



Рис. 20. Рабочее место диспетчера центра транспортного управления Московского метрополитена

пересчитывать график во время ремонтов.

В оперативном управлении рабочее место диспетчера обогащается нормативно-справочной информацией, состоянием инфраструктуры и подвижного состава, данными смежных служб. Автоматизированное перестроение графика действует как «второй пилот»: сначала рассчитывается способ наиболее быстрого выхода из сбоя и восстановления интервалов, затем – план до конца транспортных суток с учетом технического обслуживания и минимальных изменений ночной расстановки составов. Анализ фактически выполненных рейсов и транспортной доступности выполняется по тепловым картам; докладчик предостерег от выводов без контекста, поскольку рост предложения может компенсировать массовое мероприятие. Для магистральной сети опыт применим при планировании пригородного сообщения, координации с наземным транспортом, организации тактового движения и развитии объединенных диспетчерских центров.

3.5. Система «Кама»: энергооптимальное ведение пакета поездов

М. Шеин, начальник отдела НИР-МПСУ ООО «НПО САУТ», представил интеллектуальную энергоэффективную систему управления движением поездов «Кама». Традиционно энергооптимальный режим рассчитывается для отдельного локомотива в среде моделирования, однако локальный оптимум одного поезда не является оптимальным для участка: ускорение, выбег или торможение изменяют нагрузку на контактную сеть и условия движения соседних поездов. Постановка задачи энергооптимального ведения пакета поездов изложена авторами системы в [44].

В централизованной схеме математические модели автоведения нескольких поездов работают на сервере и получают параметры, аналогичные бортовым системам, что позволяет сравнивать траектории, интервалы, режимы тяги и энергетические ограничения при сохранении требований функциональ-

ной безопасности. Согласованное управление снижает пиковую нагрузку на контактную сеть и выбирает более экономичный способ выполнения графика даже на коротких интервалах. Интерфейс объединяет привычное диспетчеру изображение ниток графика с результатами моделирования режимов ведения; структура системы приведена на рис. 21.

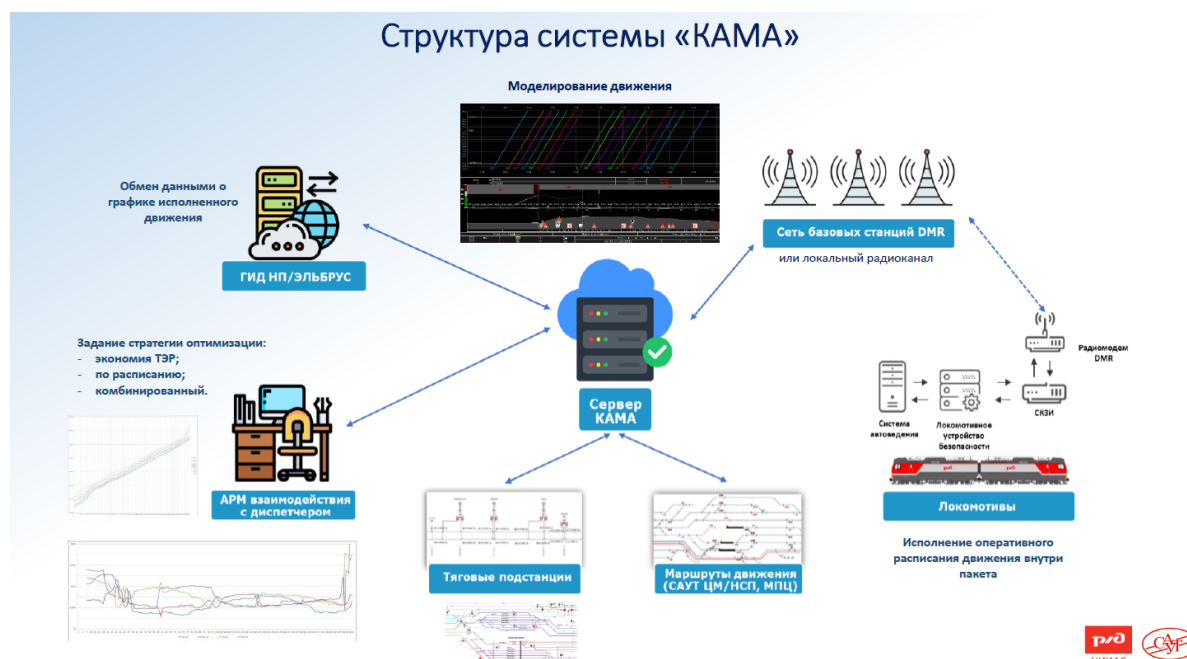


Рис. 21. Структура системы «Кама»

На момент доклада «Кама» представлена как проектный инструмент разработчика. Дальнейшая ценность решения зависит от интеграции трех контуров – управления движением, бортового автоведения и тягового электроснабжения; только совместная оптимизация позволяет ответить, что предпочтительнее в конкретной ситуации: пропустить больше поездов, быстрее восстановить график или снизить энергопотребление.

3.6. Линейные цепи по ВОЛС при модернизации действующих систем автоблокировки

М. Стародубцев, главный конструктор систем автоблокировки научно-производственного центра (НПЦ) «Промэлектроника», рассмотрел модернизацию линейных цепей действующих систем ЖАТ. Медножильные кабели просты в ремонте, но подвержены атмосферным и коммутационным перенапряжениям, электрохимической коррозии и деградации изоляции; волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) устраняет большинство этих факторов, однако прямая замена затруднена сохранением на сети большого объема релейной автоматики.

Предложено интерфейсное устройство, транслирующее состояния релейных цепей через оптический канал без изменения алгоритмов существующей автоматики. Компактный моноблок поддерживает четыре пары сигналов и дальность до 30 км; при добавлении волокна возможна кольцевая схема резервирования. Область применения – полуавтоматическая блокировка, переездная сигнализация, увязка с устройствами контроля схода подвижного

состава и модернизация числовой кодовой автоблокировки, протяженность которой на пространстве колеи 1520 мм оценивается примерно в 50 тыс. км. Экономический эффект связан с сокращением кабельной инфраструктуры и земляных работ.

На момент доклада решение готовилось к опытной эксплуатации, статистика отказов отсутствовала. Масштабирование должно опираться на сравнительные испытания надежности, ремонтпригодности и фактической стоимости жизненного цикла в сопоставлении с медными линиями.

4. Роботизация железнодорожного транспорта

4.1. Постановка вопроса: от отдельных внедрений к системной роботизации

Седьмая сессия проведена под модерацией Е. Дудорова, генерального директора ООО «Р-ТЕЛЕМАТИКА» и председателя правления консорциума робототехники и систем интеллектуального управления. По оценке модератора, за семь лет с начала совместной работы железнодорожных производителей, институтов (Концерн «Телематика», АО «НИИАС» и др.) и ОАО «РЖД» отношение к роботизации в отрасли изменилось от отсутствия понимания области применения до внедрения роботизированных комплексов; совместный аудит выявил более пятидесяти точек приложения роботизации. Запрос отрасли смещается от классических промышленных роботов к системам, замещающим человека в неструктурированной среде. Основным предметом обсуждения стал разрыв между технологической готовностью решений и зрелостью управленческой и нормативной среды, что раньше также было отмечено в работе [45].

4.2. Управленческая рамка роботизации: «Путь к экосистеме»

А. Зажигалкин, директор Ассоциации «Транспортная наука», в докладе «Роботизация РЖД. Путь к экосистеме» охарактеризовал текущее состояние как «системный разрыв». В холдинге «РЖД» накоплен портфель решений и реализованы десятки пилотных проектов – от программных роботов (RPA) на базе «Фабрики роботизации» ГВЦ, автоматизирующих документооборот и ИТ-поддержку, до физических комплексов: расцепщиков вагонов, диагностических систем, электропоездов с автоматическим управлением на МЦК и маневровых локомотивов. Однако эти результаты не образуют системного эффекта из-за отсутствия единой программно-управленческой рамки: концепция роботизации на период до 2035–2050 гг. разрабатывается, но не оформлена как корпоративная программа с целями, бюджетом и системой управления, а темп появления новых задач опережает готовность управленческого контура и нормативной среды (рис. 22). Онтологический подход к описанию цифровой железной дороги, на который опирается предлагаемая рамка, представлен в [46].

Выделены три управленческие проблемы: отсутствие единого квалифицированного заказчика и координатора (роль проектного офиса); необходимость «коридора пилотов» – упрощенного маршрута для малых проектов с ограниченным бюджетом и коротким циклом по аналогии с экспериментальными правовыми режимами; развитие кооперационной модели, поскольку в эко-

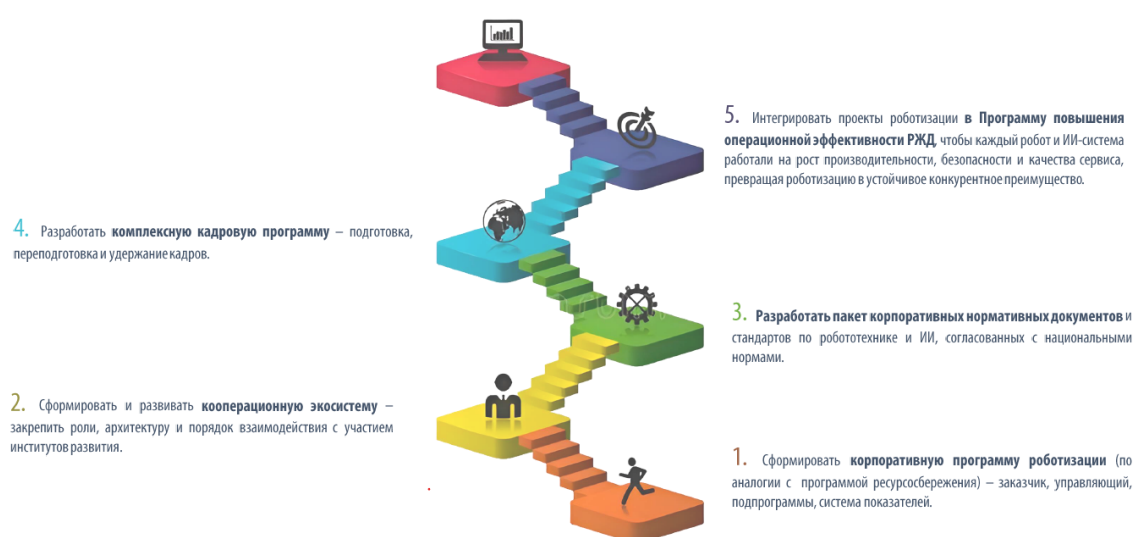


Рис. 22. Возможные практические шаги по преодолению «разрыва» в области роботизации

системе участвуют десятки организаций – от ГВЦ, АО «НИИАС» и ООО «Р-ТЕЛЕМАТИКА» до внешних разработчиков и институтов развития. При прогнозируемых 40–45 ключевых проектах число стейкхолдеров превысит сотню, что требует типовых ролей (заказчик, эксперт, управляющий, производитель, интегратор) и единых правил входа.

4.3. Инженерно-роботизированные комплексы «РОИН» на инфраструктуре колеи 1520 мм

Р. Коновалюк, заместитель генерального директора по развитию АО МГК «Интехрос», представил опыт применения инженерно-роботизированных комплексов «РОИН» (рис. 23).



Рис. 23. Линейка роботизированных комплексов «РОИН»

За 2025 г. комплексами «РОИН» заменено около 6 500 шпал, очищено более 73 км кюветов, выполнено более 350 км земляных работ и очищено от снега более 80 км. Совместно с Проектно-конструкторским бюро по инфраструктуре («ПКБ И») разработано 73 технологических документа, регламентирующих применение роботов в инфраструктурном комплексе, что позволило сформировать целевые показатели по росту доли механизации ручных работ по шпалам, рельсам и балласту и по производительности труда на ключевых операциях.

Направление развития – повышение степени автоматизации за счет систем технического зрения на вычислителе Jetson Orin NX, лидаров и стереокамер, распознающих элементы верхнего строения пути, то есть переход от дистанционно управляемой машины к автономной технической системе. В соответствии с поручением Президента РФ планируется десятикратное увеличение парка «РОИН» на сети. В перспективе – конструктивная модернизация Р300 и создание высокопроходимого робота для горной местности с изменяемым клиренсом до 2,5 м. Зарубежные прототипы роботов для обслуживания и диагностики пути описаны в [47–49].

4.4. Интеллектуальное ядро роботов: модели VLA и асинхронный инференс

П. Попов, заместитель директора Научно-исследовательского института транспорта РУТ (МИИТ) и руководитель Центра интеллектуальных и автономных транспортных систем, посвятил доклад моделям Vision-Language-Action (VLA), которые рассматриваются как следующая ступень после больших языковых моделей: робот получает возможность интерпретировать задание на естественном языке и адаптироваться к нестандартным ситуациям («когнитивная автоматизация»). Перенос знаний из визуально-языковых моделей в управление роботами и межплатформенное обучение на объединенных наборах траекторий представлены в [50–52]. В качестве практического примера показан прототип робота-тележки, созданный для чемпионата высоких технологий в Великом Новгороде и оснащенный лидаром, IP-камерой, измерительным модулем и системой аварийной остановки. Опыт докладчика в создании систем автоматического управления электропоездами на МЦК и в доказательстве безопасности автономных систем отражен в [7, 53].

Описана трехэтапная методология обучения VLA-моделей:

1. межплатформенное предварительное обучение на разнородных робототехнических данных (порядка 1 тыс. часов траекторий из открытых баз, например Open X-Embodiment [51]);
2. специализация на конкретной платформе (тип поезда, сенсорная система) с использованием собственных данных, собранных в реальных условиях;
3. дообучение на небольшом числе высококачественных демонстраций для освоения специфических навыков.

Выделены три препятствия для применения VLA на железнодорожном транспорте: инференсная задержка, поскольку вычислительная нагрузка требует мощных бортовых систем, а управление в реальном времени является критическим требованием; разрыв между обучением в симуляции и реальными условиями, требующий сбора данных на объектах и постоянного дообучения; проблема безопасности и сертификации, так как VLA являют-

ся «черными ящиками», формальная верификация которых затруднена. В качестве инструмента для снижения первого барьера предложено использовать архитектуру VLA-RAIL (Real-Time Asynchronous Inference Linker) [54] – открытый асинхронный связующий слой между VLA-моделями и разнородными роботами по принципу «подключи и работай», который объединяет очереди фрагментов действий (action chunks) и снижает рывки и паузы при исполнении (рис. 24).

Этапы обучения моделей VLA

Этап	Назначение	Данные для обучения
1. Межплатформенное предварительное обучение (Cross-embodiment pre-training)	Приобретение общих знаний о мире из разнообразных робототехнических данных	Около 1 тыс. ч записей траекторий движения из OXE
2. Предварительное обучение на целевой платформе (Single-embodiment pre-training)	Специализация на конкретной платформе (тип поезда, сенсоры)	Собственные данные, собранные на целевой платформе
3. Финальное обучение (Post-training)	Освоение конкретных сложных навыков	Небольшое число высококачественных демонстраций для специфических задач

Примечание. OXE (Open X-Embodiment) – это крупный открытый набор данных для обучения роботов.

Рис. 24. Этапы обучения VLA-моделей и схема асинхронного связующего слоя VLA-RAIL

Перспективные направления: интеграция VLM/VLA с ROS-фреймворками для голосового управления и ситуационной осведомленности; цифровые двойники и симуляторы на Unreal Engine для масштабируемого сбора данных и замкнутого цикла валидации; гибридные архитектуры безопасности, в которых VLA отвечает за планирование верхнего уровня, а сертифицируемые детерминированные алгоритмы – за низкоуровневый контроль [7].

4.5. Роботизированные системы АО «НИИАС»: от расцепки вагонов до диагностики

А. Хатламаджиян, заместитель генерального директора АО «НИИАС», в докладе о развитии роботизации в ОАО «РЖД» представил нормативный контекст на федеральном и корпоративном уровнях, текущий статус роботизации (рис. 25) и проект ее дорожной карты (рис. 26). На федеральном уровне это Единый план по достижению национальных целей до 2030 г., Концепция научно-технологического развития транспортного комплекса, проекты федеральных законов о робототехнике и автономных системах и развивающийся комплекс государственных стандартов. На корпоративном уровне – Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД», Концепция обеспечения технологического суверенитета и разрабатываемые

документы: Программа роботизации повторяющихся производственных процессов, Концепция разработки и внедрения робототехнических систем на инфраструктуре и Методика технико-экономической оценки проектов. Обзор проектов роботизации холдинга дан в публикации с участием докладчика [45].

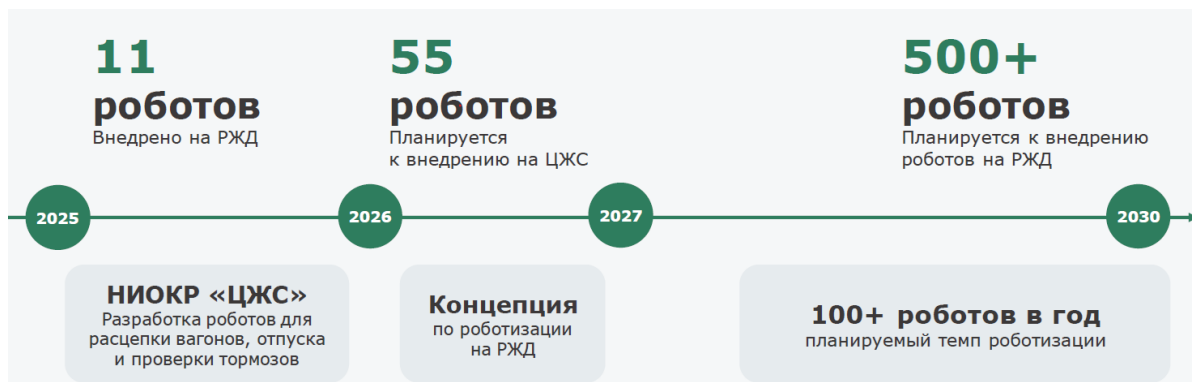


Рис. 25. Текущий статус роботизации ОАО «РЖД»

В рамках доклада были представлены практические результаты АО «НИИАС» и партнеров:

1. Робототехнический комплекс для расцепки вагонов при роспуске составов на сортировочной горке завершил опытную эксплуатацию на станции Челябинск-Главный с вероятностью успешной расцепки более 95%; впервые применен коллаборативный режим опытной эксплуатации, при котором в случае неуспешной попытки операцию выполнял человек, а эпизод использовался для дообучения [17,55];
2. Роботизированная система отпуска и проверки действия автоматических тормозов, включающая роботов для отпуска тормозов, проверки их действия и очистки от снега; завершается второй этап опытной эксплуатации, разрабатывается новый дизайн;
3. Применение биоморфных роботов для диагностики буксовых узлов и экипажной части: в автоматическом режиме контролируется более 40 типов параметров – элементы крепления (болты, крышки, замки), деформации конструкций (лестницы, отбойники, окна), соединительные элементы (кабели, разъемы, шланги) и расходные материалы (песок, фильтры, колодки).

Расчетный эффект диагностического робота: время контроля состава сокращается с трех до двух часов, производительность труда контролера повышается на 30%, простой поездов снижается на 75–80 часов в месяц (900–960 часов в год). В завершение представлен концептуальный облик антропоморфного робота для ОАО «РЖД» с гусеничным шасси для пересеченной местности, поворотным на 360° торсом, приводом для подъема тяжелых грузов, сменными захватами и поворотным шарниром для устойчивости на неровностях. Отмечено, что морфология человека не является обязательной: робот для железной дороги может иметь более мощные приводы и встроенный в кисти инструмент, что делает его эффективнее человека на конкретных операциях.



Рис. 26. Проект дорожной карты роботизации ОАО «РЖД»

4.6. Меры государственной поддержки разработки и внедрения робототехники

Е. Ярославский, руководитель департамента транспорта АНО «Инновационный инжиниринговый центр», представил действующие и перспективные меры государственной поддержки для разработчиков и заказчиков робототехники в интересах железнодорожной отрасли (рис. 27, 28).

Программа «доращивания» поставщиков корпораций: основные условия программы

Цель программы Поддержка проектов, связанных с разработкой (доработкой), созданием (расширением) производства новой продукции под требования российских корпораций Ожидаемый результат Прирост выручки технологической компании от реализации новой продукции (в течение общего срока реализации проекта) – в объеме не менее 5-кратного размера гранта Возврат средств гранта пропорционален объему достижения результатов проекта	Размер гранта От 25 до 250 млн руб. Срок финансирования Не более 3 лет Общий срок реализации проекта Не более 6 лет с начала финансирования Механизм финансирования - гранты (целевое, безвозмездное, безвозвратное) - техзадание на продукт утверждается корпорацией-заказчиком - постальное финансирование и приемка результатов Объем внебюджетного финансирования - Не менее 50% при выручке до 2 млрд руб. - Не менее 70% при выручке от 2 до 4 млрд руб. - Не менее 100% при выручке свыше 4 млрд руб.	Стадия готовности продукта 4 ≤ УПТ ≤ 7 Направления поддержки - ОКР - Изготовление, испытание и сертификация опытного образца - Создание производства (приобретение оборудования) - Изготовление пилотной партии - Испытания и сертификация пилотной партии Направления расходов за внебюджет - Аналогично расходам за бюджет Результаты интеллектуальной деятельности Принадлежат грантополучателю
---	---	--

Рис. 27. Программа поддержки «доращивания» поставщиков

В качестве примеров приведены три проекта в интересах ОАО «РЖД»: роботизированный комплекс «РОИН» МРГК-301ГШ – грант 81 млн руб. по программе доращивания, потребность до 2031 г. 260 единиц; многофункциональная путевая машина А650 – планируемый грант 153 млн руб. по «ТРАНСМАШ», потребность 10 единиц; тяжелый робот «РОИН» Р-701К для труднодоступных территорий – планируемый грант 208 млн руб. по «ТРАНСМАШ», потребность 30 единиц.

Отраслевая программа «ТРАНСМАШ»: основные условия программы

 Цель программы Поддержка проектов, предполагающих проведение научно-исследовательских проектов по разработке (доработке) продукции под требования крупных корпораций в отрасли транспортного машиностроения  Ожидаемый результат Прирост выручки технологической компании от реализации инновационной продукции (в течение общего срока реализации проекта) – в объеме не менее 5-кратного размера гранта	 Размер гранта До 500 млн руб.  Срок финансирования АНО ЦПИИ – не более 3 лет Технокомпанией – не более 5 лет Общий срок реализации проекта Не более 7 лет с года заключения договора гранта  Стадия готовности продукта УГТ ≤ 6  Механизм финансирования - гранты (целевое, безвозмездное, безвозвратное) - техзадание на продукт утверждается корпорацией-заказчиком - постатпное финансирование и приемка результатов  Объём внебюджетного финансирования - Не менее 50% от размера гранта	 Направления поддержки - НИР и ОКР (зарплата, соисполнители, накладные) - Приобретение испытательного оборудования - Аренда оборудования, помещений, оснастки - Приобретение изделий сравнения - Изготовление, испытания и сертификация опытного образца - Регистрация РИД  Внебюджетное финансирование - Создание производства (приобретение, лизинг оборудования) - Изготовление, испытания и сертификация пилотной партии  Предусмотрена компенсация понесенных расходов с начала финансового года заключения договора гранта
--	--	--

Рис. 28. Отраслевая программа «ТРАНСМАШ»

Анонсирована программа льготного лизинга промышленной и сервисной робототехники в транспортной отрасли, разрабатываемая совместно с АО «Государственная транспортная лизинговая компания» (ГТЛК); пилотный запуск с участием двух-трех проектов планируется в 2026 г. Механизм позволяет заказчику внедрять роботизированные решения без единовременных капитальных вложений, а разработчику – получить гарантированный сбыт и масштабирование.

4.7. Переход от опытного образца к серийному внедрению

Обсуждение показало, что успешный прототип является лишь началом проекта. Для серийного внедрения операция должна стабильно выполняться при изменении погоды, освещения, состояния пути, типа подвижного состава и действий находящихся рядом работников: на сортировочной станции робот работает с загрязненными и изношенными деталями, снегом, наледью, вибрацией и вариативностью положения механизмов. Поэтому показатель успешности должен дополняться распределением отказов по условиям, временем восстановления, долей вмешательств человека и последствиями неуспешной попытки. Зарубежные прототипы железнодорожных роботов подтверждают эффективность мультисенсорного контроля, мобильных манипуляторов и специализированных платформ и одновременно важность полевых испытаний [47–49].

Коллаборативный режим испытаний робота-расцепщика представляет методический интерес: он обеспечивает непрерывность производственного процесса и собирает редкие сложные примеры. Для перехода к автономному режиму необходимо заранее определить безопасное состояние, порядок повторной попытки, условия вызова оператора и границы зоны совместной работы человека и машины; требования к коллаборативным режимам

промышленных роботов установлены в ISO/TS 15066:2016⁶. Имитационная оценка параметров мобильной платформы комплекса для расформирования составов выполнена специалистами АО «НИИАС» [55].

Тиражирование требует типизации не только робота, но и места его применения: для каждой станции описываются геометрия путей, диапазон скоростей, связь с горочной автоматикой, электроснабжение, каналы передачи данных, климатическое исполнение, требования к ограждению и обслуживанию. Чем больше различий компенсируется программной настройкой и сменным инструментом, тем ниже стоимость адаптации; чрезмерная универсальность, напротив, увеличивает массу, сложность и цену. Целесообразна платформенная линейка с общим шасси, системой безопасности и интерфейсами и специализированными рабочими органами.

4.8. Экономика роботизации и оценка полного эффекта

Сравнение стоимости робота с фондом оплаты труда одного работника недостаточно для железнодорожной отрасли. Роботизированный комплекс влияет на безопасность, простой подвижного состава, потребность в технологических перерывах, качество диагностики, расход материалов и устойчивость работы при кадровом дефиците; часть эффектов не дает немедленной экономии, но предотвращает потери или обеспечивает выполнение растущего объема работ без роста численности.

Методика технико-экономической оценки должна включать капитальные затраты, интеграцию, подготовку инфраструктуры, обучение, запасные части, вычислительные ресурсы, связь, периодическое подтверждение безопасности и модернизацию программного обеспечения; на стороне результата – сокращение трудоемкости, уменьшение простоев, предотвращенные травмы и отказы, рост пропускной способности, высвобождение персонала для квалифицированных операций и повышение достоверности цифровой информации.

Государственные программы закрывают часть риска разработки и создания производства, но не заменяют подтвержденный спрос; необходима ранняя фиксация потребности ОАО «РЖД», единых технических требований и графика закупок.

Заключение и перспективы развития отечественных систем управления железнодорожным транспортом

Проведенный анализ материалов международной научно-практической конференции «PRO//Движение. Транспортные системы управления» позволяет констатировать завершение этапа фрагментарной автоматизации отдельных технологических операций и переход отечественного железнодорожного транспорта к системной цифровой трансформации. В 2025–2026 годах получены результаты, имеющие принципиальное значение для дальнейшего развития отрасли.

На основе результатов конференции можно сформулировать следующие приоритетные задачи для ОАО «РЖД» на 2026–2030 годы:

1. **Завершение комплексных испытаний «Цифровой железнодорожной станции»** и подготовка к тиражированию на другие станции сети. Раз-

⁶ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. Geneva: ISO, 2016.

работка типовых проектов внедрения и создание центров компетенций для сопровождения цифровых станций.

2. **Разработка корпоративной программы роботизации** и методики оценки экономической эффективности проектов роботизации с учетом многокритериальных эффектов (социальных, экологических, стратегических).
3. **Активное участие в создании нормативной базы** для применения искусственного интеллекта и робототехники на железнодорожном транспорте, включая стандарты безопасности для систем с применением ИИ и регламенты взаимодействия «человек – робот».
4. **Активное развитие ключевых компетенций в области физического ИИ**, формирование набора приоритетных пилотных проектов по применению ИИ при организации управления движением, в том числе создание отраслевого Центра обучения роботов ОАО «РЖД» для подготовки роботов к работе в реальных условиях эксплуатации, формирование центра верификации ИИ-продуктов в холдинге «РЖД».
5. **Продолжение работ по созданию единой цифровой платформы** управления перевозочным процессом, объединяющей более двух сотен автоматизированных систем в сквозной технологический процесс.

Решение указанных задач обеспечит переход отечественного железнодорожного транспорта на качественно новый уровень управления, характеризующийся ростом пропускной и провозной способности сети, снижением эксплуатационных затрат, повышением безопасности перевозочного процесса и улучшением условий труда персонала. Технологический суверенитет, подтвержденный локализацией критических компонентов и независимостью от зарубежных поставщиков, создает конкурентные преимущества на пространстве колеи 1520 мм и формирует экспортный потенциал отечественных разработок в области систем управления железнодорожным транспортом.

Список литературы

- [1] Quaglietta, E. The ON-TIME real-time railway traffic management framework: a proof-of-concept using a scalable standardised data communication architecture / E. Quaglietta [et al.] // *Transportation Research Part C*. – 2016. – Vol. 63. – P. 23–50. – DOI 10.1016/j.trc.2015.11.014.
- [2] Tang, R. A literature review of Artificial Intelligence applications in railway systems / R. Tang [et al.] // *Transportation Research Part C*. – 2022. – Vol. 140. – Art. 103679. – DOI 10.1016/j.trc.2022.103679.
- [3] Bešinović, N. Artificial Intelligence in Railway Transport: Taxonomy, Regulations, and Applications / N. Bešinović [et al.] // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2022. – Vol. 23, No. 9. – P. 14011–14024. – DOI 10.1109/TITS.2021.3131637.
- [4] Шубинский, И. Б. Общие положения обоснования функциональной безопасности интеллектуальных систем на железнодорожном транспорте / И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг // *Надежность*. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 38–45. – DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-3-38-45. – EDN HGNXNT.
- [5] Шубинский, И. Б. Надёжность, риски, безопасность систем управления на железнодорожном транспорте / И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг, А. В. Бочков. – Вологда; Москва: ООО «Инфра-Инженерия», 2024. – 414 с. – ISBN 978-5-9729-1992-5. – EDN FMONU.
- [6] Бочков, К. А. Обзор архитектуры, особенностей и методов обеспечения безопасности в автоматизированных системах управления ответственными технологическими процессами

- железнодорожного транспорта / К. А. Бочков, С. Н. Харлап, Е. П. Литвинов // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы XIV Международной научно-практической конференции, посвященной пятилетке качества. В 2-х частях, Гомель, 20–21 ноября 2025 года. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2025. – С. 140–143. – EDN WJIMLJ.
- [7] Розенберг, Е. Н. Общие подходы к доказательству безопасности автономных систем / Е. Н. Розенберг, П. А. Попов, Д. В. Талалаев, А. М. Ольшанский, Н. А. Бояринова // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 1. – С. 2–9.
- [8] Розенберг, Е. Н. Применение технологии виртуальной сцепки на Восточном полигоне / Е. Н. Розенберг, М. А. Дежков, В. Г. Новиков // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 8. – С. 7–11. – DOI 10.62994/AT.2025.8.8.002.
- [9] Felez, J. Virtual Coupling in Railways: A Comprehensive Review / J. Felez, M. A. Vaquero-Serrano // Machines. – 2023. – Vol. 11, No. 5. – Art. 521. – DOI 10.3390/machines11050521.
- [10] Долгий, А. И. Нечетко-логический подход к автоматическому анализу показателей грузовой станции на основе данных «от колеса» / А. И. Долгий, А. В. Суханов // Интеллектуальные транспортные системы: материалы V Международной научно-практической конференции (Москва, 21 мая 2026 г.). – М.: РУТ (МИИТ), 2026. – С. 139–145. – DOI 10.30932/9785002709564-2026-139-145.
- [11] Долгий, А. И. Классификация режимов работы железнодорожной станции на основе реальных данных «от колеса» / А. И. Долгий, А. Е. Хатламаджиян, И. А. Ольгейзер, А. В. Суханов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1(97). – С. 58–68. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_1_58.
- [12] Хатламаджиян, А. Е. Формирование объективных показателей работы сортировочной станции на основе данных «от колеса» / А. Е. Хатламаджиян, И. А. Ольгейзер, А. В. Суханов, В. С. Иерусалимов // Автоматика на транспорте. – 2024. – Т. 10, № 3. – С. 254–268. – DOI 10.20295/2412-9186-2024-10-03-254-268.
- [13] Goverde, R. M. P. Railway timetable stability analysis using max-plus system theory / R. M. P. Goverde // Transportation Research Part B. – 2007. – Vol. 41, No. 2. – P. 179–201. – DOI 10.1016/j.trb.2006.02.003.
- [14] D'Ariano, A. Reordering and local rerouting strategies to manage train traffic in real time / A. D'Ariano, F. Corman, D. Pacciarelli, M. Pranzo // Transportation Science. – 2008. – Vol. 42, No. 4. – P. 405–419. – DOI 10.1287/trsc.1080.0247.
- [15] Lusby, R. M. Railway track allocation: models and methods / R. M. Lusby, J. Larsen, M. Ehrgott, D. Ryan // OR Spectrum. – 2011. – Vol. 33, No. 4. – P. 843–883. – DOI 10.1007/s00291-009-0189-0.
- [16] Corman, F. Bi-objective conflict detection and resolution in railway traffic management / F. Corman, A. D'Ariano, D. Pacciarelli, M. Pranzo // Transportation Research Part C. – 2012. – Vol. 20, No. 1. – P. 79–94. – DOI 10.1016/j.trc.2010.09.009.
- [17] Андреев, В. Е. Цифровая железнодорожная станция – от концепции к реальному внедрению / В. Е. Андреев, А. И. Долгий, В. В. Кудюкин, А. Е. Хатламаджиян, С. Ю. Гришаев, И. А. Ольгейзер // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 9. – С. 2–6. – DOI 10.34649/AT.2023.9.9.001.
- [18] Kaewunruen, S. Digital Twins for Managing Railway Bridge Maintenance, Resilience, and Climate Change Adaptation / S. Kaewunruen, J. Sresakoolchai, Y.-H. Lin // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 1. – Art. 252. – DOI 10.3390/s23010252.
- [19] van Dinter, R. Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review / R. van Dinter, B. Tekinerdogan, C. Catal // Information and Software Technology. – 2022. – Vol. 151. – Art. 107008. – DOI 10.1016/j.infsof.2022.107008.
- [20] Padovano, A. Improving safety management in railway stations through a simulation-based digital twin approach / A. Padovano, F. Longo, L. Manca, R. Grugni // Computers & Industrial Engineering. – 2024. – Vol. 187. – Art. 109839. – DOI 10.1016/j.cie.2023.109839.
- [21] Zhang, J. Artificial Intelligence Applied on Traffic Planning and Management for Rail Transport: A Review and Perspective / J. Zhang, J. Zhang // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2023. – Art. 1832501. – DOI 10.1155/2023/1832501.

- [22] Труды АО «НИИАС». Вып. 11, т. 3 / ред. совет: И. Н. Розенберг (пред.) [и др.]. – М.: Т8 Издательские Технологии, 2021. – С. 7–68.
- [23] Chen, M. Evaluating Large Language Models Trained on Code / M. Chen [et al.] // arXiv. – 2021. – arXiv:2107.03374. – DOI 10.48550/arXiv.2107.03374.
- [24] Greshake, K. Not What You've Signed Up For: Compromising Real-World LLM-Integrated Applications with Indirect Prompt Injection / K. Greshake, S. Abdelnabi, S. Mishra, C. Endres, T. Holz, M. Fritz // Proceedings of the 16th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security (AISeC '23). – New York: ACM, 2023. – P. 79–90. – DOI 10.1145/3605764.3623985.
- [25] Моисеев, В. В. Обеспечение кибербезопасности систем микропроцессорных и релейно-процессорных централизаций на сети ОАО «РЖД»: перспективы и практическое применение средств защиты / В. В. Моисеев // Автоматика на транспорте. – 2022. – Т. 8, № 3. – С. 266–275. – DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-03-266-275.
- [26] Лецкий, Э. К. Интегрирование искусственного интеллекта в функциональное тестирование критической информационной инфраструктуры железнодорожного транспорта / Э. К. Лецкий, А. И. Гуров // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2025. – № 1. – С. 14–19. – DOI 10.20295/2413-2527-2025-141-14-19.
- [27] De Donato, L. A Survey on Audio-Video Based Defect Detection Through Deep Learning in Railway Maintenance / L. De Donato [et al.] // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 65376–65400. – DOI 10.1109/ACCESS.2022.3183102.
- [28] Alif, M. A. R. Advances in computer vision for comprehensive railway engineering: from track inspection to rolling stock and safety monitoring / M. A. R. Alif, G. Tucker, M. Hussain // Railway Engineering Science. – 2026. – DOI 10.1007/s40534-026-00434-7.
- [29] Olivier, B. A Review of Computer Vision for Railways / B. Olivier [et al.] // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2025. – Vol. 26, No. 7. – P. 11034–11065. – DOI 10.1109/TITS.2025.3552011.
- [30] Kumar, A. A systematic literature review of defect detection in railways using machine vision-based inspection methods / A. Kumar, S. P. Harsha // International Journal of Transportation Science and Technology. – 2025. – Vol. 18. – P. 207–226. – DOI 10.1016/j.ijtst.2024.06.006.
- [31] Долгий, А. И. Инновационные алгоритмы машинного зрения для диагностики продольного профиля сортировочных путей / А. И. Долгий, А. Е. Хатламаджиян, И. А. Ольгейзер, А. В. Суханов, К. И. Корниенко // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 8. – С. 7–9. – DOI 10.34649/AT.2022.8.8.002.
- [32] Ольгейзер, И. А. Компьютерное зрение как способ интеллектуализации систем горочной автоматизации / И. А. Ольгейзер, А. В. Суханов, А. М. Лященко, Д. В. Глазунов // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2022. – № 1. – С. 46–53. – DOI 10.52261/02346206_2022_1_46.
- [33] Васильева, С. А. Автоматизация прогноза бокового износа рельсов в кривых как элемент предиктивного анализа состояния пути / С. А. Васильева, А. В. Лохач // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 11. – С. 5–7.
- [34] Ristić-Durrant, D. A Review of Vision-Based On-Board Obstacle Detection and Distance Estimation in Railways / D. Ristić-Durrant, M. Franke, K. Michels // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 10. – Art. 3452. – DOI 10.3390/s21103452.
- [35] Pappaterra, M. J. A Systematic Review of Artificial Intelligence Public Datasets for Railway Applications / M. J. Pappaterra, F. Flammini, V. Vittorini, N. Bešinović // Infrastructures. – 2021. – Vol. 6, No. 10. – Art. 136. – DOI 10.3390/infrastructures6100136.
- [36] Gan, J. A Hierarchical Extractor-Based Visual Rail Surface Inspection System / J. Gan, Q. Li, J. Wang, H. Yu // IEEE Sensors Journal. – 2017. – Vol. 17, No. 23. – P. 7935–7944. – DOI 10.1109/JSEN.2017.2761858.
- [37] Ярмолинский, Ф. А. Особенности использования Big Data при исследовании грузопотоков на железнодорожном транспорте / Ф. А. Ярмолинский, О. Д. Покровская, Е. Д. Пасечник, Е. В. Пакулина, А. А. Трапезников // Бюллетень результатов научных исследований. – 2024. – № 1. – С. 107–122. – DOI 10.20295/2223-9987-2024-01-107-122.

- [38] Пат. 2524505 С1 Российская Федерация. Способ управления движением поездов с использованием вариантных графиков / И. Р. Гургенидзе, Б. Н. Курагин, М. Г. Лысиков, С. И. Ляшенко, А. В. Степанов, С. В. Торорошенко; патентообладатель ОАО «НИИАС». – Оpubл. 2014.
- [39] Zhang, Q. A heuristic approach to integrate train timetabling, platforming, and railway network maintenance scheduling decisions / Q. Zhang, R. M. Lusby, P. Shang, X. Zhu // *Transportation Research Part B*. – 2022. – Vol. 158. – P. 210–238. – DOI 10.1016/j.trb.2022.02.002.
- [40] Сидоренко, В. Г. Влияние цифровизации городских рельсовых транспортных систем на процессы планирования и управления движением поездов / В. Г. Сидоренко, М. А. Кулагин, А. Е. Родина // *Автоматика на транспорте*. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 30–43. – DOI 10.20295/2412-9186-2025-11-01-30-43.
- [41] Алексеев, В. М. Построение архитектуры интеллектуальной системы управления городской рельсовой транспортной системой / В. М. Алексеев, Л. А. Баранов, М. А. Кулагин, В. Г. Сидоренко // *Мир транспорта*. – 2021. – Т. 19, № 1. – С. 18–46. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-1-18-46.
- [42] Сидоренко, В. Г. Разработка информационного обеспечения интеллектуальной системы управления городскими рельсовыми транспортными системами / В. Г. Сидоренко, Л. Н. Логинова, А. И. Сафронов // *Автоматика на транспорте*. – 2023. – Т. 9, № 2. – С. 178–192. – DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-02-178-192.
- [43] Сидоренко, В. Г. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко, Е. В. Копылова, А. И. Сафронов, М. А. Туманов // *Автоматика на транспорте*. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 33–48. – DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48.
- [44] Тарасов, К. А. АСУ «КАМА». Энергооптимальное ведение пакета поездов / К. А. Тарасов, М. Ю. Шеин, Н. А. Бояринова // *Железнодорожный транспорт*. – 2026. – № 5. – С. 18–19.
- [45] Кононов, А. Ф. Проекты в сфере роботизации / А. Ф. Кононов, В. Д. Макогон, А. Е. Хатламаджиян, А. Е. Шапекин // *Автоматика, связь, информатика*. – 2026. – № 3. – С. 15–17. – DOI 10.62994/AT.2026.3.3.003.
- [46] Куприяновский, В. П. Формализованные онтологии и сервисы для высокоскоростных магистралей и цифровой железной дороги / В. П. Куприяновский, О. Н. Покусаев, Ю. И. Волокитин, Д. Е. Намиот, И. П. Петрунина, А. В. Зажигалкин // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2018. – Vol. 6, No. 3. – P. 69–86.
- [47] Kasch, J. Design and Operational Assessment of a Railroad Track Robot for Railcar Undercarriage Condition Inspection / J. Kasch, M. Ahmadian // *Designs*. – 2024. – Vol. 8, No. 4. – Art. 70. – DOI 10.3390/designs8040070.
- [48] Liu, H. An autonomous rail-road amphibious robotic system for railway maintenance using sensor fusion and mobile manipulator / H. Liu [et al.] // *Computers & Electrical Engineering*. – 2023. – Art. 108874. – DOI 10.1016/j.compeleceng.2023.108874.
- [49] Daniyan, I. A. Design of a robot for inspection and diagnostic operations of rail track facilities / I. A. Daniyan, K. Mpofu, S. O. Nwankwo // *International Journal of Quality & Reliability Management*. – 2023. – Vol. 40, No. 3. – P. 653–673. – DOI 10.1108/IJQRM-03-2020-0083.
- [50] Brohan, A. RT-2: Vision-Language-Action Models Transfer Web Knowledge to Robotic Control / A. Brohan [et al.] // *arXiv*. – 2023. – arXiv:2307.15818. – DOI 10.48550/arXiv.2307.15818.
- [51] O'Neill, A. Open X-Embodiment: Robotic Learning Datasets and RT-X Models / A. O'Neill [et al.] // *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. – 2024. – DOI 10.1109/ICRA57147.2024.10611477.
- [52] Kim, M. J. OpenVLA: An Open-Source Vision-Language-Action Model / M. J. Kim [et al.] // *arXiv*. – 2024. – arXiv:2406.09246. – DOI 10.48550/arXiv.2406.09246.
- [53] Попов, П. А. Применение передовых технологий для работы в автоматическом режиме на МЦК / П. А. Попов // *Железнодорожный транспорт*. – 2020. – № 11. – С. 17–21.
- [54] Zhao, Y. VLA-RAIL: A Real-Time Asynchronous Inference Linker for VLA Models and Robots / Y. Zhao, L. Zhao, B. Cheng, G. Yao, X. Wen, H. Gao // *arXiv*. – 2025. – arXiv:2512.24673. – URL: <https://arxiv.org/abs/2512.24673>.

- [55] Кудюкин, В. В. Имитационное моделирование работы робототехнических комплексов, предназначенных для расформирования составов на сортировочных горках / В. В. Кудюкин, А. В. Вуколов, В. С. Кузьмин // Автоматика на транспорте. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 16–29. – DOI 10.20295/2412-9186-2025-11-01-16-29.

CURRENT STATE OF INTELLECTUALIZATION, DIGITALIZATION AND ROBOTIZATION SYSTEMS OF DOMESTIC RAILWAY TRANSPORT

Bochkov A.V.^{1,a}, Dolgiy A.I.^{1,b}, Zazhigalkin A.V.^{1,2,c}, Rozenberg E.N.^{1,d},
Sukhanov A.V.^{1,e}, Khatlamadzhiyan A.E.^{1,f}, Chernukha A.V.^{1,g}

¹ Joint Stock Company “Research and Design Institute for Informatization, Automation and Communication in Railway Transport” (JSC “NIIAS”), Moscow, Russia

² Association “Transport Science”, Moscow, Russia

E-mail: ^a a.bochkov@vniias.ru, ^b a.dolgiy@vniias.ru, ^c zashigalkin@mail.ru, ^d S.Lavruhina@vniias.ru,
^e a.suhanov@vniias.ru, ^f a.hatlamadzhiyan@vniias.ru, ^g a.chernuha@vniias.ru

Abstract. The paper systematizes the results of the scientific and practical conference “PRO//Movement. Transport Management Systems” (August 18–20, 2026, Nizhny Novgorod), dedicated to the digitalization of the transportation process, artificial intelligence, and the robotization of railway transport. The conference was attended by the management of the Russian Railways holding, the scientific sector complex, and manufacturing enterprises: managers, scientists, and engineers. The target model for managing freight flows, the “Digital Railway Station” project, and technologies such as virtual coupling, machine vision, predictive diagnostics, and physical artificial intelligence were discussed. Special attention is paid to the role of the scientific activities of JSC “NIIAS” in shaping a unified data architecture, models, and executive systems, as well as to issues of functional safety, economic efficiency, and the replication of developments. The prospects for the development of artificial intelligence in the railway industry are discussed.

Keywords: railway transport, digital station, traffic control, artificial intelligence, computer vision, robotics, digital twin, functional safety.

References

- [1] Quaglietta, E., Pellegrini, P., Goverde, R. M. P., Albrecht, T., Jaekel, B., Marlière, G., Rodriguez, J., Dollevoet, T., Ambrogio, B., Carcasole, D., Giaroli, M., & Nicholson, G. (2016). The ON-TIME real-time railway traffic management framework: A proof-of-concept using a scalable standardised data communication architecture. *Transportation Research Part C*, 63, 23–50. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.11.014>

For citation:

Bochkov A.V., Dolgiy A.I., Zazhigalkin A.V., Rozenberg E.N., Sukhanov A.V., Khatlamadzhiyan A.E., Chernukha A.V. Current State of Intellectualization, Digitalization and Robotization Systems of Domestic Railway Transport. *Intelligent transport*, 2026, no. 3(39), pp. 115–158. DOI: 10.24412/3033-6007-2026-339-115-158. (in Russian)

- [2] Tang, R., De Donato, L., Bešinović, N., Flammini, F., Goverde, R. M. P., Lin, Z., Liu, R., Tang, T., Vittorini, V., & Wang, Z. (2022). A literature review of artificial intelligence applications in railway systems. *Transportation Research Part C*, 140, Article 103679. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103679>
- [3] Bešinović, N., De Donato, L., Flammini, F., Goverde, R. M. P., Lin, Z., Liu, R., Marrone, S., Nardone, R., Tang, T., & Vittorini, V. (2022). Artificial intelligence in railway transport: Taxonomy, regulations, and applications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9), 14011–14024. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3131637>
- [4] Shubinskiy, I. B., & Rozenberg, E. N. (2023). General provisions for justifying the functional safety of intelligent systems in railway transport. *Dependability*, 23(3), 38–45. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2023-23-3-38-45> (in Russian)
- [5] Shubinskiy, I. B., Rozenberg, E. N., & Bochkov, A. V. (2024). *Reliability, risks, and safety of control systems in railway transport*. Infra-Inzheneriya. (in Russian)
- [6] Bochkov, K. A., Kharlap, S. N., & Litvinov, E. P. (2025). Review of architecture, features and methods of ensuring safety in automated control systems for critical technological processes of railway transport. In *Problemy bezopasnosti na transporte: Materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pyatiletke kachestva* (pp. 140–143). Belorusskiy gosudarstvennyy universitet transporta. (in Russian)
- [7] Rozenberg, E. N., Popov, P. A., Talalayev, D. V., Olshanskiy, A. M., & Boyarinova, N. A. (2022). General approaches to safety justification of autonomous systems. *Automation, Communications, Informatics*, (1), 2–9. (in Russian)
- [8] Rozenberg, E. N., Dezhkov, M. A., & Novikov, V. G. (2025). Application of virtual coupling technology at the Eastern polygon. *Automation, Communications, Informatics*, (8), 7–11. <https://doi.org/10.62994/AT.2025.8.8.002> (in Russian)
- [9] Felez, J., & Vaquero-Serrano, M. A. (2023). Virtual coupling in railways: A comprehensive review. *Machines*, 11(5), Article 521. <https://doi.org/10.3390/machines11050521>
- [10] Dolgiy, A. I., & Sukhanov, A. V. (2026). Fuzzy-logic approach to automatic analysis of freight station indicators based on “from the wheel” data. In *Intellektualnyye transportnyye sistemy: Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Moskva, 21 maya 2026 g.)* (pp. 139–145). RUT (MIIT). <https://doi.org/10.30932/9785002709564-2026-139-145> (in Russian)
- [11] Dolgiy, A. I., Khatlamadzhian, A. E., Olgeyzer, I. A., & Sukhanov, A. V. (2025). Classification of railway station operation modes based on real “from the wheel” data. *Vestnik RGUPS*, (1(97)), 58–68. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2025_1_58 (in Russian)
- [12] Khatlamadzhian, A. E., Olgeyzer, I. A., Sukhanov, A. V., & Iyerusalimov, V. S. (2024). Formation of objective indicators of marshalling yard operation based on “from the wheel” data. *Automation on Transport*, 10(3), 254–268. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2024-10-03-254-268> (in Russian)
- [13] Goverde, R. M. P. (2007). Railway timetable stability analysis using max-plus system theory. *Transportation Research Part B*, 41(2), 179–201. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2006.02.003>
- [14] D’Ariano, A., Corman, F., Pacciarelli, D., & Pranzo, M. (2008). Reordering and local rerouting strategies to manage train traffic in real time. *Transportation Science*, 42(4), 405–419. <https://doi.org/10.1287/trsc.1080.0247>
- [15] Lusby, R. M., Larsen, J., Ehrgott, M., & Ryan, D. (2011). Railway track allocation: Models and methods. *OR Spectrum*, 33(4), 843–883. <https://doi.org/10.1007/s00291-009-0189-0>
- [16] Corman, F., D’Ariano, A., Pacciarelli, D., & Pranzo, M. (2012). Bi-objective conflict detection and resolution in railway traffic management. *Transportation Research Part C*, 20(1), 79–94. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.09.009>
- [17] Andreyev, V. E., Dolgiy, A. I., Kudyukin, V. V., Khatlamadzhian, A. E., Grishayev, S. Yu., & Olgeyzer, I. A. (2023). Digital railway station – from concept to real implementation. *Automation, Communications, Informatics*, (9), 2–6. <https://doi.org/10.34649/AT.2023.9.9.001> (in Russian)

- [18] Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., & Lin, Y.-H. (2023). Digital twins for managing railway bridge maintenance, resilience, and climate change adaptation. *Sensors*, 23(1), Article 252. <https://doi.org/10.3390/s23010252>
- [19] van Dinter, R., Tekinerdogan, B., & Catal, C. (2022). Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 151, Article 107008. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107008>
- [20] Padovano, A., Longo, F., Manca, L., & Grugni, R. (2024). Improving safety management in railway stations through a simulation-based digital twin approach. *Computers & Industrial Engineering*, 187, Article 109839. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109839>
- [21] Zhang, J., & Zhang, J. (2023). Artificial intelligence applied on traffic planning and management for rail transport: A review and perspective. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Article 1832501. <https://doi.org/10.1155/2023/1832501>
- [22] Rozenberg, I. N. (Ed.). (2021). *Proceedings of JSC "NIIAS"* (Issue 11, Vol. 3, pp. 7–68). T8 Izdatelskiye Tekhnologii. (in Russian)
- [23] Chen, M., Tworek, J., Jun, H., Yuan, Q., Ponde de Oliveira Pinto, H., Kaplan, J., Edwards, H., Burda, Y., Joseph, N., Brockman, G., Ray, A., Puri, R., Krueger, G., Petrov, M., Khlaaf, H., Sastry, G., Mishkin, P., Chan, B., Gray, S., ... Zaremba, W. (2021). *Evaluating large language models trained on code* (arXiv:2107.03374). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.03374>
- [24] Greshake, K., Abdelnabi, S., Mishra, S., Endres, C., Holz, T., & Fritz, M. (2023). Not what you've signed up for: Compromising real-world LLM-integrated applications with indirect prompt injection. In *Proceedings of the 16th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security (AISec '23)* (pp. 79–90). ACM. <https://doi.org/10.1145/3605764.3623985>
- [25] Moiseyev, V. V. (2022). Ensuring cybersecurity of microprocessor and relay-processor interlocking systems on the network of JSC "Russian Railways": Prospects and practical application of protection tools. *Automation on Transport*, 8(3), 266–275. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2022-8-03-266-275> (in Russian)
- [26] Letskiy, E. K., & Gurov, A. I. (2025). Integration of artificial intelligence into functional testing of critical information infrastructure of railway transport. *Intellectual Technologies on Transport*, (1), 14–19. <https://doi.org/10.20295/2413-2527-2025-141-14-19> (in Russian)
- [27] De Donato, L., Flammini, F., Marrone, S., Mazzariello, C., Nardone, R., Sansone, C., & Vittorini, V. (2022). A survey on audio-video based defect detection through deep learning in railway maintenance. *IEEE Access*, 10, 65376–65400. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3183102>
- [28] Alif, M. A. R., Tucker, G., & Hussain, M. (2026). Advances in computer vision for comprehensive railway engineering: From track inspection to rolling stock and safety monitoring. *Railway Engineering Science*. <https://doi.org/10.1007/s40534-026-00434-7>
- [29] Olivier, B., Guo, F., Qian, Y., & Connolly, D. P. (2025). A review of computer vision for railways. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 26(7), 11034–11065. <https://doi.org/10.1109/TITS.2025.3552011>
- [30] Kumar, A., & Harsha, S. P. (2025). A systematic literature review of defect detection in railways using machine vision-based inspection methods. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 18, 207–226. <https://doi.org/10.1016/j.ijstst.2024.06.006>
- [31] Dolgiy, A. I., Khatlamadzhyan, A. E., Olgeyzer, I. A., Sukhanov, A. V., & Korniyenko, K. I. (2022). Innovative machine vision algorithms for diagnosing the longitudinal profile of marshalling tracks. *Automation, Communications, Informatics*, (8), 7–9. <https://doi.org/10.34649/AT.2022.8.8.002> (in Russian)
- [32] Olgeyzer, I. A., Sukhanov, A. V., Lyashchenko, A. M., & Glazunov, D. V. (2022). Computer vision as a way of intellectualizing hump automation systems. *Engineering Automation Problems*, (1), 46–53. https://doi.org/10.52261/02346206_2022_1_46 (in Russian)
- [33] Vasilyeva, S. A., & Lokhach, A. V. (2023). Automation of lateral rail wear prediction in curves as an element of predictive analysis of track condition. *Put i putevoye khozyaystvo*, (11), 5–7. (in Russian)

- [34] Ristić-Durrant, D., Franke, M., & Michels, K. (2021). A review of vision-based on-board obstacle detection and distance estimation in railways. *Sensors*, 21(10), Article 3452. <https://doi.org/10.3390/s21103452>
- [35] Pappaterra, M. J., Flammini, F., Vittorini, V., & Bešinović, N. (2021). A systematic review of artificial intelligence public datasets for railway applications. *Infrastructures*, 6(10), Article 136. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6100136>
- [36] Gan, J., Li, Q., Wang, J., & Yu, H. (2017). A hierarchical extractor-based visual rail surface inspection system. *IEEE Sensors Journal*, 17(23), 7935–7944. <https://doi.org/10.1109/JSSEN.2017.2761858>
- [37] Yarmolinskiy, F. A., Pokrovskaya, O. D., Pasechnik, E. D., Pakulina, E. V., & Trapeznikov, A. A. (2024). Features of using Big Data in the study of freight flows in railway transport. *Bulletin of Research Results*, (1), 107–122. <https://doi.org/10.20295/2223-9987-2024-01-107-122> (in Russian)
- [38] Gurgenidze, I. R., Kuranin, B. N., Lysikov, M. G., Lyashenko, S. I., Stepanov, A. V., & Tororoshenko, S. V. (2014). *Method of train traffic control using variant schedules* (Russian Federation Patent No. 2524505 C1). OAO “NIIAS”. (in Russian)
- [39] Zhang, Q., Lusby, R. M., Shang, P., & Zhu, X. (2022). A heuristic approach to integrate train timetabling, platforming, and railway network maintenance scheduling decisions. *Transportation Research Part B*, 158, 210–238. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.02.002>
- [40] Sidorenko, V. G., Kulagin, M. A., & Rodina, A. E. (2025). Impact of digitalization of urban rail transport systems on train planning and traffic management processes. *Automation on Transport*, 11(1), 30–43. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2025-11-01-30-43> (in Russian)
- [41] Alekseyev, V. M., Baranov, L. A., Kulagin, M. A., & Sidorenko, V. G. (2021). Building the architecture of an intelligent control system for an urban rail transport system. *World of Transport and Transportation*, 19(1), 18–46. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-18-46> (in Russian)
- [42] Sidorenko, V. G., Loginova, L. N., & Safronov, A. I. (2023). Development of information support for an intelligent control system of urban rail transport systems. *Automation on Transport*, 9(2), 178–192. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2023-9-02-178-192> (in Russian)
- [43] Sidorenko, V. G., Kopylova, E. V., Safronov, A. I., & Tumanov, M. A. (2023). Experience and prospects of automation of transportation process management for high-speed transport in urban agglomerations. *Automation on Transport*, 9(1), 33–48. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48> (in Russian)
- [44] Tarasov, K. A., Shein, M. Yu., & Boyarinova, N. A. (2026). ACS “KAMA”: Energy-optimal operation of a train package. *Zheleznodorozhnyy transport*, (5), 18–19. (in Russian)
- [45] Kononov, A. F., Makogon, V. D., Khatlamadzhiyan, A. E., & Shapekin, A. E. (2026). Projects in the field of robotization. *Automation, Communications, Informatics*, (3), 15–17. <https://doi.org/10.62994/AT.2026.3.3.003> (in Russian)
- [46] Kupriyanovskiy, V. P., Pokusayev, O. N., Volokitin, Yu. I., Namiot, D. E., Petrunina, I. P., & Zazhigalkin, A. V. (2018). Formalized ontologies and services for high-speed railways and the digital railway. *International Journal of Open Information Technologies*, 6(3), 69–86. (in Russian)
- [47] Kasch, J., & Ahmadian, M. (2024). Design and operational assessment of a railroad track robot for railcar undercarriage condition inspection. *Designs*, 8(4), Article 70. <https://doi.org/10.3390/designs8040070>
- [48] Liu, H., Rahman, M., Rahimi, M., Starr, A., Durazo-Cardenas, I., Ruiz-Carcel, C., Ompusunggu, A., Hall, A., & Anderson, R. (2023). An autonomous rail-road amphibious robotic system for railway maintenance using sensor fusion and mobile manipulator. *Computers & Electrical Engineering*, Article 108874. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108874>
- [49] Daniyan, I. A., Mpofu, K., & Nwankwo, S. O. (2023). Design of a robot for inspection and diagnostic operations of rail track facilities. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(3), 653–673. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2020-0083>

- [50] Brohan, A., Brown, N., Carbajal, J., Chebotar, Y., Chen, X., Choromanski, K., Ding, T., Driess, D., Dubey, A., Finn, C., Florence, P., Fu, C., Gonzalez Arenas, M., Gopalakrishnan, K., Han, K., Hausman, K., Herzog, A., Hsu, J., Ichter, B., ... Zitkovich, B. (2023). *RT-2: Vision-language-action models transfer web knowledge to robotic control* (arXiv:2307.15818). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.15818>
- [51] O'Neill, A., Rehman, A., Maddukuri, A., Gupta, A., Padalkar, A., Lee, A., Pooley, A., Gupta, A., Mandlekar, A., Jain, A., Tung, A., Bewley, A., Herzog, A., Irpan, A., Khazatsky, A., Rai, A., Gupta, A., Wang, A., Singh, A., ... Lin, Z. (2024). Open X-Embodiment: Robotic learning datasets and RT-X models. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA57147.2024.10611477>
- [52] Kim, M. J., Pertsch, K., Karamcheti, S., Xiao, T., Balakrishna, A., Nair, S., Rafailov, R., Foster, E., Lam, G., Sanketi, P., Vuong, Q., Kollar, T., Burchfiel, B., Tedrake, R., Sadigh, D., Levine, S., Liang, P., & Finn, C. (2024). *OpenVLA: An open-source vision-language-action model* (arXiv:2406.09246). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.09246>
- [53] Popov, P. A. (2020). Application of advanced technologies for automatic operation at the Moscow Central Circle. *Zheleznodorozhnyy transport*, (11), 17–21. (in Russian)
- [54] Zhao, Y., Zhao, L., Cheng, B., Yao, G., Wen, X., & Gao, H. (2025). *VLA-RAIL: A real-time asynchronous inference linker for VLA models and robots* (arXiv:2512.24673). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2512.24673>
- [55] Kudyukin, V. V., Vukolov, A. V., & Kuzmin, V. S. (2025). Simulation modeling of robotic complexes designed for train breaking-up at marshalling humps. *Automation on Transport*, 11(1), 16–29. <https://doi.org/10.20295/2412-9186-2025-11-01-16-29> (in Russian)