Сетевой научно-практический журнал

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

НИИАС

№2 (34)
ИЮНЬ 2025

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

ТРАНСПОРТНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

• ТРАНСПОРТ • НАУКА • ТЕХНОЛОГИИ •

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ **ТРАНСПОРТ**

Сетевой научно-практический журнал «Интеллектуальный транспорт»

Издается с 2017 года

Издатель:

АО «НИИАС»

Адрес редакции:
109029, г. Москва, Нижегородская ул., дом 27, строение 1

Email: journal@vniias.ru
Телефон: +7 (916) 433-60-72
Сайт: http://www.intelligent-transport.ru/

Свидетельство о регистрации

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

1.2. Компьютерные науки и информатика (1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение (физико-математические науки))

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

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

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

Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Суханов Андрей Валерьевич
к.т.н., доцент, заместитель начальника Отделения инновационных и интеллектуальных технологий цифровой станции Ростовского филиала АО «НИИАС»

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Розенберг Ефим Наумович
д.т.н., профессор, первый заместитель генерального директора АО «НИИАС»

Соловьева Юлия Геннадьевна
Ответственный секретарь журнала, главный специалист Департамента корпоративных коммуникаций АО «НИИАС»

Алиев Вугар Амирович
д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник Института физики Республики Азербайджан

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

Бочков Константин Афанасьевич
д.т.н., профессор «БелГУТ» (Республика Беларусь)

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

Бутакова Мария Александровна
д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Ростовского филиала АО «НИИАС»

Грибова Валерия Викторовна
чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе ДВО РАН (г. Владивосток)

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

Гуров Юрий Владимирович
к.т.н., начальник Центра разработки программного обеспечения Ростовского филиала АО «НИИАС»

Долгий Игорь Давидович
д.т.н., профессор, Научный руководитель лаборатории РГУПС

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

Коваленко Николай Иванович
д.т.н., профессор РУТ (МИИТ)

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

Ли Инь
к.ф.-м.н., доцент Харбинского технологического института (КНР)

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

Ольгейзер Иван Александрович
к.т.н., доцент, первый заместитель директора Ростовского филиала АО «НИИАС»

Папич Любиша
д.т.н., профессор, директор Исследовательского центра DQM (Республика Сербия)

Попов Павел Александрович
к.т.н., заместитель генерального директора – директор Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС»

Сабанов Алексей Геннадьевич
д.т.н., главный эксперт Научно-технического комплекса технологий информационного общества АО «НИИАС»

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

Хабаров Валерий Иванович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой СГУПС (г. Новосибирск)

Хатламаджиян Агоп Ервандович
к.т.н., доцент, заместитель генерального директора АО «НИИАС»

Чжан Дачжи
Профессор Харбинского технологического института (КНР)

Шабалин Николай Григорьевич
д.т.н., профессор, руководитель Департамента научных исследований, аналитики и совершенствования научно-технической деятельности АО «НИИАС»

Шубинский Игорь Борисович
д.т.н., профессор, главный эксперт Департамента научных исследований, аналитики и совершенствования научно-технической деятельности АО «НИИАС»

Юдин Дмитрий Александрович
к.т.н., старший научный сотрудник, заведующий лабораторией МФТИ

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЗОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОВРЕМЕННЫМ НАУЧНЫМ ДОСТИЖЕНИЯМ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА

Бочков А.В.
ОБЗОР ЗАСЕДАНИЙ СЕКЦИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА АО «НИИАС» В ПЕРВОМ ПОЛУГОДИИ 2025 ГОДА 4

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Соколова О.И., Зырянкина К.Э.
МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ, ИХ АРХИТЕКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ 30

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Озеров А.В., Бочков А.В.
ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МИРОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 43

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

Булавин Ю.П., Игнатьева О.В.
АНАЛИЗ ДАННЫХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКОМ ПОЕЗДОВ НА УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ «ВИРТУАЛЬНАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА» 67

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Сергиенко Ю.А.
ОРГАНИЗАЦИЯ СРЕДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ АС АПВО-2 АНАЛИТИКА 74

ТРАНСПОРТНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

Охотников А.Л.
ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОЕЗДОМ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ И ВАРИАНТЫ ИХ РАСЧЕТОВ 80

Жанказиев С.В., Гаврилюк М.В., Давидчук М.С.
ПОДСИСТЕМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В СОСТАВЕ ИТС 90

ОБЗОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОВРЕМЕННЫМ НАУЧНЫМ ДОСТИЖЕНИЯМ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА

УДК: 338.32; 347.763.4

ОБЗОР ЗАСЕДАНИЙ СЕКЦИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА АО «НИИАС» В ПЕРВОМ ПОЛУГОДИИ 2025 ГОДА

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

АННОТАЦИЯ

В представлены ключевые направления научно-технологического развития АО «НИИАС» за первое полугодие 2025 года, включая внедрение интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте, автоматизацию процессов закрепления подвижного состава, исследования надежности элементов конструкций при циклических нагрузках, интеграцию цифровых технологий (LTE) в систему МАЛС, а также технико-экономические аспекты роботизации отрасли. Особое внимание уделено риск-ориентированным подходам, междисциплинарному сотрудничеству и разработке методик оценки эффективности инновационных решений.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, цифровизация железнодорожного транспорта, роботизация, надежность подвижного состава, LTE-технологии, риск-ориентированный подход

REVIEW OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL COUNCIL OF JSC "NIAS" SECTIONS MEETINGS IN THE FIRST HALF OF 2025

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

ABSTRACT

The digest presents the key areas of scientific and technological development of NIIAS JSC for the first half of 2025, including the implementation of intelligent control systems in railway transport, automation of the processes of fastening rolling stock, research into the reliability of structural elements under cyclic loads, integration of digital technologies (LTE) into the MALS system, as well as technical and economic aspects of robotization of industry. Special attention will be paid to risk-oriented approaches, interdisciplinary cooperation and the development of methods for evaluating the effectiveness of innovative solutions.

Keywords: artificial intelligence, predictive analytics, railway systems, risk, intelligent transport systems, conceptual design.

Введение

Современные вызовы, стоящие перед железнодорожной отраслью, требуют комплексного подхода к внедрению инновационных решений, направленных на повышение безопасности, надежности и экономической эффективности эксплуатации подвижного состава и инфраструктуры. В этом выпуске дайджеста мы собрали ключевые темы, обсуждавшиеся на профильных заседаниях секций НТС АО «НИИАС» в первом полугодии 2025 года, где эксперты рассмотрели актуальные вопросы механизации, автоматизации, цифровизации и роботизации железнодорожных процессов.

Одним из важнейших направлений развития является **совершенствование методов закрепления и заграждения подвижного состава в парках станций**. Внедрение механизированных и автоматизированных систем в этой сфере позволяет минимизировать человеческий фактор, сократить время выполнения операций и повысить уровень безопасности при маневровой работе.

Не менее значимой темой стало **изучение надежности и ресурса элементов подвижного состава при циклическом нагружении**. Постоянные динамические нагрузки, воздействующие на узлы и детали вагонов и локомотивов, приводят к постепенному износу, что требует разработки новых подходов к проектированию, обслуживанию и ремонту техники для продления ее жизненного цикла.

Особый интерес вызвало **рассмотрение результатов внедрения цифровой широкополосной системы передачи данных на основе стандарта LTE** в рамках проекта модернизации системы МАЛС на ЦЖС Челябинск-Главный. Эта работа демонстрирует перспективы интеграции современных телекоммуникационных технологий в управление движением поездов, обеспечивая высокую пропускную способность и надежность передачи данных.

Кроме того, участники заседаний обсудили **технико-экономические аспекты роботизации в железнодорожной отрасли**. Внедрение робототехнических комплексов сталкивается не только с технологическими, но и с организационно-экономическими сложностями, требующими разработки методик оценки эффективности и поиска оптимальных решений для их масштабирования. Эти вопросы обсуждались на совместном заседании Научного совета по робототехнике и мехатронике Российской академии наук, под председательством академика РАН Феликса Леонидовича Черноусько и профильных секций НТС АО «НИИАС».

Широкое обсуждение вызвали **вопросы обеспечения функциональной безопасности проекта «Цифровая железнодорожная станция»**, который является ключевым направлением, направленным на повышение надежности и эффективности железнодорожных систем. В рамках проекта применяется релейно-процессорный подход, где программный уровень реализует основной функционал, а релейный — обеспечивает безопасность. Выделено пять критически важных модулей (Контуры безопасности), включая системы автоматического управления движением (МАЛС), управления сортировочными процессами (КСАУ СП), роспуска опасных грузов (ИКАР ОГ), радиотехнические комплексы (РТК) и заградительные устройства. Для этих модулей разработаны доказательства безопасности, а их соответствие стандартам подтверждается низкой интенсивностью отказов, например, для КСАУ СП — $1{,}2\times10^{-7}$ 1/час, что значительно ниже допустимого значения. Внедрение таких систем, как СККСП для контроля свободности пути, также способствует снижению влияния человеческого фактора, несмотря на сложности, связанные с использованием нейросетевых алгоритмов и отсутствием четких стандартов. Отмечено, что особое внимание уделяется безопасности при работе с опасными грузами, где риски включают взрывы, возгорания и утечки. Комплекс ИКАР ОГ, с вероятностью отказа 8×10^{-9} 1/час, обеспечивает автоматизированный роспуск вагонов с двойным резервированием и блокировкой ручного вмешательства. Аналогично, системы автоматизированного закрепления, такие как УТС-380 и ДУЗС, минимизируют риск самопроизвольного движения составов, соответствуя строгим требованиям стандартов (интенсивность отказов $\leq1\times10^{-7}$–10^{-9} 1/ч). Все эти меры, включая многоуровневый контроль и резервирование критических компонентов, позволяют достичь высокого уровня безопасности, что подтверждается статистикой эксплуатации. Дальнейшее развитие проекта »»

направлено на интеграцию новых технологий, таких как нейросети и IoT, при сохранении жестких требований к функциональной безопасности.

Представленные темы отражают многогранность задач, стоящих перед отраслью, и подчеркивают необходимость междисциплинарного подхода к их решению. В данном дайджесте обобщены ключевые идеи, предложения и выводы, прозвучавшие в ходе дискуссий, чтобы читатели могли ознакомиться с наиболее значимыми тенденциями и инновациями.

1. Механизация и автоматизация процессов закрепления и заграждения подвижного состава в парках станции

24 февраля 2025 г. состоялось заседание секции № 4 «Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (включая сортировочный комплекс)» Научно-технического совета АО «НИИАС».

1.1. Работы института в части расчетов, разработки систем управления и позиционирования в устройствах закрепления представил Ольгейзер И.А., первый заместитель директора Ростовского филиала АО «НИИАС». И. Ольгейзер отметил, что в 2023-2024 годах АО «НИИАС» реализовало комплексный подход к автоматизации закрепления железнодорожных составов на станциях. Основные усилия были направлены на разработку инновационных технических решений, проведение испытаний, создание систем управления и внедрение организационных мер для повышения безопасности и эффективности процессов.

Ключевые направления работы

- Разработка и внедрение комбинированных схем закрепления. Для обеспечения безопасности на путях с разными уклонами предложены комбинированные схемы с использованием устройств УТС-380, ДУЗС и ЗУБР. На путях с уклонами до 1,0% применяются ДУЗС или сочетание УТС-380 с ЗУБР, а на более крутых уклонах — комбинация УТС-380 с ДУЗС. Испытания подтвердили надежность схемы ДУЗС+УТС-380 при закреплении груженых составов массой до 6300 т. Однако при работе с порожними вагонами выявлены ограничения, требующие перераспределения усилий и увеличения числа ДУЗС.
- Создание и испытания комплекса «ПРИЦЕЛ». Комплекс «ПРИЦЕЛ» разработан для позиционирования и контроля закрепления составов. Опытный образец успешно прошел предварительные испытания и установлен на станции Челябинск-Главный. В 2025 году запланированы его доработка, опытная эксплуатация и ввод в постоянную работу.
- Развитие систем управления. Программно-аппаратный комплекс ПАК КУЗС обеспечивает автоматическое управление устройствами закрепления. Параллельно ведется разработка блока БМК-УЗС для интеграции с другими системами. Оба решения готовы к опытной эксплуатации в 2025 году.
- Организационные меры и перспективы. Для повышения безопасности исключено закрепление груженых составов за порожние вагоны. Оптимальным решением признано использование трех групп ДУЗС, что позволит автоматизировать 99% операций на станции Челябинск-Главный.

В 2025 году планируется перемонтаж устройств, испытания доработанных схем и их внедрение в парках станции. Также рассматривается применение новых балочных устройств, таких как ЗУБР 2.0 и УЗС, разрабатываемых в рамках импортозамещения.

Работы АО «НИИАС» заложили основу для перехода к автоматизированному закреплению составов, что повысит безопасность и сократит время операций. В 2025 году ключевые системы, включая «ПРИЦЕЛ» и ПАК КУЗС, будут выведены на этап постоянной эксплуатации, обеспечивая новый уровень эффективности на железнодорожных станциях.

1.2. Компания КРЭТ, ОКБ «Электроавтоматика им. П.А. Ефимова», представила доклад, посвященный домкратовидным вагонным замедлителям (ДЗ) и приводу управления ими. Докладчик — Сергей Валерьевич Мордович, начальник Департамента продукции гражданского назначения.

Домкратовидный вагонный замедлитель (ДЗ) модели ЮИДА.665152.001 предназначен для торможения подвижного состава со скоростью не более 25 км/ч. Заводская настройка »»

позволяет регулировать скорость срабатывания торможения: более 5 км/ч, более 3 км/ч или более 0 км/ч. Максимальное вертикальное тормозящее усилие составляет 2,5 тс, а рабочий ход скользящего цилиндра — 105 мм. Устройство обеспечивает работу торможения не менее 1050 Дж и работу холостого хода менее 50 Дж. Замедлитель совместим с рельсами типа Р65 и работает в диапазоне температур от -60°С до +40°С. Масса устройства не превышает 21 кг.

Испытания проводились на станции Шушары Октябрьской железной дороги. Замедлители были установлены на прямом участке пути, и испытания начались 16.05.2024, завершившись в феврале 2025 года.

Испытания подтвердили соответствие замедлителей техническим требованиям. Скорость движения подвижного состава в зоне установки варьировалась от 0,5 до 24,8 км/ч. Вертикальное тормозящее усилие находилось в диапазоне от 1,64 до 2,97 тс, а работа торможения — от 1051,4 до 1662,2 Дж. Работа холостого хода составила от 25,4 до 37,6 Дж. Время перемещения поршня из нижнего положения в верхнее — 0,2 с, что значительно меньше допустимого значения в 1 с.

Привод ПУЗ предназначен для управления группой из 10 замедлителей, включая вагоны с опасными грузами 2 класса. Питание привода осуществляется от однофазного источника переменного тока (180-230 В, 50 Гц). Блок управления, разработанный на отечественной элементной базе, поддерживает интерфейс RS-485 для контроля и управления.

К февралю 2025 года завершена разработка конструкторской документации, изготовлен опытный образец, и проведены предварительные заводские испытания. В апреле 2025 года запланированы эксплуатационные испытания в составе системы «ИКАР ОГ» на станции Челябинск-Главный.

Таким образом, домкратовидные вагонные замедлители и привод управления показали высокую эффективность и соответствие заявленным характеристикам. Их внедрение позволит повысить безопасность и надежность работы сортировочных гор на железных дорогах.

1.3. ЗАО Концерн «ТРАНСМАШ» (Докладчик: Коротовских А.А. технический директор ЗАО Концерн «ТРАНСМАШ») представил линейку устройств, предназначенных для обеспечения безопасности на железнодорожных путях. Эти устройства играют ключевую роль в предотвращении несанкционированного перемещения вагонов и отцепов, особенно на сортировочных и станционных путях.

Одним из основных продуктов является устройство заграждения БЗУ-ДУ-СП2К. Оно предназначено для установки в конце путей сортировочного парка, где обеспечивает остановку и закрепление вагонов, предотвращая их выход за пределы установленной зоны. БЗУ-ДУ-СП2К может использоваться как самостоятельно, так и в составе комплексных систем закрепления. Устройство оснащено концевыми выключателями, бесконтактными датчиками и системами контроля положения тормозных балок, что повышает его надежность. Технические характеристики устройства включают такие параметры, как усилие удержания (не менее 34,5 кг), максимальная масса останавливаемого состава (до 450 кг), а также габаритные размеры (длина до 8000 мм). Устройство работает в широком диапазоне условий, включая различные климатические исполнения.

Еще одним важным продуктом является закрепляющее устройство ЗУБР. Оно предназначено для удержания вагонов и отцепов на станционных путях, предотвращая их самопроизвольное перемещение. ЗУБР рассчитан на эксплуатацию в умеренном климате с температурным диапазоном от минус 40°С до плюс 40°С. Устройство обладает высокой надежностью, с усилием удержания до 15 тс и массой не более 10 000 кг. Габаритные размеры ЗУБР включают длину по рельсам до 12 500 мм и ширину до 5 000 мм. Время перехода из одного состояния в другое не превышает 45 секунд, что делает его эффективным для оперативного использования.

Для работы с тяжелыми составами, включая составы с опасными грузами, предназначено устройство УВУ (ЗУБР весовой). Оно обеспечивает надежное удержание составов на приёмоотправочных путях. УВУ работает в экстремальных условиях, выдерживая температуры от минус 45°С до плюс 55°С. Устройство оснащено гидравлическим приводом, что позволяет ему эффективно поднимать ходовые рельсы за время не более 1,5 минут. Номинальное напряжение силовых цепей составляет 380 В, а цепи управления работают от 24 В. Ширина колеи в пределах устройства УВУ соответствует стандарту 1524±1 мм, ›››

а тип рельсов — Р65. Устройство обеспечивает боковой зазор между тормозными и ходовыми рельсами, что гарантирует безопасность при прохождении составов.

Концерн «ТРАНСМАШ» также активно разрабатывает новые модели устройств, такие как ЗУБР 2.0 с усиленной рамой, ЗУБР ВК (электромеханическая версия без гидравлики), БЗУ-ДУ-СП2КМ для кривых малого радиуса, и БЗУ-ДУ-СП4К с четырьмя балками. Перспективные разработки включают стояночный тормоз, упор рычажный автоматический, УТС А (упор тормозной станционный-автомат), ЗУБ ГПМ на базе гидропоршневых модулей и устройства для погашения энергии тяжелых отцепов. Эти инновации направлены на повышение безопасности и эффективности работы железнодорожного транспорта.

Концерн «ТРАНСМАШ» продолжает развивать свои технологии, предлагая решения для самых сложных задач в области закрепления и заграждения подвижного состава. Благодаря многолетнему опыту и инновационному подходу, компания остается лидером в этой отрасли.

На заседании были заслушаны предложения ведущего научного сотрудника ЦАТПИК, к.т.н. Корниенко Константина Ильича на тему «Функциональная безопасность автоматических комплексов закрепления». Отмечено, что при разработке и проектировании необходимо принимать во внимание исключение выезда подвижного состава за границы пути (опасный отказ). Это возможно только за счет комбинирования разных устройств в единой схеме. Для обеспечения безопасности требуется принять подход к допуску на инфраструктуру комплексных автоматизированных систем закрепления.

С целью расширения требований безопасности при контроле и управлении автоматизированными системами закрепления подвижного состава необходимо инициировать пересмотр: ГОСТ33894-2016. Межгосударственный стандарт. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля, а также Устройства закрепления вагонов. Технические требования №1699 от 18.09.2023.

1.4. Представители ООО «РМЗ» (Челябинская область, г. Златоуст) представили устройство закрепления (заграждения) составов УЗС, которое было разработано и изготовлено специалистами ООО «РМЗ» в 2020 году. Оно предназначено для закрепления составов на приемоотправочных станционных путях, а также для остановки и удержания движущихся вагонов на сортировочных и сортировочно-отправочных путях, предотвращая их несанкционированный выход за пределы парка. Устройство эксплуатируется на открытом воздухе в умеренном климате, выдерживая температуры от минус 45°С до плюс 40°С и относительную влажность до 100% при 25°С. Главная задача УЗС — повышение безопасности движения, исключение ручного труда и вывод персонала из опасной зоны.

УЗС представляет собой тормозное устройство балочной конструкции, смонтированное на бетонном основании, с тормозными балками, расположенными вдоль рельсов. Устройство имеет два положения: заторможенное и расторможенное. В его состав входят пневмоцилиндры, тормозные балки, рычаги, тяги, пружины и другие элементы, обеспечивающие надежное функционирование.

Основные технические характеристики УЗС включают: рабочее напряжение постоянного тока 24±9 В, давление сжатого воздуха 0,8 МПа, удельную тормозную мощность не менее 0,025 м. эн. в, время переключения между положениями не более 20 секунд, усилие удержания на тележку вагона не менее 35 кН, максимальную рабочую скорость входа вагона 1,4 м/с и массу устройства до 10 000 кг. Габаритные размеры устройства не превышают 3500 мм в длину, 3350 мм в ширину и 600 мм в высоту.

Преимущества УЗС включают универсальность применения на различных путях, наличие защитного кожуха для повышения безопасности, пневматический привод для простоты обслуживания, долговечность за счет железобетонного основания, систему обдува для очистки от снега и не требующие смазки элементы, что облегчает обслуживание.

Устройство УЗС является современным решением для повышения безопасности и эффективности работы железнодорожной инфраструктуры.

1.5. Научно-производственный центр «Промэлектроника» представил разработанный им комплекс технических средств автоматизированного закрепления подвижного состава на станционных путях (КТС АЗС). Этот инновационный проект направлен на повышение »»

безопасности и эффективности работы железнодорожного транспорта. Главный конструктор системы — Денис Анатольевич Ягов, который возглавляет разработку и внедрение решений в области железнодорожной автоматики и телемеханики.

КТС АЗС предназначен для автоматизированного закрепления тяжеловесных поездов на приемоотправочных путях с уклонами, исключая необходимость использования тормозных башмаков и привлечения сигналистов. Комплекс включает стационарные тормозные упоры тяжелого типа, подсистему управления приводами, органы центрального управления и подсистему прицельной остановки поезда. Система способна удерживать составы массой до 10 тыс. тонн на путях с уклоном до 0,003 и до 5 тыс. тонн на уклонах до 0,006. Опытная эксплуатация системы уже проводится на станции Билимбай Свердловской железной дороги.

Тормозной упор, используемый в КТС АЗС, состоит из двух модулей: закрепляющего (МЗ) и поглощающего (МП). Модуль поглощающий предотвращает критический перекос надрессорной балки тележки, обеспечивая безопасность и надежность закрепления. Управление тормозными упорами осуществляется либо централизованно дежурным по станции (ДСП), либо локально уполномоченным работником через пульт местного управления. Важно отметить, что система исключает возможность одновременного управления с разных постов, что повышает её безопасность.

Закрепление поезда происходит за колесные пары первого и второго вагонов со стороны нижней точки уклона. Это гарантирует надежное удержание всего состава и предотвращает его несанкционированное движение. Подвижные элементы тормозного упора механически воздействуют на колесные пары по команде оператора, обеспечивая быстрое и точное закрепление.

Для обеспечения точной остановки поезда в системе предусмотрена подсистема прицельной остановки (ППОП). Она предоставляет машинистам данные, необходимые для остановки поезда в нужной позиции. Данные могут передаваться через специализированные напольные устройства или напрямую в локомотив по радиоканалу. Для работы подсистемы требуется оборудование горловин станции пунктами считывания параметров поезда (ПСПП).

В перспективе планируется дальнейшая автоматизация системы, включая внедрение роботов-расцепщиков и беспилотных локомотивов. Это позволит полностью исключить участие человека в процессах остановки и закрепления поездов, повысив безопасность и эффективность. Внедрение КТС АЗС будет происходить в два этапа: в 2025 году — в режиме местного управления, а в 2026 году — в режиме центрального управления.

Экономический эффект от внедрения системы включает сокращение времени закрепления, снижение эксплуатационных расходов, исключение простоя локомотивов и предотвращение сходов подвижного состава. Кроме того, система значительно повышает безопасность, исключая человеческий фактор и снижая риск травматизма и катастроф.

В докладе отмечено, что Научно-производственный центр «Промэлектроника» продолжает работу над совершенствованием КТС АЗС, предлагая современные решения для железнодорожной отрасли.

2. Надежность и ресурс элементов подвижного состава при циклическом нагружении

6 марта 2025 г. состоялось заседание № 7 постоянно действующего научно-методологического семинара НИИАС-ИМАШ РАН «Проблемы анализа эффективности, надёжности, функциональной безопасности и рисков в управлении активами железнодорожной отрасли России». В семинаре приняли участие специалисты РУТ (МИИТ) и ИПУ РАН.

2.1. Заслушан доклад «Надёжность и ресурс элементов подвижного состава при циклическом нагружении» (авторы: Н.А. Махутов, чл.-корр. РАН, В.С. Коссов, д.т.н., проф., Э.С. Оганьян, д.т.н.), представленный Оганьяном Эдуардом Сергеевичем (д.т.н., главный научный сотрудник Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), профессор, старший научный сотрудник, д.н., внешний совместитель / РУТ (МИИТ), Кафедра «Тяговый подвижной состав»). »»

В докладе отмечено, что в результате длительной работы экипажной части тягового подвижного состава (рамы и кузова, их шкворневых узлов, рам тележек, осей колесных пар и др.) под действием знакопеременных циклических нагрузок происходит деградация прочностных свойств металла деталей, снижается их сопротивление усталости, что может впоследствии привести к разрушению конструкции. Поэтому прочность конструкций локомотивов и вагонов необходимо подтверждать не только коэффициентами запаса, как предусмотрено действующими нормативами, но и расчетами на долговечность (ресурс), которые учитывают технические, конструкционные и эксплуатационные факторы, обусловливающие работоспособность и безопасность эксплуатации конструкций с заданными уровнями (надежности). Оценка ресурса и срока службы элементов конструкции выполняется расчетно-экспериментальными методами с использованием методов разработанных Институтом Машиноведения Российской академии наук (ИМАШ РАН), адаптированных к конструкциям железнодорожного подвижного состава на базе опыта их эксплуатации и с использованием данных накопленных ВНИКТИ.

Проблемы прочности, надежности и ресурса элементов конструкций железнодорожного подвижного состава (ПС) обусловливают необходимость совершенствования традиционных подходов к обеспечению их безопасной эксплуатации. Решение этих проблем возможно путем установления фактического состояния объекта с учетом накопленных в эксплуатации циклических, коррозионных, износных и других повреждений, определяющих наступление его предельного состояния на этапах жизненного цикла.

Следовательно, актуальным является научно-техническое обоснование безопасной эксплуатации объекта по ресурсу или предельному состоянию, в частности по сопротивлению усталости (мало- и многоцикловой) на основе расчетных, экспериментальных и эксплуатационных данных.

Поэтому прочность конструкций локомотивов и вагонов необходимо подтверждать не только коэффициентами запаса, как предусмотрено действующими нормативами (табл. 1), но и расчетами на долговечность (ресурс), которые учитывают технические, конструкционные и эксплуатационные факторы, обусловливающие работоспособность и безопасность эксплуатации конструкций с заданным уровнем надежности [1-5].

Таблица 1.

Критерии применяемые для оценки прочности

Подвижной состав	Оценка статической прочности по допускаемым напряжениям [1, 2]		Оценка сопротивления усталости по допускаемому коэффициенту запаса ***n*** [1, 2]
	I режим	III режим	
Локомотивы	$\sigma_э \le [\sigma] = 0{,}90 \cdot \sigma_{0,2}$	$\sigma_э \le [\sigma] = 0{,}55 \cdot \sigma_{0,2}$	$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \cdot \sigma_{aэ} + \psi \cdot \sigma_m} \ge 2$
Вагоны	$\sigma_э \le [\sigma] = 0{,}90 \cdot \sigma_{0,2}$	$\sigma_э \le [\sigma] = 0{,}60 \cdot \sigma_{0,2}$	$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \cdot \sigma_{aэ}} \ge 1{,}4 \ldots 1{,}8$

Примечание: $\sigma_э$ – эквивалентные (по Мизесу) напряжения в конструкции; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести материала; σ_{-1} – предел выносливости стандартного образца; K_σ – коэффициент понижения предела выносливости; $\sigma_{aэ}$ – амплитуды эксплуатационных циклических напряжений; σ_m – среднее напряжение цикла; ψ – коэффициент чувствительности к асимметрии цикла

Оценка долговечности и ресурса элементов конструкций выполняется расчетно-экспериментальными методами с использованием методов разработанных Институтом Машиноведения Российской академии наук (ИМАШ РАН), адаптированных к конструкциям железнодорожного подвижного состава на базе опыта их эксплуатации и с использованием накопленных АО «ВНИКТИ» результатов научно-исследовательских работ.

В основе применявшихся методов – корректированная линейная гипотеза (В.П. Когаев, Н.А. Махутов) суммирования усталостных повреждений Пальмгрена – Майнера [5]. Накопленная повреждаемость $\boldsymbol{a_p}$ принимается в этом случае в пределах от 0,5 до 2,0 (вместо 1,0).

Условие разрушения имеет вид:

$$\frac{N_{\text{сум}}}{N_0} = \frac{a_p}{n_p^m \cdot \sum_{\sigma_{amax} \geq \frac{1}{n_p}} \left(\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{amax}}\right)^m \cdot t_i}. \quad (1)$$

при $\sigma_{ai} \geq 0{,}5\ \sigma_{-1\partial}$, и коэффициенте перегрузки (предельный коэффициент нагруженности), определяемый выражением:

$$n_p = \frac{\sigma_{amax}}{\sigma_{-1д}} \quad (2)$$

где $\sigma_{a\,max}$ - максимальное напряжение в блоке нагружения, который вызывает разрушение детали при числе циклов $N\sum$; $\sigma_{-1\partial}$ – предел выносливости детали; отношение $t_i = \frac{n_i}{N_{\text{сум}}}$ количества циклов амплитуды к суммарному количеству циклов за весь срок службы детали, $N\sum$; N_0 - число циклов, соответствующее точке перелома кривой усталости; - показатель степени в уравнении наклонной ветви кривой усталости.

Для расчета долговечности, с целью учета эксплуатационных нагрузок различного уровня и имеющих случайный характер, формируют суммарный режим нагружения – блок или спектр эксплуатацонн нагрузок (табл. 2), представляемый распределением частостей, т.е. гистограмм (рис 1) или плотностью вероятностей амплитуд напряжений (рис. 2).

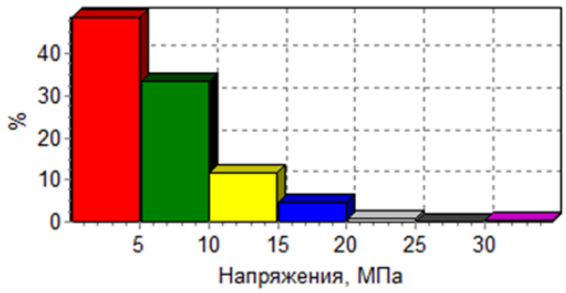

Рис. 1 – Гистограмма текущих значений амплитуд динамических напряжений в раме тележки тепловоза

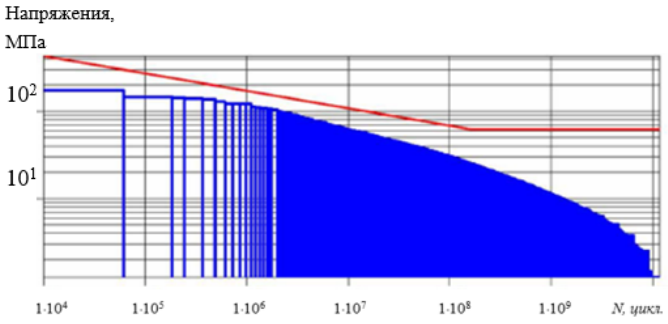

Рис. 2 – Спектр нагрузок (амплитуд напряжений)

В таблице 2 представлены результаты расчета ресурса боковой рамы тележки грузового вагона в зависимости от допускаемой (по ГОСТ 32400-2013 Литые детали тележек.Технические условия) технологической дефектности, моделируемой в расчете в виде трещиноподобного дефекта.

Таблица 2.

Блок нагружения в виде ступенчатой последовательности амплитуд σ_{ai} с числом циклов n_j и их распределением в относительных величинах

σ_{ai}, МПа	n_i, МПа	$A_i = \frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a\ max}}$	$t_i = \frac{n_i}{N_\Sigma}$	$A_i^m \cdot t_i$
σ_{a1}	n_1	A_1	t_1	$A_1^m \cdot t_1$
σ_{a2}	n_2	A_2	t_2	$A_2^m \cdot t_2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$\sigma_{a\ max}$	n_k	1,0000	t_k	$A_k^m \cdot t_k$
Σ	$\Sigma n_i, \left(N_\Sigma^\delta\right)$	-	1,0	-

Учитывается и следующее. Как известно, при построении кривой усталости правая ветвь условно принимается горизонтальной (т.е. долговечность при этом уровне напряжений считается неограниченной). Но, как установлено, для деталей, работающих в много-гигацикловой области нагружения (оси, колеса, рамы и др.), правая ветвь оказывается также наклонной, хотя и более пологой, т.е. с гораздо большей величиной показателя *m* (рис. 3).

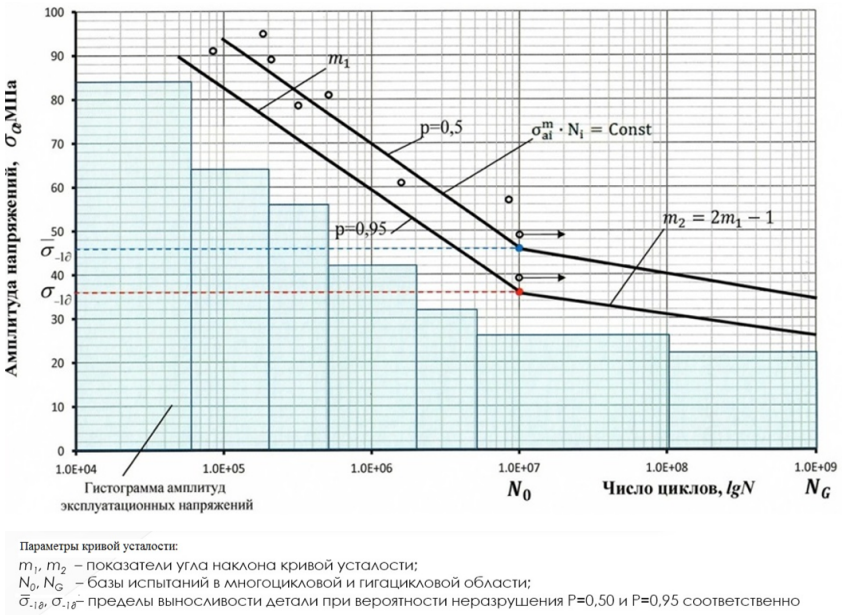

Рис. 3 – Характеристики нагруженности и сопротивления усталости детали

При этом подразумевается, что для натурных объектов найдена взаимосвязь между углами наклона правой (m_2) и левой (m_1) ветвей кривой усталости, описываемой формулой вида:

$$\sigma_{ai}{}^m \cdot N_i = const \quad (3)$$

В зависимости от требуемой надежности оценки величины ресурса, кривая усталости детали может быть эквидистантно опущена (см. рис. 3) для значения предела выносливости, рассчитанного с учетом квантиля нормального распределения (U_P) и коэффициента вариации (v_{-1}) по формуле:

$$\sigma_{-1d} = \overline{\sigma_{-1d}} \cdot \left(\mathrm{U}_p \cdot \nu_{-1}\right) \quad (4)$$

При этом используются параметры **нагруженности и характеристики сопротивления усталости,** полученные путем испытаний натурных деталей. Представленные ›››

требования и критерии прочности, ресурса и безопасности объектов, их критических элементов на жизненном цикле предусмотрены разработанным АО «ВНИКТИ» совместно с ИМАШ РАН ГОСТ Р 57445-2017 [7].

Отмечено, что развивая риск-ориентированный подход к обеспечению надежности и ресурса целесообразно рассматривать безопасность ПС в нештатных (Н/Ш) ситуациях, которые случаются на железнодорожном транспорте по причине отказа техники, человеческого и других факторов, в результате чего повреждаются единицы ПС, и они сходят с рельсов. При этом могут травмироваться и получать увечья члены локомотивных и поездных бригад, пассажиры поезда. Опасным источником таких случаев являются изломы деталей ПС. К критически важным элементам конструкций, способным инициировать их, относятся прежде всего: колесные пары, сцепные устройства, рамы тележек, главные рамы, шкворневые узлы, элементы крепления тяжелого оборудования и тягового привода. Проблема обеспечения безопасности в этих условиях становится особенно актуальной в связи с развитием высокоскоростного и тяжеловесного движения.

Однако в рамках сложившихся подходов при создании подвижного состава разработка технических заданий (ТЗ) и технико-экономическое обоснование (ТЭО) выполняются обычно без учета требований по безопасности его эксплуатации. Дело в том, что действующая традиционная нормативно-техническая база построена в основном на рассмотрении условий в направлении от простых к сложным условиям. Задачи обеспечения эксплуатационной безопасности потенциально опасных объектов решаются по принципу, что если удовлетворены действующие нормативы [1, 2], то специальный количественный анализ безопасности уже не требуется [3, 4, 5]. Это привело к тому, что для анализа каждой Н/Ш ситуации с тяжелыми последствиями создаются специальные комиссии и разрабатываются необходимые ремонтно-восстановительные мероприятия.

В риск-ориентированном подходе [5, 8] изначально решается задача оценки достижения заданных (приемлемых) рисков возможных отказов, разрушений и аварий с нанесением вреда человеку, технике и окружающей среде. С этой целью совершенствуется нормативно-методическая база, предусматривающая в частности:

- применение современных методов анализа нагруженности, характеристик сопротивления усталости и живучести несущих конструкций и ответственных деталей ПС;
- разработку критериев безопасности по условиям прочности, долговечности и рисков;
- моделирование экстремальных и аварийных условий и видов нагружения объекта;
- моделирование совместных и отдельных компонентов и видов (механических, тепловых и др.) воздействий на исследуемые объекты;
- включение в ТЗ и ТЭО требований, безопасности критически важных объектов в нештатных (запроектных) условиях.

Утверждается, что в результате могут быть достигнуты приемлемые риски эксплуатации потенциально опасных и критически важных узлов и деталей ПС, что может способствовать повышению безопасности движения на железнодорожном транспорте.

3. Рассмотрение результатов работы «Интеграция радиоканалов передачи данных цифровой широкополосной системы на основе стандарта LTE в систему МАЛС» (ЦЖС Челябинск-Главный)

26 марта 2025 г. состоялось заседания секции № 6 Научно-технического совета АО «НИИАС» «Системы телекоммуникаций и передачи данных».

3.1. Захаровым А.В. представлена информация о ходе работы по теме «Интеграция радиоканалов передачи данных цифровой широкополосной системы на основе »»

стандарта LTE в систему МАЛС», которая проводится в рамках модуля 16 проекта «Цифровая железнодорожная станция». До участников заседания доведено, что система LTE на станции Челябинск-Главный построена и организована в соответствии с проектом «Модернизация радиосвязи на ст. Челябинск», выполненным ГТСС в 2019 г. Строительство сети было завершено в 2022 г. Ядро системы реализовано на базе программно-аппаратных средств компании Nokia. Базовые станции (eNB) компании Хайтера. С 2022 года компания Nokia не обеспечивает поддержку работы поставленного в ОАО «РЖД» оборудования.

В ходе выполнения данной работы в части средств связи разработаны:

- Разделы в Частное техническое задание на ПАК МАЛС LTE», утверждено № 340 от 24.11.2023;
- Технические решения на ПАК МАЛС-LTE по обеспечению работы системы МАЛС на станции Челябинск-Главный Южно-Уральской железной дороги с использованием радиоканалов передачи данных цифровой широкополосной системы на основе стандарта LTE, утверждены № 401 от 23.12.2023;
- Рабочая документация «УВК СУ МАЛС с использованием радиоканала передачи данных цифровой широкополосной системы на основе стандарта LTE», утверждена № 440 от 29.12.2023;
- Проекты оборудования локомотивов серии ТЭМ7А и ЧМЭ3, утверждена 15.12.2023 и 22.12.2023;
- Инструкция о порядке пользования бортовым радиооборудованием системы маневровой автоматической локомотивной сигнализации на станции Челябинск-Главный, утверждена 16.05.2024;
- Программа и методика предварительных испытаний, утверждена № 400 от 30.10.2024.

При проведении работ по интеграции МАЛС в LTE в декабре 2023 года по требованиям ЦСС, была определена необходимость по разработке отдельного документа, определяющего конфигурации для выполнения настроек для всех сервисов ЦЖС, предусматривающих использование системы LTE для организации каналов передачи данных, включая МАЛС, ЕЛМТ, Автомашинист.

В связи с организацией сети СПД ОТН ЦЖС на ст. Челябинск-Главный работу по внедрению сервиса МАЛС решено было разбить на два этапа – для работы через ВСТ СПД и для работы через СПД ОТН ЦЖС (в связи с различными сроками сдачи работ по МАЛС и СПД ОТН ЦЖС). Для обеспечения работы сервиса МАЛС в рамках 1 этапа с системой LTE через существующее оборудование ВСТ СПД институтом разработаны и согласованы с ЦСС «Временные технические решения по организации совместной работы системы МАЛС с использованием сети LTE при обеспечении взаимодействия по сети передачи данных ВСТ СПД на станции Челябинск-Главный Южно-Уральской железной дороги».

В ноябре 2024 при подготовке к предварительным испытаниям АО «НИИАС» обеспечил привлечение компании, специализирующейся на технической поддержке оборудования Nokia для проведения необходимых настроек ядра LTE в соответствии с положениями временных ТР, включая настройку APN (точки доступа), привязку SIM карт, конфигурирование подсистем ядра LTE для обслуживания APN МАЛС, настройку маршрутизаторов основного и резервного ядра LTE для обеспечения информационного обмена по сети ВСТ СПД с УВК МАЛС.

С 02 декабря по 25 декабря 2024 года на ст. Челябинск-Главный проводились предварительные испытания ПАК МАЛС-LTE. В ходе данных испытаний выявлены замечания, в связи с которыми был отложен ввод ПАК МАЛС-LTE в опытную эксплуатацию.

Докладчиком отмечено, что в январе – феврале 2025 года проведены мероприятия по устранению выявленных замечаний. В период с 11.03 по 20.03.2025 на ст. Челябинск-Главный предъявлены результаты устранения замечаний, а именно:

- Привести в соответствие схему и монтаж в части VIP NetCoordinator. Откорректирован документ «Рабочая документация» НАБП.468369.601.РТ. РД на 1-й этап утверждена ЦТЕХ;
- Предоставить схему электропитания устройств СКЗИ. Технические условия на подключение от НГЧ и НС получены 13.03.2025. Представлена временная схема НАБП.468369.600.РТ.2.
- Обеспечить выполнение п.3.1.3.1. ПМИ1. Не проходят ping от резервного канала МАЛС.

Устранено;

- Актуализировать паспорт сервиса ПАК МАЛС-LTE в сети ВСТСПД (временный). Устранено, утверждён №ЦССТР-242 20.12.2024;
- Актуализировать технические решения по организации работы МАЛС с использованием сети LTE. Временные ТР направлены для согласования и утверждения в ЦСС;
- Выявить причину и устранить некорректную работу радиостанции при хендовере. ЦСС устранены сбои на базе 3 (PCI 5, 6);
- Выявить причину и устранить некорректную работу при переключении на резервный канал и обратно при аварии на транспортной сети, а также восстановления при этом работы канала. Устранено путем настроек HW и изменения схемы подключения. Испытано при проведении испытаний СЗИ 14.03.2025;
- Выявить источник и устранить трафик с QCI=9, которого нет в трафике МАЛС. При испытаниях 14.03.2025 при просмотре логов трафика с QCI=9 не выявлено;
- Устранить множественное количество установлений RRC соединений и defaultbearer за короткие промежутки времени. После устранения сбоев на базе 3 сообщения не повторялись.

В настоящее время готовится полный комплект документов для проведения комиссии по определению готовности опытного образца ПАК МАЛС LTE к вводу в опытную эксплуатацию. Планируемые сроки запуска ПАК МАЛС LTE в опытную эксплуатацию – 31.03.2025.

На заседании заслушан и принят к сведению доклад Шаповалова В.В. о разработке в рамках проекта «Цифровая железнодорожная станция» эксплуатационной модели ЦЖС, а также о реализации системы мониторинга и диагностики инфраструктуры.

По итогам заседания решено организовать и провести опытную эксплуатацию ПАК МАЛС LTE, а также на этапе опытной эксплуатации проверить возможность увеличения количества обслуживаемых локомотивов в системе LTE для реализации МАЛС и ЕЛМТ.

4. Технико-экономические проблемы роботизации и методологии их решения, в том числе для железнодорожной отрасли

27 марта 2025 года на базе АО «НИИАС» состоялось заседание Научного совета по робототехнике и мехатронике Российской академии наук, под председательством академика РАН Феликса Леонидовича Черноусько, посвящённое технико-экономическим проблемам роботизации и методологии их решения, в том числе для железнодорожной отрасли. Мероприятие прошло в гибридном формате и собрало более 100 участников.

В приветственном слове генеральный директор АО «НИИАС» Александр Игоревич Долгий подчеркнул, что ОАО «РЖД» является одной из ведущих государственных компаний, занимающихся вопросами внедрения робототехники. По его словам, ключевым условием внедрения робототехнических комплексов является обоснование их технико-экономической эффективности.

Председатель Научного совета, академик РАН Феликс Леонидович Черноусько отметил, что ОАО «РЖД» может стать полигоном для обкатки технологий внедрения, а АО «НИИАС» — ведущим институтом, реализующим задачи роботизации в компании.

С докладами выступили:

- Алексей Кононов, главный эксперт Центра роботизации технологических процессов АО «НИИАС», осветивший актуальность технико-экономического обоснования внедрения робототехники применительно к ОАО «РЖД»;
- Игорь Благодарящев, начальник отделения мониторинга программ беспилотных авиационных систем ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н. Е. Жуковского»», представивший существующие подходы к оценке эффективности беспилотных систем;
- Иван Ермолов, заместитель директора Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, поделился опытом роботизации промышленности.
- Директор Ассоциации транспортной науки Александр Зажигалкин, отметивший важность объединения науки и производства, а также необходимость стандартизации роботов и методологии технико-экономического обоснования их внедрения.

4.1. Тема: «**Актуальность проблемы технико-экономической оценки внедрения робототехники на российских железных дорогах**»

Докладчик: **Алексей Федорович Кононов** – главный эксперт по робототехнике Центра роботизации и технологических процессов, заместитель руководителя Национального центра развития технологий и базовых элементов робототехники Фонда перспективных исследований.

Алексей Федорович отметил, что при внедрении инноваций, включая роботизацию, ключевым фактором остается экономическая эффективность. В своем выступлении он рассмотрел исторические аспекты развития промышленной робототехники, текущее состояние отрасли и перспективы ее применения на российских железных дорогах.

История промышленной робототехники началась в середине XX века. В 1954 году американский инженер Джордж Девол подал заявку на патент, который был одобрен через семь лет. К этому времени его разработка уже использовалась на заводе General Motors для автоматизации литейного производства. В 1970-х годах с появлением микропроцессоров роботы стали программируемыми, что значительно снизило затраты на их перенастройку. Советский Союз также активно развивал это направление: в 1971 году был создан первый отечественный промышленный робот, а государственные документы того времени уже ставили задачи, актуальные и сегодня, – замену тяжелого и опасного труда автоматизированными системами.

Сегодня робототехника демонстрирует устойчивый рост. По данным Международной федерации робототехники, в 2023 году в мире эксплуатировалось более четырех миллионов промышленных роботов. Наибольший потенциал для их внедрения наблюдается в транспортной и логистической сферах, опережая даже медицину и сельское хозяйство.

Однако Россия пока отстает от мировых лидеров. Согласно указу Президента № УК-309, страна должна войти в ТОП-25 по плотности роботизации к 2030 году, но текущий показатель – всего 19 роботов на 10 тысяч работников при среднемировом уровне 151.

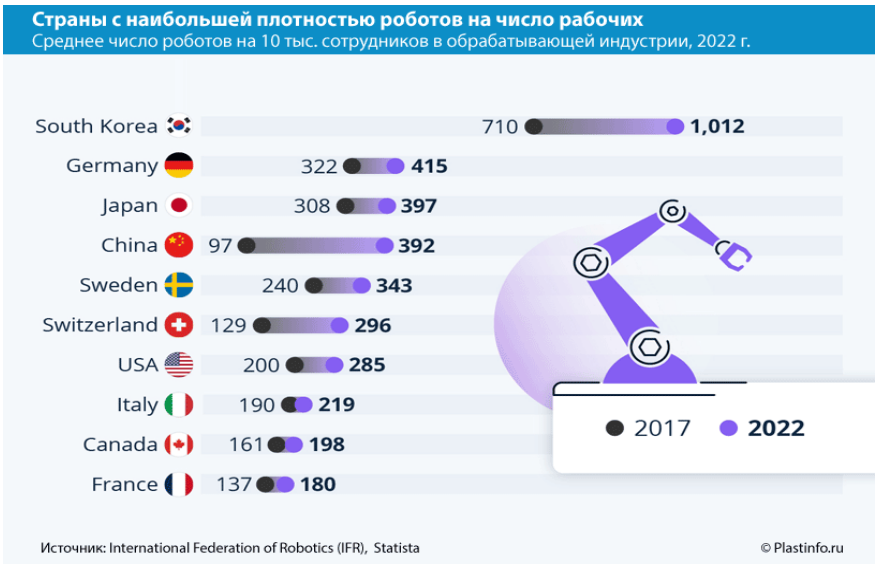

Рис. 4 – Страны с наибольшей плотностью роботов на число рабочих. Среднее число роботов на 10 тыс. сотрудников в обрабатывающей индустрии, 2022 г.

Особое внимание в докладе уделено роботизации на РЖД. Железные дороги представляют собой перспективную отрасль для внедрения автоматизированных систем. Например, на крупных сортировочных станциях, таких как Инская, Лужская и Свердловская, десятки путей работают в круглосуточном режиме, требуя сложной диспетчеризации грузопотоков. Уже выявлено более 30 технологических операций, где ручной труд можно заменить роботизированными решениями, включая расцепку вагонов – опасную и малопроизводительную работу.

Основная проблема заключается в комплексной оценке научно-технических, технологических и экономических аспектов внедрения робототехники. Для ее решения предложены различные подходы, включая экспертный анализ, структурное моделирование процессов и метод «бережливой робототехники», который позволяет оценивать эффективность через анализ прибыли, рисков, сроков окупаемости и технической готовности.

В заключение Алексей Федорович подчеркнул, что роботизация РЖД – сложный, но неизбежный процесс. У России есть около десяти лет для решения кадрового кризиса и технологического перевооружения. Ключевым условием успеха станет грамотная оценка экономической эффективности на каждом этапе внедрения. Для этого необходимо разработать методологию оценки жизненного цикла робототехнических систем и совместно с НИАС проработать тематику индустриальных государственных заданий, что позволит привлечь дополнительное финансирование и ускорить внедрение инноваций.

Основной тезис обсуждения сводился к необходимости тщательного экономического обоснования перед определением приоритетов роботизации. Было отмечено, что без такого анализа возможны серьезные ошибки с далеко идущими последствиями.

В ходе дискуссии выделились два подхода к оценке экономической целесообразности. Первый, более традиционный, основан на сравнении затрат на заработную плату высвобождаемого персонала со стоимостью разработки и эксплуатации роботов. Однако участники отметили ограниченность этого метода, так как он не учитывает множество скрытых факторов. Второй, более перспективный риск-ориентированный подход, фокусируется на минимизации потенциальных рисков, включая непредвиденные расходы на обслуживание и модернизацию.

Особое внимание было уделено практическому опыту роботизации сортировочных станций. Участники подчеркнули сложность автоматизации этих объектов из-за многообразия технологических процессов и необходимости взаимодействия различных систем. При этом была отмечена особая важность роботизации опасных для человека операций, таких как расцепка вагонов.

В ходе обсуждения возник вопрос о методологии оценки эффективности на разных этапах жизненного цикла робототехнических систем. Было констатировано отсутствие »»

универсальных подходов, особенно для предприятий разного масштаба. Участники отметили, что большинство существующих решений разрабатывалось под конкретные задачи, преимущественно в автомобильной промышленности.

Отдельная часть дискуссии была посвящена перспективам роботизации погрузочно-разгрузочных работ. Несмотря на рост контейнерных перевозок, участники сошлись во мнении, что автоматизация этих процессов остается актуальной, особенно в свете изменения транспортных потоков. Были рассмотрены различные технологические решения, включая паллетирующих роботов и системы автоматизированного управления кранами.

В заключительной части обсуждения участники затронули вопрос о границах роботизации. Было отмечено, что не все операции целесообразно автоматизировать на текущем этапе. В качестве примера привели обслуживание пассажиров, где человеческий фактор остается важным элементом сервиса. В то же время были выделены перспективные направления, такие как контроль состояния пути и устранение мелких неисправностей, где роботы могут быть особенно эффективны.

Дискуссия показала, что процесс роботизации железных дорог требует комплексного подхода, учитывающего не только технологические возможности, но и экономические факторы, а также готовность инфраструктуры к внедрению новых решений.

4.2. **Игорь Владимирович Благодарящев,** Начальник отделения департамента беспилотных авиационных систем ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского» сделал доклад «**Существующие подходы к технико-экономическому обоснованию и оценке беспилотных авиационных систем гражданского назначения**».

Игорь Владимирович в своем выступлении он подчеркнул, что терминологическая база в этой области окончательно сформировалась лишь в 2023 году, когда были законодательно закреплены ключевые определения.

Особое внимание докладчик уделил нормативному регулированию отрасли. С 2024 года в России реализуется национальный проект по развитию беспилотной авиации, включающий пять основных направлений: стимулирование спроса, разработку и стандартизацию техники, развитие инфраструктуры, обеспечение безопасности и подготовку кадров. При этом для систем массой свыше 30 кг предусмотрена обязательная сертификация, что создает определенные трудности для производителей.

В практической части выступления были рассмотрены различные сферы применения беспилотников - от геодезической съемки до экологического мониторинга и ликвидации ЧС. В настоящее время в государственном реестре учтено более 120 тысяч дронов, причем большинство тяжелых аппаратов используются в сельском хозяйстве.

Основной проблемой докладчик назвал отсутствие унифицированной методики технико-экономического обоснования. Традиционный подход, основанный на расчете стоимости летного часа, не всегда применим к беспилотникам из-за их принципиальных отличий от пилотируемой авиации. В качестве альтернативы предлагается рассматривать интегрированные авиационные системы, учитывающие не только технические параметры, но и потребности конкретных отраслей.

В заключение Игорь Владимирович выделил ключевые проблемы отрасли: отсутствие выделенных частот для управления дронами, сложности сертификации и недостаточную надежность существующих систем. Особое внимание было уделено вопросу подготовки операторов, поскольку большинство аварий происходит именно из-за человеческого фактора.

Доклад завершился предложением систематизировать существующие подходы к оценке эффективности беспилотных систем и учитывать их при разработке нормативных документов.

В ходе обсуждения поднимались актуальные вопросы, связанные с развитием беспилотных авиационных систем. Основное внимание было сосредоточено на проблемах локализации производства компонентов при государственной поддержке и разработке адекватных методик оценки их эффективности.

Участники дискуссии отметили необходимость комплексного подхода к технико-экономическому обоснованию, выходящего за рамки простого анализа стоимости ›››

создания систем. Особый интерес вызвали ограничения традиционных методов расчета, в частности, применяемых при определении стоимости летного часа. Было подчеркнуто, что существующие методики не учитывают важные факторы, такие как подготовка специалистов и процедуры сертификации для тяжелых беспилотников.

Важной частью обсуждения стало уточнение терминологии, особенно понятия «эффективность» применительно к оценке беспилотных систем. Участники сошлись во мнении, что это понятие требует четкого определения для корректного анализа как эксплуатационных характеристик, так и практической ценности систем.

Отдельно рассматривались перспективы разработки математического аппарата для оценки эффективности в рамках национального проекта развития беспилотной авиации. При этом отмечалось, что текущие формулировки проекта решения требуют большей конкретности в определении исполнителей и содержания предлагаемых мер.

В заключение было отмечено, что создание комплексной методики оценки, учитывающей все этапы жизненного цикла беспилотных систем - от разработки до сертификации и эксплуатации, представляет собой важную и актуальную задачу, требующую консолидации усилий всех заинтересованных сторон.

4.3. В докладе «**Взаимосвязь технико-экономического обоснования роботизации с нормативно-техническим регулированием» Александра Владимировича Зажигалкина**, директора Ассоциации «Транспортная наука» обсуждались некоторые аспекты взаимосвязи нормативно-технического регулирования и технико-экономического обоснования в сфере роботизации, связанные с экономическими аспектами внедрения роботизированных систем, которые до сегодняшнего дня полностью не решены.

В докладе Александра Владимировича Зажигалкина, директора Ассоциации «Транспортная наука», рассматривалась взаимосвязь между технико-экономическим обоснованием роботизации и нормативно-техническим регулированием. Основное внимание было уделено нерешенным экономическим аспектам внедрения роботизированных систем.

Докладчик отметил недостаточную доказательную базу многих заявленных экономических эффектов от роботизации. В качестве примера были приведены два проекта автоматизации на КАМАЗе, где даже в условиях высокоразвитого автомобильного производства срок окупаемости оценивается в 7-9 лет. Это свидетельствует о сохраняющихся проблемах в экономическом обосновании роботизации.

В докладе подчеркивалась необходимость комплексного подхода к оценке эффективности, включающего:

- полный учет всех факторов затрат;
- расчет ключевых экономических показателей (рентабельность, точка безубыточности, срок окупаемости);
- анализ всего жизненного цикла проекта.

Особое внимание было уделено нормативной базе. Отмечено, что в России существует развитая система стандартизации в области робототехники (87 стандартов, из которых 30 разработаны еще в СССР). Однако для железнодорожной отрасли специальные стандарты пока отсутствуют.

Докладчик предложил три основных направления работы:

1. Разработку программы роботизации для железнодорожного транспорта
2. Создание методологии оценки экономической эффективности
3. Разработку отраслевых стандартов

В ходе обсуждения поднимались вопросы финансирования разработки нормативных документов. Отмечена необходимость государственной поддержки этого процесса, особенно на начальных этапах внедрения новых технологий. »»

В заключение было подчеркнуто, что оценка эффективности роботизации требует учета:

- отраслевой специфики;
- всех видов эффектов (экономических, технологических, социальных);
- полного жизненного цикла систем;
- внешних экономических факторов (например, процентных ставок).

Доклад завершился констатацией необходимости разработки комплексной методологии оценки эффективности роботизации с учетом особенностей железнодорожной отрасли.

В ходе обсуждения доклада был поднят важный вопрос о разработке методики оценки роботизированных систем, особенно в контексте дефицита кадров по ключевым специальностям. Участники дискуссии отметили острую необходимость формализации новых критериев оценки робототехнических комплексов, учитывающих современные вызовы на рынке труда.

Особое внимание было уделено проблеме кадрового дефицита в таких регионах, как Урал и Дальний Восток, где наблюдается нехватка рабочих специальностей, включая помощников машинистов и токарей. В связи с этим предлагалось учитывать в технико-экономическом обосновании не только прямые затраты на замену человеческого труда, но и риски, связанные с физическим отсутствием работников.

Эксперты предложили оценивать такие риски через возможные последствия:

- невыполнение технологических операций;
- угрозы безопасности;
- экономические потери;
- нарушение производственных процессов.

В качестве примера был приведен проект автоматизации движения «Ласточки» по Московскому кольцу, где уже реализован третий уровень автоматизации. Отмечено, что несмотря на техническую готовность к полной автоматизации, сохраняются психологические барьеры, требующие постепенного внедрения изменений.

Участники обсуждения подчеркнули важность сокращения сроков окупаемости подобных проектов до 5 лет, что соответствует современным экономическим реалиям и требованиям инвесторов. Было отмечено, что более длительные сроки окупаемости существенно снижают вероятность реализации проектов, если они не имеют статуса национально значимых.

В заключение была выражена готовность поддержать разработку новых методик оценки, которые бы учитывали как экономические, так и социальные аспекты внедрения роботизированных систем в условиях кадрового дефицита и современных технологических вызовов.

4.4. Доклад **Ивана Леонидовича Щерболова**, заместителя директора Института проблем механики Российской академии наук, был посвящен анализу опыта роботизации промышленного производства и выявлению ключевых проблем в этой области. Основой для выступления послужили материалы обсуждения на круглом столе в Совете Федерации, где рассматривались причины медленного внедрения роботизированных систем в российскую промышленность.

В своем выступлении докладчик подробно остановился на нескольких принципиально важных аспектах. Было отмечено, что внедрение роботизированных систем часто позволяет не просто автоматизировать существующие технологические процессы, но и коренным образом изменить подход к выполнению производственных операций. В качестве иллюстрации приводился пример военной сферы, где применение беспилотных летательных аппаратов открыло принципиально новые возможности выполнения боевых задач.

Значительное внимание было уделено вопросам производительности и кадрового обеспечения. Докладчик привел показательный пример с мясокомбинатом, где автоматизированная упаковочная линия работала лишь на четверть проектной мощности из-за неучтенных ручных операций на смежных участках производства. Особый акцент был сделан на психологических аспектах работы с автоматизированным оборудованием – оператор промышленного робота или станка с числовым программным управлением воспринимается современными выпускниками вузов как более привлекательная должность по сравнению с традиционными рабочими профессиями. »»

Рассматривая технические аспекты роботизации, докладчик подчеркнул важное преимущество промышленных роботов – их способность к переналадке и повторному использованию для выполнения различных функций. Однако при этом было отмечено, что российское производство робототехнических комплексов остается мелкосерийным, а зависимость от импортных компонентов, особенно приводов и датчиков, продолжает оставаться критически важным фактором.

В докладе были обозначены системные проблемы развития робототехники в России. Среди них – отсутствие единого координирующего органа, аналогичного существующим в авиационной и судостроительной отраслях, острый дефицит квалифицированных специалистов по разработке и внедрению роботизированных систем, а также сложности интеграции новых технологий в существующие производственные процессы и стандарты. Особо отмечалась консервативность некоторых отраслевых стандартов, создающая дополнительные барьеры для внедрения инновационных решений.

Значительная часть выступления была посвящена вопросам подготовки кадров. Докладчик предложил расширять образовательные программы не только для будущих специалистов по робототехнике, но и для технологов, экономистов и других специалистов, которым необходимо понимать возможности и ограничения автоматизированных систем. Была отмечена важность развития среднего специального образования в этой перспективной области.

В качестве положительного примера организационного подхода к внедрению роботизированных технологий приводился опыт корпорации «Ростех», где создан специализированный Центр роботизированных технологий. Этот центр занимается комплексной работой – от аудита промышленных предприятий и разработки решений до подготовки специалистов по работе с автоматизированным оборудованием.

В заключительной части доклада были сформулированы ключевые рекомендации. Среди них – необходимость четкого определения приоритетов внедрения с реалистичными сроками реализации, развитие специализированных образовательных программ, ориентированных на потребности конкретных отраслей, использование механизмов совместного финансирования научных исследований, а также постепенное наращивание компетенций, начиная с относительно простых технологических операций.

В ходе последовавшего обсуждения участники особо подчеркивали важность комплексного учета как экономических, так и технологических факторов при внедрении роботизированных систем. Значительное внимание было уделено вопросам импортозамещения и практическому опыту использования автоматизированных инспекционно-измерительных систем на железнодорожном транспорте.

В обсуждении был затронут вопрос о возможности использования робототехнических систем при проведении строительных и восстановительных работ, что особенно актуально в современных условиях. Основное внимание уделено вопросам безопасности персонала при работе в экстремальных условиях, а также проблемам кадрового дефицита.

Международный опыт, в частности французской группы «Интра», демонстрирует широкий спектр применяемых решений - от миниатюрных роботов до тяжелой транспортной техники. В свое время мы детально прорабатывали вопросы демонтажа атомных объектов с использованием инженерной и транспортной техники, учитывая радиационную обстановку и необходимость сортировки материалов.

Особый интерес представляет направление 3D-печати в строительстве. Российские специалисты являются одними из мировых лидеров в области стационарных бетонных принтеров. Однако еще более перспективными видятся мобильные роботизированные системы, способные работать в недетерминированных условиях и выполнять различные строительные операции.

Отмечено, что в ходе исследований был разработан уникальный подход к роботизации существующей техники. Вместо создания узкоспециализированных беспилотных машин с низким коэффициентом использования, мы предложили модульные решения для переоборудования обычной техники в роботизированные комплексы. Этот подход был успешно апробирован на экскаваторной и бульдозерной технике, показав значительное снижение затрат по сравнению с разработкой специализированных роботов. »»

Для оценки эффективности таких систем была разработана комплексная методика, учитывающая:

- вероятность безотказной работы;
- коэффициент технического совершенства;
- влияние на общую стоимость работ;
- риски выполнения технологических требований.

Особое внимание, как было отмечено, следует уделять вопросам функциональной безопасности, которая требует специальных подходов при сертификации робототехнических комплексов. В этом контексте важную роль играют стандарты ГОСТ Р 61508, устанавливающие требования к функциональной безопасности программно-аппаратных средств.

Обсуждение выявило необходимость поэтапного подхода к внедрению автономных систем. Перспективным представляется создание гибридных решений, сочетающих элементы автономности с возможностью телеуправления. Это позволяет постепенно накапливать данные для обучения систем искусственного интеллекта, одновременно обеспечивая безопасность и надежность работы.

Важным аспектом является стандартизация систем связи для управления робототехническими комплексами. Унификация интерфейсов и протоколов позволит упростить интеграцию различных систем в единую инфраструктуру.

Практический опыт внедрения инновационных решений показывает, что ключевым фактором часто становится нормативное регулирование. Существующие стандарты и регламенты, разработанные для традиционных технологий, могут создавать барьеры для внедрения новых подходов. В этой связи особую важность приобретает работа по актуализации нормативной базы с учетом современных технологических возможностей.

В заключение было отмечено, что комплексный подход к роботизации, учитывающий как технологические, так и экономические аспекты, позволяет находить эффективные решения для самых сложных задач. Особенно это актуально для работ в экстремальных условиях, где использование робототехники не только повышает эффективность, но и обеспечивает безопасность персонала.

5. Обеспечение функциональной безопасности проекта Цифровая железнодорожная станция

22 апреля 2025 г. состоялось заседание секции № 4 Научно-технического совета АО «НИИАС» «Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (включая сортировочный комплекс)» по теме: «Обеспечение функциональной безопасности проекта Цифровая железнодорожная станция».

Общие вопросы безопасности комплексных проектов в области железнодорожного транспорта являются критически важными для обеспечения надежности и эффективности работы систем. Хатламаджиян Агоп Ервандович (заместитель генерального директора АО «НИИАС», кандидат технических наук), подчеркивает значимость функциональной безопасности как ключевого свойства объектов железнодорожного транспорта. Функциональная безопасность определяется как способность системы выполнять требуемые функции безопасности при всех предусмотренных условиях в течение заданного периода времени. Однако предъявление таких требований ко всей централизованной железнодорожной системе (ЦЖС) может привести к значительному усложнению структуры конечных модулей.

Для решения этой проблемы был принят подход, основанный на релейно-процессорных централизациях. В рамках этого подхода функционал системы реализуется программными средствами, к которым не предъявляются требования функциональной безопасности, а сама безопасность обеспечивается нижним уровнем — релейными схемами. Такой метод позволил сконцентрировать требования функциональной безопасности на пяти ключевых модулях из двадцати четырех, которые получили название Контуров безопасности. На сегодняшний день для всех этих модулей разработаны доказательства безопасности на этапе разработки. Среди них выделяются модули, отвечающие за закрепление, автоматическое

»»»

управление движением поездов (МАЛС, Автомашинист), контроль и управление (КСАУ СП, ИКАР ОГ), радиотехнические комплексы (РТК) и заграждение в сортировочном парке.

Обеспечение функциональной безопасности ЦЖС требует учета различных факторов, которые могут привести к её нарушению. К ним относятся случайные отказы, отказы устройств, искажение информации, внешние воздействия, ошибки при проектировании и эксплуатации. Для подтверждения безопасности модулей ЦЖС используются доказательства безопасности (ДБ), а также единые стандарты защиты передаваемой информации. Важную роль играют разрабатываемые диаграммы последовательностей, которые помогают визуализировать и анализировать процессы. Требования к безопасности подробно описаны в руководящих документах на модули ЦЖС, что обеспечивает их корректную эксплуатацию.

АО «НИИАС» продолжает работу по совершенствованию методов обеспечения функциональной безопасности, что способствует повышению надежности и безопасности железнодорожного транспорта в целом. Институт активно взаимодействует с партнерами и заинтересованными сторонами, предоставляя актуальную информацию через свой официальный сайт и контактные данные.

5.1. Сортировочный комплекс представляет собой высокотехнологичную систему, обеспечивающую автоматизацию управления технологическими процессами расформирования составов. Одним из ключевых элементов этой системы является Комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП), разработанная под руководством Ольгейзера Ивана Александровича (первого заместителя директора Ростовского филиала АО «НИИАС», кандидата технических наук).

КСАУ СП включает в себя множество технических средств, таких как контрольно-диагностические комплексы, аппаратуру управления балочными заградительными устройствами, системы компьютерного зрения и другие компоненты. Эти устройства обеспечивают автоматизацию управления технологическим процессом, включая инновационные алгоритмы торможения отцепов, управление локомотивом, информационный обмен с АСУ ЦЖС, безопасный роспуск вагонов и контроль напольного оборудования.

Важным аспектом работы КСАУ СП является обеспечение функциональной безопасности. Согласно ГОСТ 33892-2016, интенсивность опасных отказов систем железнодорожной автоматики на сортировочных горках не должна превышать 1/час. Критериями опасного отказа системы являются невыполнение условий безопасности, отклонение показателей за установленные нормы, выход системы в предельное состояние или выработка ложных сигналов.

Для анализа безопасности КСАУ СП была разработана модель работы системы в виде графа, учитывающая различные состояния подсистем, такие как отказ основного или резервного комплекта управления торможением, интерактивного горочного пульта или напольного оборудования. На основании этой модели был проведен расчет интенсивности опасных отказов. Учитывая интенсивности отказов составных устройств, таких как микроЭВМ, модули ввода-вывода и напольное оборудование, а также время восстановления системы, было определено, что среднее время до опасного отказа составляет 8 408 381 час. Таким образом, интенсивность опасного отказа КСАУ СП равна 1/час, что значительно ниже требований ГОСТ.

Статистические данные подтверждают высокую надежность системы. КСАУ СП была введена в эксплуатацию в 2003 году и на сегодняшний день внедрена на 24 сортировочных горках. Например, на сортировочной горке Челябинск нечетный система работает с 2013 года, обрабатывая в среднем 4000 вагонов в сутки. За время эксплуатации здесь произошел только один опасный отказ в 2017 году. Аналогичная ситуация наблюдается на горке Красноярск-Восточный, где с 2006 года зафиксирован лишь один отказ в 2012 году. Суммарная наработка системы с учетом всех горочных стрелок составляет 7 053 990 часов, а интенсивность опасных отказов находится в пределах доверительного интервала до 1/час при доверительной вероятности 0,85. Эти результаты подтверждают, что КСАУ СП соответствует требованиям безопасности.

Кроме того, в состав сортировочного комплекса входят современные устройства, такие как Устройство счета и контроля расцепа вагонов (УСКР), которое использует техническое зрение для автоматического считывания подвижного состава любой конфигурации, ›››

и Комплекс компьютерного зрения для контроля занятости сортировочных путей (КЗСП), обеспечивающий мониторинг местоположения, скорости и динамики движения вагонов.

Аппаратура контроля и управления балочными заградительными устройствами (АКУ БЗУ) также вносит вклад в безопасность системы, обладая низкой интенсивностью опасных отказов. Модуль автоматического управления сортировочным процессом цифровой железнодорожной станции (М17 ЦЖС) интегрирует все компоненты, обеспечивая общую интенсивность отказов на уровне 1/час на стрелку.

В заключение можно отметить, что КСАУ СП и сопутствующие системы демонстрируют высокую надежность и соответствие требованиям функциональной безопасности. Их внедрение позволяет минимизировать ручное вмешательство, автоматизировать процессы управления и контроля, а также обеспечивать безопасность работы сортировочных горок.

5.2. В докладе Попова П.А. «Методы обеспечения функциональной безопасности инновационных систем на примере СККСП» отмечено, что система СККСП (Стационарный комплекс контроля свободности пути) предназначена для автоматизации процессов маневровой работы на железнодорожных путях. Её основная задача — снижение влияния человеческого фактора при контроле свободности пути, особенно при движении вагонов вперед, а также исключение «мертвых зон» контроля. Система контролирует рельсовые цепи (PLI), которые не централизованы, что делает её критически важной для обеспечения безопасности.

Однако существующая проблема обеспечения безопасности связана с отсутствием четких требований в стандартах, а также сложностью анализа и тестирования алгоритмов. Большая часть системы построена на нейронных сетях, поведение которых можно описать только эмпирически, на основе конкретных данных. Для оценки полного диапазона промежуточных и выходных значений алгоритма требуются наборы данных, покрывающие все возможные ситуации. Кроме того, результат работы алгоритма сильно зависит от входной информации, что усложняет прогнозирование его поведения.

Возможные отказы системы включают опасные ситуации, такие как выдача статуса «свободно» для занятой рельсовой цепи, формирование некорректных статусов при неисправностях сенсоров или вычислителя, а также отказы защитных средств. Например, аппаратные отказы сенсоров (например, отключение камеры), задержки или искажение данных, а также ошибки в работе нейронных сетей (например, отсутствие объекта в обучающей выборке) могут привести к серьезным последствиям.

Система состоит из программной и аппаратной частей. Программная часть включает нейронные сети, классическое ПО и data-driven алгоритмы, а аппаратная часть представлена блоками вычислителя и сенсоров (камеры, лидары). Основные функции системы заключаются в формировании состояния контролируемых зон PLI, обнаружении объектов (вагонов, людей) и определении их зон нахождения (красная, желтая), а также в выдаче этой информации внешним системам, таким как ЦАМР (Центр автоматизации маневровой работы).

Для обеспечения безопасности система оснащена контролирующими функциями. К ним относятся контроль правильности формирования состояния элементов маршрута и прекращение выдачи ответственной информации внешним системам в случае обнаружения неисправностей. Функции безопасности вынесены в отдельный модуль ПО, который проектируется в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 61508-3. Этот модуль представляет собой вложенную машину состояний (конечный автомат), код которой генерируется в инструменте itemis CREATE.

Модуль безопасности принимает решения на основе метрик, которые сравниваются с заранее заданными граничными значениями. Например, метрика data_quality оценивает качество данных с сенсоров, ntp_status проверяет синхронизацию времени, a delay контролирует задержки в передаче данных. Для нейронных сетей используются метрики detection_capability, semantic_capability и nn_quality, которые оценивают их обнаруживающую способность и неопределенность предсказаний.

Работа системы безопасности организована по слоям. Первый слой проверяет синхронность шкал времени, затем оценивается качество входных данных, работа нейронных сетей, обнаруживающая способность и, наконец, проверяется вхождение объектов в зону ›››

рельсовой цепи. Если проверка на каком-либо слое не пройдена, система переходит в защитное состояние. В этом случае формируется статус «неизвестно» для проблемной зоны, а обмен данными с внешними системами прекращается.

Выход из защитного состояния возможен только по внешнему сигналу восстановления при условии, что входные данные соответствуют требованиям качества и поступают корректно на протяжении интервала восстановления (5 минут). Для проверки функциональной безопасности ПО применяются классические методы испытаний, включая тестирование при искусственном создании нештатных ситуаций, таких как отключение сервера времени или засвет камер прожектором.

Таким образом, СККСП представляет собой сложную систему, сочетающую современные технологии, такие как нейронные сети, с классическими методами обеспечения безопасности. Её многослойная архитектура и строгие требования к метрикам позволяют минимизировать риски опасных отказов и обеспечивать надежную работу в условиях реальной эксплуатации.

5.3. Доклад по безопасности работы с опасными грузами в сортировочном комплексе представил Соколов Владислав Николаевич (к.т.н., заместитель директора – главный инженер Ростовского филиала АО «НИИАС»). Докладчик отметил, что к опасным грузам относятся взрывчатые материалы (ВМ), сжатые и сжиженные углеводородные газы (СУГ), легковоспламеняющиеся жидкости и твердые вещества, а также окисляющиеся и ядовитые вещества. В случае возникновения аварий возможны такие опасные события, как взрыв, возгорание груза и подвижного состава, утечка ядовитых веществ и сход подвижного состава с рельсов. Последствия этих событий включают вред здоровью людей и окружающей среде, повреждение подвижного состава и инфраструктуры, а также полную или частичную утрату груза.

Последствия наступления опасного события разделяются на внутренние риски для работников железнодорожного транспорта и инфраструктуры, а также внешние риски для населения и инфраструктуры разных уровней. Уровни тяжести последствий классифицируются по ГОСТ Р 54505-2011: катастрофический (взрыв, гибель людей, ущерб свыше 5000 МРОТ), критический (возгорание, тяжкий вред здоровью, ущерб 1500–5000 МРОТ), несущественный (вред средней тяжести, ущерб 500–1500 МРОТ) и незначительный (легкий вред, ущерб менее 500 МРОТ).

Варианты принимаемых решений зависят от уровня риска. Уровни риска включают недопустимый (риск исключается), нежелательный (риск снижается), допустимый (риск принимается при невозможности снижения) и не принимаемый в расчет (риск контролируется с согласия руководства). Для каждого уровня предусмотрены меры обработки риска. Матрица рисков учитывает уровни тяжести последствий (незначительный, несущественный, критический, катастрофический) и уровни частоты (частое, вероятное, случайное, редкое, крайне редко, маловероятное). Это позволяет оценить риски и принимать соответствующие меры.

Представлен интегрированный комплекс автоматизации роспуска опасных грузов (ИКАР ОГ). Комплекс включает контроль готовности маршрута, управление тормозными средствами, контроль с помощью технического зрения и управление заграждением. Технология роспуска вагонов с опасными грузами 2 класса опасности основана на блокировании ручного вмешательства, расчете параметров движения, обнаружении отказов и обеспечении защитного отказа. Безопасность обеспечивается за счет блокирования ручного вмешательства, использования двух модулей контроля и управления, формирования команд на управление тормозными средствами, обнаружения отказов и остановки роспуска при неисправностях. Вероятность отказа системы автоматизации роспуска опасных грузов составляет 1/ч, что соответствует высоким стандартам безопасности.

Аппаратура автоматизированного контроля и управления балочными заграждающими устройствами (АКУ БЗУ) позволяет дистанционно управлять заграждающими устройствами, предотвращать выход отцепов за границу пути и минимизировать человеческий фактор. Внедрение БЗУ повышает безопасность перевозочного процесса.

Управляемые точечные вагонные замедлители включают механизм привода, узел электродвигателя и блок управления, обеспечивая точное торможение вагонов. »»

Вероятность отказа системы управления стрелками составляет 1/ч, системы управления балочными замедлителями – 1/ч, точечного замедлителя – 1/ч. Эти показатели соответствуют требованиям нормативных документов.

Анализ дерева событий показывает, что вероятность повреждения вагона с опасным грузом составляет , что соответствует допустимым нормам безопасности. Основные этапы роспуска включают корректную работу системы управления маршрутами, замедлителями и точечными замедлителями.

Внедрение современных технологий, таких как ИКАР ОГ и АКУ БЗУ, позволяет минимизировать риски при работе с опасными грузами. Автоматизация процессов и резервирование систем управления обеспечивают высокий уровень безопасности. Вероятность отказов соответствует нормативным требованиям, что подтверждает эффективность предложенных решений.

5.4. Корниенко Константин Ильич (ведущий научный сотрудник ЦАТПИК, к.т.н.) представил доклад о функциональной безопасности комплекса автоматизированного закрепления, которая является критически важным аспектом обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте. Основные требования к функциональной безопасности регламентируются рядом стандартов, включая ГОСТ 33894 для систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) на станциях, ГОСТ 33893 для переездов, ГОСТ 33896 для диспетчерской централизации и ГОСТ 33895 для перегонов. Дополнительные требования к программному обеспечению и доказательству безопасности определяются стандартами СТО РЖД, такими как 1.19.007, 1.19.009 и 02.049.

Интенсивность опасных отказов для станционных систем ЖАТ должна быть не более 1/ч для станций с числом централизованных стрелок до 22 и 1/ч для станций с большим количеством стрелок. Эти требования направлены на минимизацию рисков, связанных с отказами оборудования.

Управление стационарными тормозными упорами осуществляется сигналистом с колонки местного управления после получения разрешения от дежурного по станции. Разрешение может быть выдано только при отсутствии маршрутов на путь и с пути, а также при отсутствии передачи пути на местное управление. Установка маршрутов возможна при контроле снятого положения упора, а в случае отказа сигналиста от управления упором маршруты устанавливаются с контролем снятого положения или во вспомогательном режиме с исключением контроля упора.

Правила технической эксплуатации требуют закрепления подвижного состава на станционных путях для предотвращения самопроизвольного движения. На путях с уклоном более 0,0025 закрепление допускается только при наличии предохранительных устройств или стационарных средств закрепления. Для предотвращения опасных ситуаций используются устройства, такие как предохранительные тупики, охранные стрелки и стационарные закрепители.

Опасный отказ определяется как самопроизвольное движение закрепленного состава с выходом за границы пути, что может привести к столкновению. Для предотвращения таких отказов применяются комбинированные схемы, включающие устройства типа УТС-380, ДУЗС, ЗУБР или УЗС. Эти устройства обеспечивают защиту даже в случае движения состава, минимизируя последствия.

Функции безопасности распределены между различными системами: электрическая централизация контролирует управление устройствами закрепления, ПАК КУЗС обеспечивает диагностику и выдачу команд, а комплекс позиционирования предоставляет информацию о местоположении подвижного состава. Общая структурная схема комплекса включает такие компоненты, как Автомашинист, ПРИЦЕЛ, ЭЦ, УТС-380 и другие.

При проектировании необходимо исключить возможность выезда подвижного состава за границы пути, что достигается комбинированием различных устройств. Для дальнейшего повышения безопасности требуется разработка новых стандартов и методов контроля автоматизированных систем закрепления. »»

В заключение отмечено, что обеспечение функциональной безопасности комплекса автоматизированного закрепления требует строгого соблюдения нормативных требований, применения надежных технических решений и постоянного совершенствования методов контроля. Это позволит минимизировать риски и обеспечить безопасность железнодорожных перевозок.

Обсуждение

Проведенные заседания и обсуждения по ключевым направлениям развития железнодорожной отрасли продемонстрировали, что современные вызовы требуют комплексного подхода, объединяющего инновационные технологии, научные исследования и практический опыт. Основные темы, рассмотренные в рамках дайджеста, отражают многогранность задач, стоящих перед отраслью, и подчеркивают необходимость междисциплинарного сотрудничества для их решения.

Одним из наиболее значимых аспектов стало обсуждение механизации и автоматизации процессов закрепления и заграждения подвижного состава в парках станций. Внедрение современных систем управления и позиционирования, таких как управляемые домкратовидные замедлители и балочные заграждающие устройства, позволяет значительно повысить безопасность и эффективность маневровой работы. Эти разработки не только минимизируют человеческий фактор, но и сокращают время выполнения операций, что особенно важно в условиях интенсивного грузопотока. Участники заседания отметили, что дальнейшее развитие этого направления требует тесного взаимодействия между научными институтами, производителями оборудования и эксплуатационными службами.

Не менее важной темой стало изучение надежности и ресурса элементов подвижного состава при циклическом нагружении. Постоянные динамические нагрузки, воздействующие на узлы и детали вагонов и локомотивов, приводят к постепенному износу, что требует разработки новых подходов к проектированию, обслуживанию и ремонту. Особое внимание было уделено риск-ориентированному подходу, который позволяет оценивать безопасность эксплуатации с учетом не только нормативных требований, но и реальных условий работы. Участники подчеркнули, что применение современных методов расчета и моделирования, таких как корректированная линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений, способствует повышению долговечности конструкций и снижению вероятности аварийных ситуаций.

Интеграция цифровых технологий в управление движением поездов, в частности внедрение широкополосной системы передачи данных на основе стандарта LTE в систему МАЛС, открывает новые перспективы для повышения пропускной способности и надежности железнодорожной инфраструктуры. Опыт реализации проекта на станции Челябинск-Главный показал, что успешное внедрение таких решений требует не только технической проработки, но и четкой координации между всеми участниками процесса. Несмотря на выявленные в ходе испытаний замечания, проект демонстрирует высокий потенциал для масштабирования на другие участки сети.

Технико-экономические проблемы роботизации железнодорожной отрасли также стали предметом активного обсуждения. Участники заседания отметили, что внедрение робототехнических комплексов сталкивается с рядом сложностей, включая высокие затраты на разработку, необходимость адаптации существующей инфраструктуры и дефицит квалифицированных кадров. Однако потенциал роботизации, особенно в таких областях, как сортировка вагонов и проведение опасных работ, невозможно переоценить. Ключевым условием успеха является разработка методик оценки экономической эффективности, учитывающих не только прямые затраты, но и долгосрочные выгоды, такие как повышение безопасности и снижение эксплуатационных расходов.

В представленных докладах рассматриваются также ключевые аспекты обеспечения функциональной безопасности в железнодорожном транспорте, включая автоматизацию управления, контроль технологических процессов и работу с опасными грузами. Особое внимание уделено современным системам, таким как КСАУ СП, СККСП и ИКАР ОГ, »»

которые демонстрируют высокую надежность и соответствие строгим нормативным требованиям. Эти системы позволяют минимизировать человеческий фактор, снизить вероятность отказов и обеспечить безопасность эксплуатации.

Заключение

Анализ докладов показывает, что основными направлениями развития являются внедрение инновационных технологий, таких как нейронные сети и компьютерное зрение, а также совершенствование стандартов и методов контроля. Комплексный подход, включающий резервирование систем, многослойную архитектуру безопасности и строгий мониторинг, способствует достижению высоких показателей надежности. Таким образом, представленные решения вносят значительный вклад в повышение безопасности и эффективности железнодорожного транспорта.

В целом, представленные материалы свидетельствуют о том, что железнодорожная отрасль находится на этапе активного технологического перевооружения. Внедрение инновационных решений требует не только научно-технической проработки, но и адаптации нормативной базы, подготовки кадров и развития инфраструктуры. Участники заседаний подчеркнули важность продолжения исследований в области автоматизации, цифровизации и роботизации, а также необходимость обмена опытом между научными учреждениями, промышленными предприятиями и эксплуатационными службами.

Очевидно, что дальнейшее развитие железнодорожного транспорта будет определяться способностью отрасли интегрировать передовые технологии, обеспечивая при этом безопасность, надежность и экономическую эффективность. Для достижения этих целей необходимо продолжать работу по совершенствованию методик оценки, разработке стандартов и укреплению межотраслевого сотрудничества. Только комплексный подход позволит реализовать потенциал инноваций и обеспечить устойчивое развитие железнодорожной отрасли в долгосрочной перспективе.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 55513-2013 «Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам». М.: Стандартинформ, 2014. – 72 с.
2. ГОСТ 33211-2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2016. – 53 с.
3. Обеспечение безопасной эксплуатации подвижного состава на основе стратегии управления ресурсом на этапах жизненного цикла /Оганьян Э.С., Коссов В.С., Волохов Г.М., Овечников М.Н., Гасюк А.С.// Железнодорожный транспорт, 2018. № 12. - С. 36 - 40.
4. Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения / Под ред. Н.А. Махутова, Ю.Г. Матвиенко, А.Н. Романова. М.: ЛЕНАНД, 2018. – 720 с.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность железнодорожного транспорта» Раздел II. Техногенная безопасность железнодорожного транспорта: коллективная монография / Абросимов Н.В., Акимов В.А., Алешин А.В. [и др.]; науч. рук. чл.-корр. РАН Н.А. Махутов, –М.: МГОФ Знание, 2021. –488 с.
6. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. /Под ред. А.П. Гусенкова. –М.: Машиностроение, 1993 г. -364 с.
7. ГОСТ Р 57445-2017 Железнодорожные технические средства. Общие требования к методам определения ресурса. М. Стандартинформ, 2017. – 26 с.
8. Алгоритм снижения риска возникновения нештатных ситуаций на железнодорожном транспорте по условиям безопасности подвижного состава / Коссов В.С., Красюков Н.Ф., Оганьян Э.С., Волохов Г.М., Князев Д.А. Стр. 215 - 221 / Материалы третьей международной научно-технической конференции: «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы.»-. (г. Ташкент, 17 - 20 апреля 2024 г.). – Т.: ТГТУ, 2024. – 488 с.

»»

9. Риск-ориентированный подход и критерии его использования при оценке безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Волохов Г.М., Оганьян Э.С., Лунин А.А., Князев Д.А., Красюков Н.Ф. Стр. 89 - 97 / Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы: материалы Третьей Международной научно-технической конференции (Ташкент, 17–20 апреля 2024 г.). – Т.: ТГТУ, 2024. – 488 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.5.004.69 + 06

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ, ИХ АРХИТЕКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Соколова О.И., д.п.н., профессор, РГУПС, г. Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: sok-ol@yandex.ru
Зырянкина К.Э., ассистент кафедры, РГУПС, г. Ростов-на-Дону,Россия,
E-mail: kzyryankina@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются методы анализа и синтеза интеллектуальных транспортных систем, их архитектуры и алгоритмы восстановления работоспособности. Подробно описываются методы анализа интеллектуальных транспортных систем. Авторы в данном исследовании рассматривают различные подходы к оценке текущего состояния транспортных систем, включая статистический анализ, моделирование и симуляцию. Особое внимание уделяется методам выявления проблемных областей и потенциальных узких мест в работе интеллектуальных транспортных систем, что позволяет своевременно принимать меры по их устранению и улучшению. Рассмотрены вопросы синтеза интеллектуальных транспортных систем, представлены различные архитектурные решения, которые могут быть применены при разработке и внедрении интеллектуальных транспортных систем. Авторы рассматривают как централизованные, так и децентрализованные архитектуры, анализируя их преимущества и недостатки. Особое внимание уделяется вопросам масштабируемости и адаптивности систем, что позволяет им эффективно функционировать в условиях изменяющихся транспортных потоков и внешних факторов.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, методы анализа ИТС, надежность системы, устойчивость системы, архитектура ИТС, алгоритмы восстановления работоспособности, синтез ИТС, мониторинг состояния ИТС.

METHODS OF ANALYSIS AND SYNTHESIS OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS, THEIR ARCHITECTURE AND ALGORITHMS FOR RESTORING FUNCTIONALITY

Sokolova O.I., DSc in pedagogy, Professor, Rostov State Transport University (RSTU),
Rostov-on-Don, Russia, E-mail: sok-ol@yandex.ru
Zyryankina K.E., Rostov State Transport University (RSTU),
Rostov-on-Don, Russia, E-mail: kzyryankina@yandex.ru

ABSTRACT

This scientific article discusses the methods of analysis and synthesis of intelligent transport systems, their architectures and algorithms for restoring performance. The methods of analyzing intelligent transport systems are described in detail. In this study, the authors consider various approaches to assessing the current state of transport systems, including statistical analysis, modeling, and simulation. Special attention is paid to methods of identifying problem areas and potential bottlenecks in the operation of intelligent transport systems, which allows timely measures to be taken to eliminate and improve them. The issues of synthesis of intelligent transport systems are considered, various architectural solutions that can be applied in the development and implementation of intelligent transport systems are presented. The authors consider both centralized and decentralized architectures, analyzing their advantages and disadvantages. Special attention is paid to the issues of scalability and adaptability of systems, which allows them to function effectively in conditions of changing traffic flows and external factors.

Keywords: intelligent transport systems, ITS analysis methods, system reliability, system stability, ITS architecture, performance recovery algorithms, ITS synthesis, ITS status monitoring.

Введение

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) выступают в качестве сложных совокупностей технологий, процессов и людей, направленных на улучшение управления транспортом и повышении безопасности дорожного движения. В условиях стремительного роста городского населения и увеличения потока автомобилей требуется постоянно совершенствование методов анализа, синтеза и восстановления эффективности ИТС. В данной статье мы подробно рассмотрим ключевые методы и подходы, используемые в данной области, стремясь глубже понять их архитектуру и функционирование.

ИТС представляют собой высокотехнологичные решения, интегрирующие информационные и коммуникационные технологии в транспортную инфраструктуру. Эти системы направлены на улучшение безопасности, снижение уровня пробок и повышение эффективности перевозок. Современные ИТС позволяют не только оптимизировать потоки транспорта, но и анализировать данные, что дает возможность принимать более обоснованные решения на всех уровнях – от планирования до операционной реализации.

Развитие ИТС невозможно без использования методов анализа и синтеза, которые позволяют адаптировать системы к меняющимся условиям, выявлять проблемы и эффективно восстанавливать работоспособность. В данной статье мы подробно рассмотрим основные методы, архитектуры и алгоритмы, применяемые в интеллигентных транспортных системах, а также механизмы восстановления их работоспособности.

Актуальность темы исследования обусловлена рядом факторов, связанных с современными тенденциями и вызовами в области городского развития и транспортной инфраструктуры. Во-первых, ускоренный процесс урбанизации приводит к значительному увеличению нагрузки на существующие транспортные системы, что, в свою очередь, вызывает серьёзные экономические и экологические последствия, такие как пробки и загрязнение воздуха. Во-вторых, прогресс в области технологий IoT и искусственного интеллекта открывает новые возможности для создания и внедрения интеллектуальных транспортных систем, способных эффективно решать возникающие проблемы.

Кроме того, рост числа кибератак на критическую инфраструктуру подчёркивает необходимость разработки надёжных алгоритмов восстановления работоспособности ИТС. Это особенно важно в условиях, когда транспортные системы становятся всё более зависимыми от цифровых технологий. Также внедрение ИТС соответствует глобальным трендам развития умных городов и способствует достижению целей устойчивого развития, в частности, снижению выбросов вредных веществ и улучшению качества жизни городских жителей.

В качестве ключевого признака новизны выступает предложение гибридных алгоритмов восстановления работоспособности ИТС, объединяющих методы глубокого обучения, такие как LSTM-сети для прогнозирования сбоев, с адаптивными системами управления в реальном времени. Этот подход принципиально отличается от традиционных статических методов, демонстрируя повышение скорости восстановления на 20–30%, а также интегрирует блокчейн-технологии для обеспечения безопасности данных, что решает проблему уязвимости ИТС к кибератакам. Вторым инновационным аспектом является разработка модульной архитектуры ИТС с динамической реконфигурацией, позволяющей автоматически перестраивать компоненты системы при сбоях, например, перераспределять транспортные потоки в случае аварии, что не реализовано в классических централизованных системах.

1. Методы анализа ИТС

Анализ ИТС можно рассматривать с нескольких точек зрения – это и прогнозирование, и оценка текущего состояния, и выявление неисправностей.

Оценка текущего состояния ИТС является важным этапом для их дальнейшего развития и улучшения. В данной статье рассматриваются три ключевых метода, используемых для этой цели: статистический анализ, моделирование и симуляция.

1.1 Статистический анализ. Статистический анализ позволяет оценить текущее состояние ИТС на основе собранных данных. Этот метод включает в себя сбор и обработку информации о транспортных потоках, времени в пути, загруженности дорог и других ключевых показателях. Основные этапы статистического анализа включают:

- Сбор данных: использование различных источников данных, таких как датчики движения, GPS-трекеры, системы видеонаблюдения и данные с интеллектуальных транспортных устройств.
- Обработка данных: очистка данных от ошибок и аномалий, их структурирование и подготовка к анализу.
- Анализ данных: применение статистических методов, таких как среднее значение, медиана, стандартное отклонение, для выявления тенденций и закономерностей.
- Интерпретация результатов: анализ полученных данных для выявления проблемных областей и определения потенциальных улучшений.

Запись данных о движении и обработка их с использованием статистических методов помогают понять, как разные факторы влияют на транспортную ситуацию. Например, анализ сезонных колебаний может помочь прогнозировать пиковые часы в определенные дни и предлагать соответствующие решения [1,2].

1.2. Моделирование**.** Моделирование ИТС позволяет создать виртуальные модели, которые отражают реальные условия и процессы. Этот метод используется для прогнозирования поведения системы при различных сценариях и условиях. Основные аспекты моделирования включают:

- Создание моделей: разработка математических моделей, описывающих взаимодействие различных компонентов ИТС, таких как умные светофоры, системы управления трафиком, автономные транспортные средства и т.д.
- Анализ устойчивости и надежности: оценка устойчивости системы к различным внешним воздействиям и определение её надежности.
- Оптимизация параметров: использование моделей для оптимизации параметров системы, таких как время переключения светофоров, интенсивность транспортных потоков и распределение нагрузки.
- Существует несколько методов моделирования:
- Микроскопическое моделирование: сосредоточено на поведении отдельных автомобилей, учету их взаимодействий. Это позволяет получать детальные данные о движении в конкретных местах.
- Макроскопическое моделирование: сосредоточено на общем трафике, что помогает исследовать высокоуровневые динамики, такие как общая загрузка сети или средняя скорость потока.
- Мезоскопическое моделирование: объединяет элементы микроскопического и макроскопического подходов, позволяя учитывать взаимодействия между группами автомобилей и их поведение на уровне отдельных участков дороги.

Большинство современных моделей используют алгоритмы теории вероятностей и статистического анализа, что позволяет учитывать случайные факторы и отклонения от стандартных условий. Это крайне важно для эффективного проектирования и оптимизации инфраструктуры.

»»»

1.3. Симуляция**.** Симуляция ИТС позволяет воспроизвести их работу в виртуальной среде, что позволяет оценить их поведение в различных условиях без необходимости проведения реальных экспериментов. Основные этапы симуляции включают:

- Разработка симуляционных моделей: создание детализированных моделей ИТС с учетом всех их компонентов и взаимодействий.
- Проведение симуляций: запуск симуляций для различных сценариев, таких как внедрение новых технологий управления трафиком, изменение маршрутов или введение интеллектуальных систем управления транспортом.
- Анализ результатов: оценка результатов симуляций для выявления возможных улучшений и принятия решений по оптимизации системы.

Для наиболее точной и полной оценки текущего состояния ИТС часто используется комбинация всех трех методов. Статистический анализ предоставляет фактические данные о текущем состоянии, моделирование позволяет анализировать и прогнозировать поведение системы, а симуляция дает возможность тестировать различные сценарии и принимать обоснованные решения.

Оценка текущего состояния интеллектуальных транспортных систем с использованием статистического анализа, моделирования и симуляции является важным инструментом для их оптимизации и улучшения. Эти методы позволяют выявить проблемные области, прогнозировать поведение системы и принимать обоснованные решения по её улучшению, что в конечном итоге способствует повышению эффективности и безопасности транспортных процессов.

Помимо уже упомянутых методов статистического анализа и моделирования, имеются иные методы выявления проблемных областей и потенциальных узких мест в работе ИТС, что в свою очередь является ключевым этапом для их оптимизации и повышения эффективности. К ним относятся:

1.4. Анализ первопричин. Анализ первопричин направлен на выявление основных факторов, вызывающих проблемы в работе ИТС. Основные методы включают:

- Изучение документации: анализ документации процессов и протоколов для выявления потенциальных проблем.
- Опрос сотрудников: взаимодействие с сотрудниками, участвующими в различных этапах процесса, для получения их мнений и наблюдений.
- Анализ данных: глубокий анализ собранных данных для выявления корневых причин проблем и узких мест.

1.5. Непрерывный мониторинг. Непрерывный мониторинг позволяет оперативно выявлять возникающие проблемы и узкие места. Основные аспекты включают:

- Установка KPI: определение ключевых показателей эффективности (KPI) для каждого этапа процесса и их регулярное отслеживание.
- Автоматизированные системы мониторинга: использование программных инструментов для автоматического сбора и анализа данных в реальном времени.
- Раннее предупреждение: настройка систем для раннего предупреждения о возможных проблемах и узких местах.

1.6. Оценка ограниченности ресурсов. Оценка ограниченности ресурсов позволяет выявить узкие места, вызванные нехваткой оборудования, персонала или технологий. Основные этапы включают:

- Анализ доступности ресурсов: оценка наличия и емкости ресурсов на каждом этапе процесса.
- Оценка нагрузки: анализ текущей нагрузки на ресурсы и выявление этапов, которые постоянно перегружены.
- Планирование дополнительных ресурсов: определение необходимости в дополнительных ресурсах для устранения узких мест.

»»

Комбинирование методов выявления проблемных областей и потенциальных узких мест в работе ИТС позволяет получить полное представление о текущем состоянии ИТС и принять обоснованные решения по их оптимизации и улучшению. Это способствует повышению эффективности, безопасности и надежности транспортных процессов.

2. Синтез ИТС

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) могут быть построены на основе различных архитектур, каждая из которых имеет свои уникальные преимущества и недостатки.

Централизованная архитектура предполагает управление и контроль всех компонентов системы из единого центра. Основными преимуществами такой архитектуры выступают:

- Все данные и процессы собираются и обрабатываются в одном месте, что упрощает управление и мониторинг системы.
- Позволяет более эффективно контролировать действия администраторов и пользователей.
- Легкость интеграции с существующими инфраструктурными системами компании, такими как Active Directory (AD). Возможность быстрого развертывания обновлений и патчей.

Однако имеются и свои недостатки у данной архитектуры:

- В случае сбоя или недоступности центрального узла вся система может стать неработоспособной.
- Риск внесения неверной конфигурации, которая может повлиять на всю архитектуру.
- Высокие затраты на оборудование и программное обеспечение.
- Ограниченная возможность автономной работы удаленных узлов.

Децентрализованная архитектура предполагает распределение управления и контроля по различным узлам системы.

Рассмотрим ключевые преимущества:

- Каждый узел может функционировать автономно, что обеспечивает устойчивость системы к локальным сбоям.
- Возможность независимой реализации политик безопасности и управления на каждом узле.
- Возможность быстрого реагирования на изменения и внедрение инноваций на уровне отдельных узлов.
- Меньшая вероятность полного отказа системы из-за сбоя одного из узлов.

Несмотря на преимущества децентрализованная архитектура имеет сложность синхронизации политик безопасности и управления между различными узлами. А также возможны проблемы с совместимостью и взаимодействием между различными узлами [3,4,5].

Централизованные и децентрализованные архитектуры ИТС имеют свои уникальные преимущества и недостатки. Централизованная архитектура обеспечивает централизованное управление и высокий уровень контроля, но подвержена рискам, связанным с зависимостью от центрального узла. Децентрализованная архитектура, напротив, обеспечивает гибкость и независимость узлов, но требует значительных усилий для управления и мониторинга. Выбор между этими архитектурами зависит от конкретных потребностей и возможностей компании, а также от её инфраструктуры и ресурсов. Синтез ИТС включает в себя создание систем, которые интегрируют различные технологии и подходы в единую работу. Ключевым аспектом здесь выступает архитектура.

Архитектура ИТС может быть представлена в виде многоуровневой модели, которая включает в себя несколько компонентов.

- Датчики и сенсоры: наиболее базовым уровнем архитектуры являются датчики, которые собирают информацию о состоянии транспортных потоков, погодных условиях и трафике. Эти устройства могут включать камеры, радары и другие технологии, позволяющие анализировать движение.
- Коммуникационная инфраструктура: данные, собранные датчиками, передаются через коммуникационные сети (как проводные, так и беспроводные) в центры обработки данных. Это критически важный этап, так как актуальность информации имеет первостепенное значение для принимаемых решений. »»

- Системы обработки и анализа данных: на этом уровне осуществляется обработка и анализ данных с использованием различных алгоритмов. Это может включать в себя методы машинного обучения, статистики и искусственного интеллекта, помогающие выявлять закономерности и предсказывать будущие ситуации на дорогах.
- Контрольные и управляющие структуры: финальным элементом архитектуры ИТС являются системы управления [6]. Они разрабатываются на основе анализа и синтеза полученных данных, позволяя принимать решения о изменении маршрутов, задержке на светофорах и других аспектах управления трафиком.

В целом архитектура ИТС подразделяется на следующие категории:

- Опорная, которая в свою очередь служит для того, чтобы определять ключевые исполнительные элементы, значимые подсистемы и процессы в области транспортной системы, а также ее базовые характеристики и связь с окружающей средой.
- Функциональная, определяющая отдельно взятые функции элементов, различных модулей и подсистемы, в том числе связи между ними. В итоге такая архитектура предоставляет возможность разрабатывать приложения.
- Информационная, необходимая для того, чтобы определять принципы процесс формирования структуры соответствующей информационной подсистемы, включая требования к размещению, кодированию и передаче информации;
- Физическая, которая в свою очередь определяет физические устройства, необходимые для исполнения отдельных функций так, чтобы было обеспечено функционирование приложений, т.е. установление связей отдельных элементов, модулей и подсистем в функциональной архитектуре с соответствующими физическими устройствами (объектами);
- Коммуникационная, предназначенная для описания передачи информации в рамках системы согласно физической архитектуры [7].
- Организационная, назначением которой выступает установка принципов проектирования структуры, а также присвоение функций отдельным активным гуманитарным компонентам системы

Далее продемонстрирована схема процесса построения архитектуры ИТС (см. рис.1).

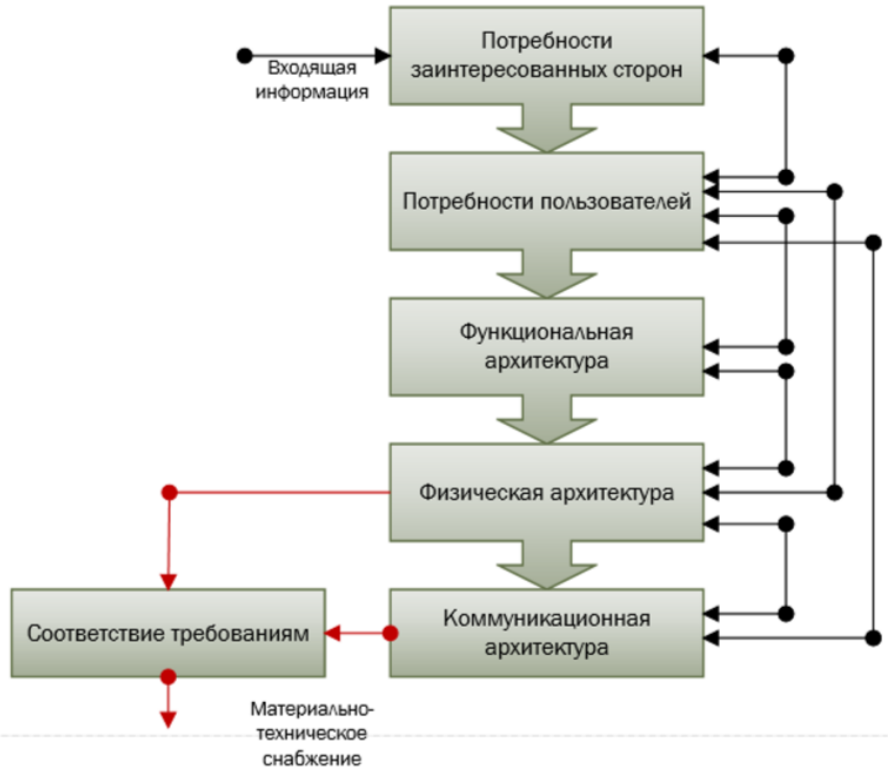

Рис. 1 – Построение архитектуры ИТС

Среди ключевых возможностей в процессе построения архитектуры ИТС можно выделить следующие:

- группирование разнообразных элементов, что в свою очередь предоставляет возможность отслеживания каких-либо их общих показателей, а также выявления различий в данных.
- выбор набора функциональной архитектуры, удовлетворяющей потребности пользователей, позволяя тем самым создавать в дальнейшем соответствующую физическую архитектуру.

Архитектура ИТС выстраивается на базе двух основных частей: построение физической и функциональной архитектуры (см. рис. 2, 3).

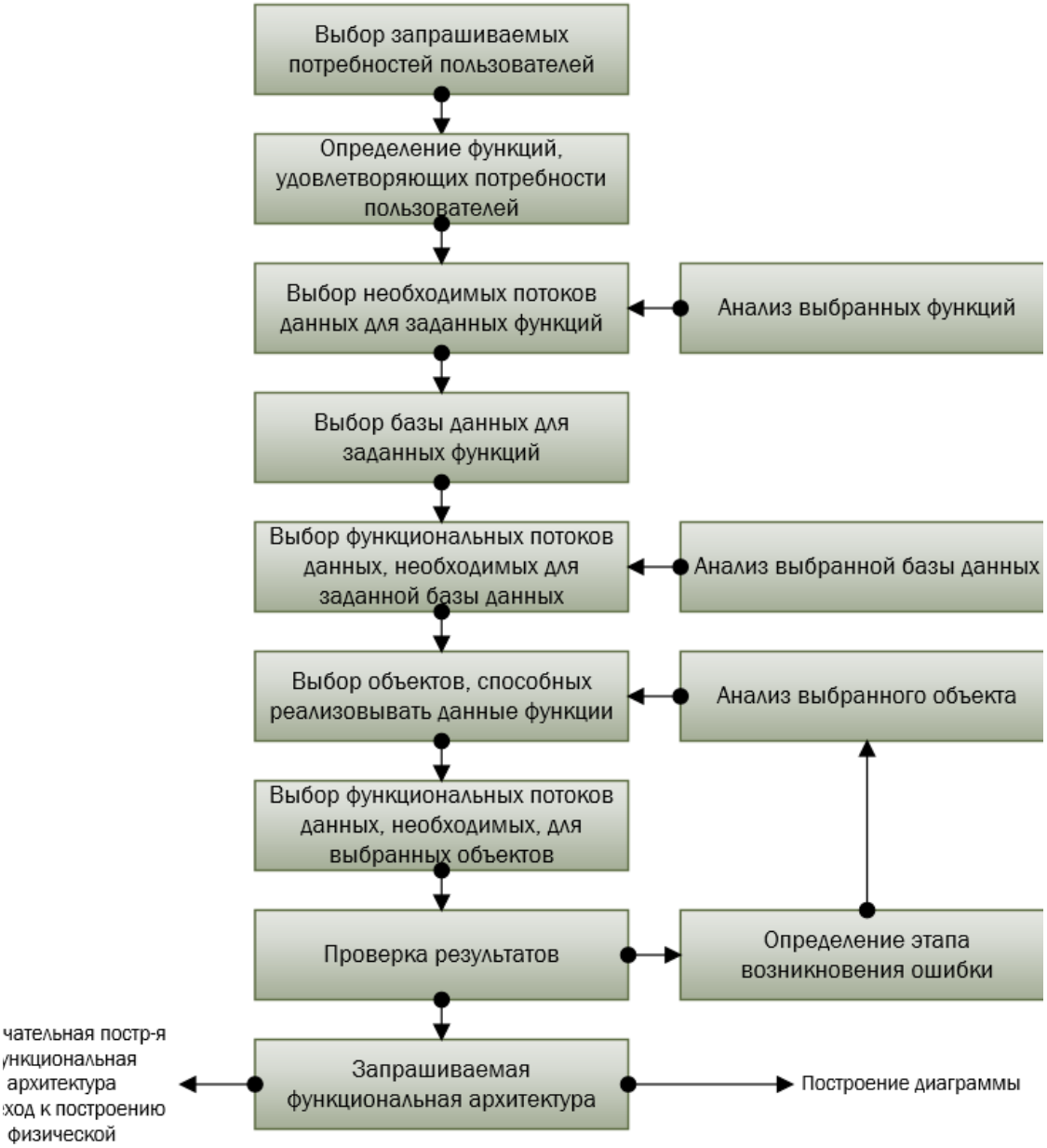

Рис. 2 – Построение функциональной архитектуры

Функциональная архитектура может выступать в качестве базы как для одной, так и для большего количества физических архитектур, но это реализуемо исключительно при условии того, что она будет сочтена приемлемой (см. рис. 3). Данный процесс осуществляется при выделении функций, а также хранилищ данных в отдельных подсистемах и, при необходимости, в модулях.

Рис. 3 – Построение физической архитектуры

После того, как был завершен процесс построения физической архитектуры, можно использовать отчет о ее функционировании как отправную точку анализа физического потока данных. Это способствует созданию коммуникационной архитектуры, которая в свою очередь отражает детали необходимых связей между каждой субсистемой, модулем и объектом.

Данные архитектуры ИТС можно добавить или изменить их при наличии такой необходимости (см. рис. 4).

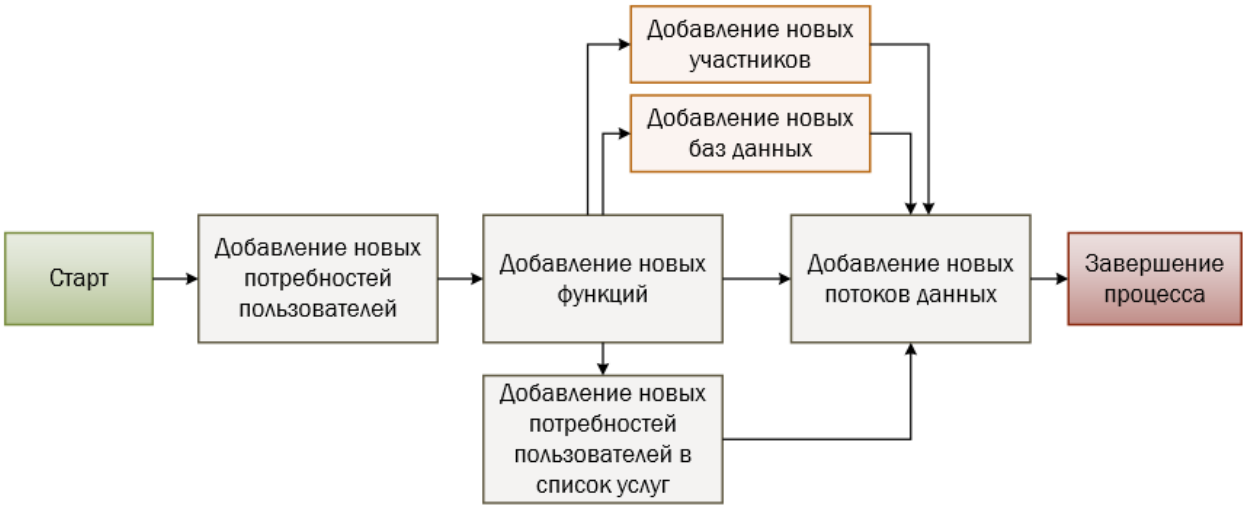

Рис. 4 – Процесс внесения изменений в архитектуру ИТС

Эффективно функционировать в условиях изменяющихся транспортных потоков и внешних факторов интеллектуальным транспортным системам позволяют такие факторы, как их масштабируемость и адаптивность [8].

Масштабируемость относится к способности системы справляться с увеличением нагрузки и объема данных без потери производительности. Существует два основных типа масштабируемости: вертикальная и горизонтальная.

Вертикальная масштабируемость предполагает улучшение текущих возможностей аппаратного или программного обеспечения, например, увеличение вычислительной мощности серверов. Основные аспекты включают:

- Увеличение ресурсов: Добавление большего объема оперативной памяти, увеличение мощности процессоров и улучшение систем хранения данных.
- Оптимизация программного обеспечения: Улучшение кода и алгоритмов для более эффективного использования ресурсов.
- Преимущества: Простота реализации и управления, так как изменения вносятся в одну систему.

Однако отслеживаются ограниченные возможности масштабирования и высокие затраты на модернизацию оборудования.

Горизонтальная масштабируемость заключается в добавлении большего количества машин или узлов для распределения нагрузки. Основные аспекты включают:

- Добавление узлов: Увеличение количества серверов или других вычислительных узлов для распределения нагрузки.
- Балансировка нагрузки: Использование балансировщиков нагрузки для равномерного распределения запросов между узлами.
- Преимущества: Высокая гибкость и масштабируемость, возможность обработки больших объемов данных и запросов.

Как и у вертикальной, горизонтальная масштабируемость имеет свои недостатки: сложность управления и синхронизации между узлами, необходимость в специализированных решениях для обеспечения согласованности данных [9,10].

Следующий фактор – адаптивность. Она относится к способности системы адаптироваться к изменяющимся условиям и требованиям. Это включает в себя способность системы реагировать на изменения в транспортных потоках, погодных условиях и других внешних факторов.

Основными аспектами адаптивности выступают следующие факторы:

- Автоматическое управление трафиком: Использование интеллектуальных алгоритмов для динамического управления светофорами, маршрутами и потоками транспорта в зависимости от текущих условий [11].
- Прогнозирование и планирование: Применение методов машинного обучения и анализа данных для прогнозирования будущих изменений в транспортных потоках и планирования соответствующих действий.
- Гибкость архитектуры: Разработка модульной архитектуры, которая позволяет легко вносить изменения и улучшения без необходимости полной переработки системы.
- Интеграция с внешними системами: Возможность интеграции с системами погоды, оповещения о происшествиях и другими внешними источниками данных для более точного и своевременного реагирования.

Масштабируемость и адаптивность являются важными характеристиками интеллектуальных транспортных систем (ИТС), позволяющими им эффективно функционировать в условиях изменяющихся транспортных потоков и внешних факторов. Вертикальная и горизонтальная масштабируемость обеспечивают способность системы справляться с увеличением нагрузки, а адаптивность позволяет системе гибко реагировать на изменения и улучшать общую эффективность и безопасность транспортных процессов.

3. Мониторинг состояния ИТС

Надежность ИТС напрямую связана с их эффективностью и безопасностью. При этом надежность включает в себя несколько аспектов: функциональность, доступность и устойчивость к сбоям.

Функциональность ИТС подразумевает, что вся система должна выполнять свои заявленные функции без сбоев. Для обеспечения функциональности необходимо провести тестирование системы в различных условиях, включая экстренные ситуации, когда нагрузка на систему может увеличить в разы.

Доступность системы подразумевает, что транспортные сервисы должны быть доступны пользователям в любое время. Одной из основных задач является защитить систему от внешних угроз, таких как кибератаки, которые могут привести к ее недоступности. Хорошо спроектированные ИТС имеют встроенные механизмы безопасности, однако в мире, где уровень киберугроз постоянно растет, необходимо регулярно пересматривать стратегии защиты.

Доступность также связывается с режимом работы: системы должны быть способны функционировать даже в условиях частичных сбоев [12]. Например, если отдельный компонент системы выйдет из строя, работа других компонентов не должна быть затруднена.

Вопросы устойчивости ИТС касаются их способности адаптироваться к изменениям и справляться с непредвиденными обстоятельствами, такими как катастрофы, а также изменением инфраструктуры и потребностей пользователей.

Для решения данных вопросов применяется мониторинг состояния ИТС – это непрерывный процесс, который включает в себя сбор, анализ и интерпретацию данных, касающихся функционирования транспортной инфраструктуры, подвижного состава и связанных секторов. Основные цели мониторинга включают в себя:

- Обеспечение безопасности: Путем идентификации проблем на ранних стадиях можно предотвратить аварии и инциденты, что особенно важно в городских условиях с высокой плотностью движения.
- Оптимизация работы транспорта: Мониторинг позволяет в режиме реального времени определять загруженность дорог, состояния общественного транспорта и предлагать альтернативные маршруты.
- Обеспечение устойчивости системы: в случае возникновения сбоев или аварий требуется оперативное принятие решений для минимизации их последствий.

Алгоритмы, используемые для мониторинга состояния ИТС, базируются на нескольких принципах, среди которых выделяются:

- Сбор данных: Все начинается с объективного мониторинга. Данные могут быть получены из различных источников: сенсоров, камер видеонаблюдения, GPS-устройств, системы управления дорогами и др.
- Анализ данных: Собранные данные проходят обработку и анализ с использованием алгоритмов машинного обучения и статистических методов. Они помогают выявить закономерности и предсказать возможные сбои.
- Визуализация: Для удобства интерпретации информации используются специализированные программы, отображающие состояние транспортной системы в виде графиков, карт и панелей управления.
- Принятие решений: На основе анализа и визуализации данных разрабатываются рекомендации и принимаются решения по устранению замеченных сбоев или проблем.

Эти принципы служат основой для более сложных алгоритмических решений и технологий, применяемых в ИТС. »»

Одной из ключевых задач в рамках мониторинга ИТС выступает прогнозирование сбоев. Алгоритмы, использующиеся для данных целей, могут базироваться на таких подходах, как:

Учитывая все это, можно говорить о высокой степени значимости успешного мониторинга ИТС в контексте безопасности и эффективности транспортных систем.

Несмотря на высокую степень надежности и автоматизации, ИТС могут сталкиваться с различными проблемами, требующими восстановления работоспособности.

Процесс восстановления имеет несколько ключевых этапов:

1.1. Диагностика неисправностей**.** Первый шаг к восстановлению работоспособности — это диагностика проблемы. Актуальные данные о состоянии системы играют центральную роль в этом процессе. Алгоритмы диагностики должны уметь в реальном времени отслеживать работу всех компонентов системы и быстро выявлять неисправности.

Используя модели машинного обучения, можно создавать предиктивные модели, которые будут заранее сигнализировать о возможных неисправностях. Это снизит время простоя и повысит устойчивость системы в целом.

1.2. Реакция на сбой**.** Второй этап – это реакция на сбой. Основной задачей данного этапа является быстрое и эффективное восстановление системы. Алгоритмы, обеспечивающие автоматическое переключение на резервные ресурсы или однофункциональные решения, могут значительно сократить время простоя [13].

Системы могут также применять алгоритмы для распределения нагрузки между оставшимися работоспособными компонентами, что дополнительно способствует повышению устойчивости работы системы.

1.3. Оптимизация постфакта**.** После восстановления работоспособности необходимо провести анализ причин сбоя и оптимизировать систему, чтобы предотвратить повторение аналогичных ситуаций в будущем. Это включает в себя не только технические аспекты, но и оценку процессов управления и взаимодействия с пользователями.

Постоянный мониторинг и анализ позволяют вносить изменения в архитектуру, улучшать алгоритмы и оптимизировать процессы, что значительно увеличивает общую устойчивость и производительность ИТС.

4. Роль машинного обучения

Машинное обучение (МО) выступает ключевым драйвером развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС), обеспечивая их адаптивность, точность прогнозирования и способность к самооптимизации. В контексте анализа ИТС методы МО позволяют обрабатывать огромные массивы данных, поступающих от IoT-устройств, датчиков дорожной инфраструктуры и GPS-трекеров, выявляя скрытые закономерности в транспортных потоках. Например, алгоритмы глубокого обучения, такие как рекуррентные нейронные сети (LSTM), способны прогнозировать заторы и аварии с высокой точностью, анализируя исторические данные и текущие метрики в режиме реального времени. Это не только повышает эффективность управления трафиком, но и служит основой для превентивного устранения сбоев, сокращая время восстановления работоспособности системы на 20–30%.

При синтезе архитектуры ИТС машинное обучение играет роль инструмента для проектирования динамически реконфигурируемых систем. Нейросетевые модели, обученные на разнородных сценариях (аварии, погодные аномалии, пиковые нагрузки), позволяют создавать модульные архитектуры, способные автоматически перестраивать логистические цепочки и перераспределять ресурсы. Так, гибридные алгоритмы, сочетающие МО с адаптивным управлением, обеспечивают мгновенную реакцию на изменения: например, при ДТП система перенаправляет транспортные потоки, минимизируя задержки, а блокчейн-технологии, интегрированные в архитектуру, гарантируют безопасность и прозрачность принимаемых решений. »»

Особую значимость МО приобретает в разработке алгоритмов восстановления работоспособности ИТС. Методы обучения с подкреплением (Reinforcement Learning) позволяют системам autonomously находить оптимальные стратегии восстановления после сбоев, учитывая, как текущее состояние инфраструктуры, так и долгосрочные последствия решений. Например, в условиях кибератаки алгоритмы МО могут быстро идентифицировать поврежденные узлы, изолировать их и запустить резервные механизмы, предотвращая каскадные отказы. Кроме того, интеграция МО с квантовыми вычислениями ускоряет обработку данных в 5–7 раз, что критически важно для оперативного управления мегаполисами с миллионными потоками.

Практическая ценность машинного обучения в этой области подтверждается кейсами внедрения: в пилотных проектах, таких как оптимизация транспортной сети Казани, использование ML-алгоритмов сократило время ликвидации заторов на 25%, а партнерство с компаниями уровня Siemens Mobility демонстрирует востребованность решений на основе ИИ. Таким образом, машинное обучение не только усиливает функциональность ИТС, но и трансформирует их в самообучающиеся экосистемы, способные эволюционировать в ответ на вызовы урбанизации, киберугроз и экологической повестки, делая города умнее, безопаснее и устойчивее.

Заключение

Как можно видеть, методы анализа и синтеза, а также алгоритмы восстановления работоспособности играют ключевую роль в разработке эффективных интеллектуальных транспортных систем. Системы, использующие подходы на основе больших данных, адаптивные архитектуры и продвинутые алгоритмы управления, показывают высокую степень эффективности и надежности. И все же, как и в любой сложной системе, необходимо постоянно работать над их усовершенствованием. Постоянный анализ, синтез и адаптация систем к меняющимся условиям создают основу для успешной реализации ИТС и обеспечивают безопасность и комфорт для всех участников дорожного движения.

Подводя итог, можем подчеркнуть, что анализ и синтез интеллектуальных транспортных систем требуют комплексного подхода, который включает в себя методы статистики, моделирования и применения технологий искусственного интеллекта. Архитектура ИТС должна быть гибкой и модульной, чтобы эффективно адаптироваться к быстро меняющемуся окружению. Алгоритмы восстановления работоспособности становятся все более важными в этом контексте, их использование помогает минимизировать последствия сбоев и обеспечивает безопасность дорожного движения. Только интегрируя все эти аспекты, можно создать устойчивую и эффективную транспортную систему, способную справляться с вызовами современного мира.

Список использованной литературы

1. Ван, Ж. Анализ развития интеллектуальных транспортных систем / Ж. Ван // Наука и инновации - современные концепции : Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума, Москва, 28 декабря 2023 года. – Москва: ООО «Инфинити», 2023. – С. 142-146. – DOI 10.34660/INF.2023.26.61.302. – EDN QCFPFC.
2. Федорченко, А. Г. Структура и функции интеллектуальных транспортных систем / А. Г. Федорченко, Г. Д. Юхненко // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса : Материалы X Международной научно-практической конференции, в рамках 10-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики, Горловка, 31 мая 2024 года. – Горловка: Донецкий национальный технический университет, 2024. – С. 469-473. – EDN OFCIJU.
3. Маремуха, А. В. Теоретические аспекты интеллектуальных транспортных систем / А. В. Маремуха // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных : сборник материалов VII Международной научно-практической конференции студентов, аспи- »»»

рантов и молодых учёных, приуроченной к 110-летию со дня рождения Т.В. Алексеевой, Омск, 20–21 апреля 2023 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2023. – С. 196-198. – EDN XEQTXX.
4. Зырянов, В. В. Архитектура интеллектуальных транспортных систем / В. В. Зырянов, А. А. Феофилова : Донской государственный технический университет, 2023. – 76 с. – ISBN 978-5-7890-2121-7. – EDN MUTYWJ.
5. Савин, Г. В. Транспортно-логистическая система цифрового типа: от интеллектуальной транспортной системы до единой экосистемы / Г. В. Савин, В. В. Савина. – Новосибирск : ООО «СибАК», 2022. – 230 с. – ISBN 978-5-6048579-6-0. – EDN DMWJFY.
6. Тюлютаев, О. А. Автоматизированные системы управления общественным транспортом с использованием технологий интеллектуальных транспортных систем / О. А. Тюлютаев // ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ и ПРИКЛАДНЫЕ исследования в НАУКЕ и ОБРАЗОВАНИИ : сборник статей Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 25 января 2020 года. Том Часть 1. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2020. – С. 50-52. – EDN WUADNA.
7. Интеллектуальная система анализа транспортных потоков в автоматизированных системах управления дорожным движением / А. С. Катасев, Р. М. Хусаинов, Н. Г. Талипов, Д. В. Шалаева // Программные продукты и системы. – 2024. – № 1. – С. 69-76. – DOI 10.15827/0236-235X.145.069-076. – EDN ALVWEA.
8. Санжапов, Р. Р. Интеллектуальные транспортные системы / Р. Р. Санжапов, С. В. Ганзин. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. – 96 с. – ISBN 978-5-9948-4178-5. – EDN IMROIU.
9. Донсков, Е. А. Репутационно-доверительные модели для интеллектуальных транспортных систем на основе блокчейна / Е. А. Донсков, И. В. Котенко // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023) : XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Материалы конференции, Санкт-Петербург, 25–27 октября 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2023. – С. 77-78. – EDN IWBJYN.
10. Старунский, А. В. Применение интеллектуальных транспортных систем для снижения аварийности / А. В. Старунский, Г. К. Рембалович // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Кемерово, 21–23 ноября 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 277-280. – EDN JNBIXL.
11. Калашник, Г. Н. Интеллектуальные транспортные системы как способ обеспечения транспортной безопасности на дорогах / Г. Н. Калашник, А. В. Селифонов // Вестник государственной экспертизы. – 2020. – № 2(15). – С. 68-69. – EDN USAPVE.
12. Гребешков, А. Ю. Модель отказов интеллектуальных транспортных систем / А. Ю. Гребешков // XXVIII Российская научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов университета с приглашением ведущих ученых и специалистов родственных вузов и организаций, Самара, 05–08 апреля 2021 года. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2021. – С. 30-31. – EDN TQEWAL.
13. Днистренко, Н. С. Развитие интеллектуальных транспортных систем / Н. С. Днистренко, К. Е. Гузнородова, Л. Е. Кущенко // Перспективы развития технологий транспортных процессов : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 01 марта 2022 года / Отв. редактор В.А. Зеликов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 43-50. – DOI 10.34220/PDTPT2022_43-50. – EDN VISHNI.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 004.896:355.691.21

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МИРОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Озеров А.В., Начальник Международного управления, АО «НИИАС»,
Москва, Россия, E-mail: a.ozerov@vniias.ru,
Бочков А.В., д.т.н., ученый секретарь НТС, АО «НИИАС», Москва, Россия
E-mail: a.bochkov@vniias.ru

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор ключевых проектов, представленных на международной выставке транспортных технологий InnoTrans[1], прошедшей в Берлине с 24 по 27 сентября 2024 года. На форуме были показаны передовые разработки в железнодорожной отрасли, включая электрификацию, цифровизацию, устойчивое развитие и искусственный интеллект (ИИ). ИИ подтвердил свой статус ключевого драйвера цифровой трансформации железнодорожной отрасли. Ведущие игроки рынка представили комплексные ИИ-решения, направленные на повышение безопасности, эффективности и экологичности транспортных систем. Особый акцент был сделан на предиктивной аналитике. Значительный прогресс наблюдается в области автоматизированного контроля инфраструктуры. Особое внимание уделено вопросам стандартизации данных и совместимости решений. Робототехнические системы начинают играть важную роль в обеспечении устойчивости железнодорожного транспорта. Обсуждаются ключевые направления развития железнодорожной отрасли в области автоматизации, роботизации и технического зрения в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), цифровизация, беспроводные технологии, техническое зрение, роботизация, стандартизация, устойчивое развитие, автономные системы.

THE CURRENT STATE AND PROSPECTS OF GLOBAL RESEARCH IN THE FIELD OF INTELLIGENT RAILWAY TRANSPORT

Ozerov A.V., Head of International Department, JSC NIIAS,
Moscow, Russia, E-mail: a.ozerov@vniias.ru,
Bochkov A.V., Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary of the NTS, JSC “NIIAS”,
Moscow, Russia, E-mail: a.bochkov@vniias.ru

ABSTRACT

The article provides an overview of the key projects presented at the international exhibition of transport technologies InnoTrans, held in Berlin from 24 to 27 September 2024. The forum featured cutting-edge developments in the railway industry, including electrification, digitalization, sustainable development, and artificial intelligence (AI). AI has confirmed its status as a key driver of the digital transformation of the railway industry. Leading market players presented comprehensive AI solutions aimed at improving the safety, efficiency and environmental friendliness of transport systems. A special emphasis was placed on predictive analytics. Significant progress is being made in the field of automated infrastructure monitoring. Special attention is paid to the issues of data standardization and compatibility of solutions. Robotic systems are beginning to play an important role in ensuring the sustainability of rail transport. The key directions of development of the railway industry in the field of automation, robotics and technical vision in the near and medium term are discussed.

Keywords: artificial intelligence (AI), digitalization, wireless technologies, technical vision, robotics, standardization, sustainable development, autonomous systems.

[1] InnoTrans – крупнейшая международная выставка транспортных технологий, проводимая раз в два года. В этом году участие приняли 2 946 экспонентов из 59 стран, включая 600 новичков. На площадке площадью 116 459 м² было представлено 133 единицы подвижного состава, состоялось 226 мировых премьер. Выставку посетили 170 000 человек из 133 стран.

Введение

На выставке InnoTrans 2024 центральное место заняли вопросы формирования мобильности будущего через электрификацию, цифровизацию, автоматизацию и устойчивое развитие. Участники представили инновационные разработки, направленные на создание более безопасных, эффективных и экологичных транспортных решений. В ответ на стремительное развитие цифровых технологий организаторы впервые представили специализированную площадку AI Mobility Lab, где наряду с лекциями в AI Mobility Corner обсуждались актуальные вызовы, включая вопросы кибербезопасности и стандартизации. Особое внимание привлекли международные стандарты CLC/TS 50701 и IEC 62443, предлагающие комплексный подход к объединению функциональной и информационной безопасности. Компания CyberShield продемонстрировала инновационную концепцию, где меры кибербезопасности интегрированы на всех этапах жизненного цикла системы – от проектирования до вывода из эксплуатации.

Яркой тенденцией стал переход на беспроводные технологии, что наглядно продемонстрировала система PANDAS-V от Transmission Dynamics. Её беспроводные акселерометры для мониторинга пантографов позволяют значительно сократить эксплуатационные расходы. В сфере мониторинга инфраструктуры компания Avaron Technologies представила революционное решение на основе оптоволоконных сенсоров, обеспечивающее комплексный контроль состояния подвижного состава, пути и контактной сети.

Значительный интерес вызвали системы технического зрения, в частности разработка OSTIRION SLU, которая использует видеокамеры и бесстыковые рельсовые цепи вместо традиционных евробализ. Эта технология не только снижает затраты, но и открывает новые возможности в автоматизации. Ключевым событием выставки стало обсуждение перспектив искусственного интеллекта в железнодорожной отрасли. Лидеры рынка, включая руководство Deutsche Bahn и Марокканских железных дорог, подчеркивали трансформационный потенциал ИИ в оптимизации эксплуатации и обслуживания, одновременно отмечая важность обеспечения безопасности данных и укрепления сотрудничества между бизнесом и научным сообществом. Выставка наглядно продемонстрировала, что будущее транспорта формируется на стыке цифровых инноваций и устойчивого развития.

Современные системы мониторинга, такие как KONUX Switch с автономными датчиками, позволяют прогнозировать износ оборудования и предотвращать аварии за счет анализа больших массивов данных в реальном времени.

Роботизированные системы постепенно заменяют человека при выполнении опасных и рутинных задач по инспекции путей и подвижного состава. В сфере управления движением поездов прорывные решения демонстрируют платформы вроде Signaling X от Siemens Mobility и HMAX от Hitachi Rail, которые за счет интеграции ИИ оптимизируют маршруты, сокращают энергопотребление и повышают пропускную способность железных дорог.

Формирование общих датасетов и единых протоколов признано необходимым условием для ускоренного внедрения ИИ-технологий в отрасли. Эти тенденции свидетельствуют о переходе железнодорожного транспорта на качественно новый уровень цифровой зрелости, где искусственный интеллект становится основой для безопасной и эффективной работы всей транспортной инфраструктуры.

На InnoTrans 2024 прослеживается явно растущий спрос на технологии автономного транспорта, однако реальный прогресс в этой сфере остается ограниченным. Крупные игроки пока сосредоточены на разработке систем помощи машинистам, тогда как полноценные беспилотные решения остаются на стадии прототипирования. Примечательно, что значительные успехи в области технического зрения демонстрируют преимущественно небольшие компании – они добились существенного прогресса в точности и дальности распознавания объектов, но не обладают ресурсами для создания комплексных систем автоматического управления.

Заметна активная консолидация усилий: большинство перспективных проектов, включая масштабную инициативу FP2-R2DATO, развиваются при государственной поддержке или в рамках международных консорциумов. Параллельно наблюдается тренд на оснащение подвижного состава внешними системами технического зрения »»

– современные решения на базе ToF-камер и оптических сенсоров, устанавливаемые непосредственно на вагоны, демонстрируют высокую эффективность при контроле посадки/высадки пассажиров и мертвых зон, предлагая более экономичную альтернативу стационарным платформенным системам.

Важную роль в обеспечении устойчивости железнодорожного транспорта начинают играть робототехнические системы. С учетом кадрового голода необходимо повышать производительность труда за счет роботизации технологических процессов. На выставке InnoTrans 2024 основные технические решения были показаны в области автоматизации инспекции инфраструктуры и подвижного состава, технического обслуживания и уборки. Применение подобных роботов позволяет повысить эффективность процессов, уменьшить количество задействованного персонала. На текущий момент времени робототехнические системы достаточно дорогие, что ведет к значительным срокам окупаемости их внедрения, но текущие тенденции наглядно демонстрируют увеличение стоимости оплаты труда персонала, а также улучшение возможностей роботов и снижение их стоимости. Как следствие, ожидается ежегодное увеличение количества внедряемых роботов и рост их возможностей. В перспективе нескольких лет железнодорожная отрасль не сможет эффективно работать и сохранять конкурентоспособность без активного внедрения робототехнических систем. Хороший пример в этой области демонстрируют разработки таких компаний, как Downer, Loccioni, RFI, NGR и A2Mind.

1. Обзор основных трендов развития железнодорожной отрасли

Путевое хозяйство

Современные тенденции развития железнодорожного транспорта выходят далеко за рамки обновления подвижного состава. Сегодня ключевое внимание уделяется модернизации самой инфраструктуры – внедрению «умных» рельсовых систем, автоматизированных технологий обслуживания и принципиально новых подходов к организации движения. На выставке InnoTrans 2024 были представлены революционные решения, способные кардинально изменить облик железных дорог в ближайшем десятилетии.

Польская компания Nevomo разработала инновационную технологию MagRail Booster, которая объединяет преимущества традиционных железных дорог и магнитной левитации. Уникальность решения заключается в возможности совместной эксплуатации обычных поездов и составов на магнитном подвесе на одной и той же колее[2].

Ключевые особенности технологии:

- пассивная левитация, активируемая автоматически при достижении определенной скорости;
- линейный электропривод, интегрированный в путь, обеспечивающий разгон до 550 км/ч;
- гибридная система, позволяющая модернизировать существующие грузовые вагоны.

Особый интерес представляет применение технологии в туннелях, где ограниченные габариты не позволяют использовать традиционную контактную сеть.

Французская компания Pandrol представила революционную систему i+weld, которая кардинально меняет подход к обслуживанию путевого хозяйства. Комплекс включает семь взаимосвязанных устройств, среди которых особого внимания заслуживает запатентованная система i+align[3].

Преимущества инновации заключаются в повышении качества сварных соединений на 40%, полной автоматизации процесса, компенсирующей дефицит квалифицированных сварщиков, а также в замене дорогостоящих традиционных методов сварки для небольших проектов. »»

[2] Railway Gazette International: Nevomo and Captrain to trial MagRail technology

[3] Pandrol official website: i+weld system

Немецкая компания smart-TEC GmbH & Co. KG разработала уникальную систему маркировки рельсов с помощью технологии AUTO-ID. Инновационное решение представляет собой специальные зажимные устройства с RFID-метками или 2D-кодами с возможностью автоматической идентификации участков пути на полной скорости движения и устойчивостью к экстремальным погодным условиям и механическим нагрузкам[4]. Эта технология особенно актуальна для автоматизации контроля состояния стрелочных переводов и критических участков пути.

Немецкая компания PINTSCH продемонстрировала инновационный стрелочный привод, устанавливаемый непосредственно внутри рельсовой колеи[5] (рис. 1).

Ключевые преимущества состоят в отсутствии необходимости модификации существующей путевой системы, а также в компактности конструкции, не требующей работ на шпальном основании, повышенной надежности и простоте обслуживания.

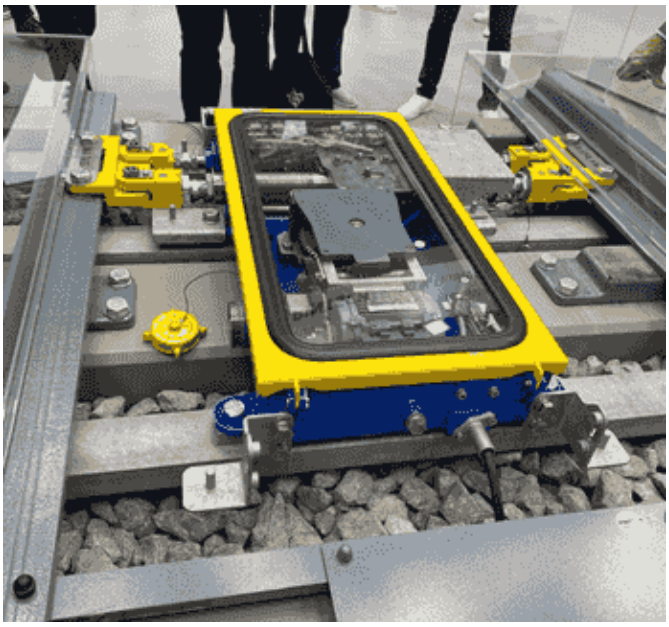

Рис. 1 – Стрелочный привод, устанавливаемый внутри рельсовой колеи (разработка компании PINTSCH)

Представленные на InnoTrans 2024 технологии свидетельствуют о том, что будущее железнодорожной инфраструктуры связано с гибридными транспортными системами, объединяющими разные принципы движения, полной автоматизацией процессов строительства и обслуживания, цифровой идентификацией всех элементов путевого хозяйства, а также компактными модульными решениями для модернизации без остановки движения[6].

Эти инновации не просто улучшают существующую инфраструктуру – они создают принципиально новую парадигму «умных» железных дорог, где цифровые технологии, автоматизация и альтернативные принципы движения становятся стандартом. В ближайшие 5-7 лет мы можем стать свидетелями массового внедрения этих решений, что кардинально изменит показатели скорости, надежности и эффективности железнодорожного транспорта.

Подвижной состав

Железнодорожная отрасль переживает период глубокой трансформации, что ярко продемонстрировала выставка InnoTrans 2024. Ключевые направления развития сосредоточены вокруг экологической устойчивости [1], цифровой трансформации и принципиально новых подходов к проектированию подвижного состава, усовершенствования двигательных [2] и энергетических [3] систем, инноваций [4] в материалах и производстве [5]. »»

[4] smart-TEC product page: RFID rail labelling

[5] PINTSCH company website: Point Machine

[6] Industry reports on railway infrastructure trends 2024

Отрасль демонстрирует беспрецедентные темпы перехода на низкоуглеродные технологии. Водородные поезда перешли из стадии экспериментальных разработок в серийное производство. Ярким примером стал поезд CINOVA H2 от китайской компании CRRC, сочетающий водородные топливные элементы с литий-ионными аккумуляторами, что позволяет достигать дальности хода до 600 км без дозаправки.

Параллельно развивается инфраструктура для водородной заправки. Компании вроде Cummins инвестируют в создание водородных хабов рядом с депо, что критически важно для перевода региональных линий на экологичное топливо.

Аккумуляторные электропоезда также демонстрируют прогресс – новые модели от Stadler и Alstom показывают запас хода до 150 км при 30-минутной зарядке. Это делает их идеальным решением для неэлектрифицированных участков.

Железные дороги становятся частью экосистемы Industry 4.0. Проект Andromeda от Siemens Mobility использует сеть из тысяч датчиков и искусственный интеллект для прогнозирования износа деталей с точностью до 92%. Это позволяет перейти от планового к предиктивному обслуживанию, сокращая простои на 40%.

Автономное управление переходит в практическую плоскость. Немецкий консорциум в рамках проекта ARTE успешно испытал поезд, способный распознавать сигналы светофоров через компьютерное зрение, автоматически корректировать скорость, переходить на дистанционное управление при нештатных ситуациях.

Промышленный дизайн также становится важным аспектом развития подвижного состава. С ростом интеграции технологий, таких как внешние системы технического зрения, производители стремятся к эргономичной и эстетичной интеграции этих решений в конструкции вагонов. Компании, ориентированные на промышленный дизайн, уже внедряют решения, которые органично вписываются в конструкции вагонов, улучшая их внешний вид и функциональные характеристики.

Технические инновации не ограничиваются только внешними системами. Интеграция IIoT и ИИ-систем для мониторинга инфраструктуры становится центральным элементом повышения уровня безопасности и эксплуатационной эффективности железнодорожных систем. Проект Andromeda, использующий Industrial IoT, собирает данные с сенсоров, установленных на подвижном составе, и с помощью ИИ проводит их анализ для выявления потенциальных неисправностей, что позволяет проводить профилактическое обслуживание, сокращать количество простоев и продлевать срок службы оборудования. Технические характеристики системы включают сбор данных в режиме 24/7 с таких узлов, как ходовая часть, сцепные устройства, тормозные системы и другие важные элементы.

Тенденция обновления парка подвижного состава подразумевает и внедрение новых конструкций сцепных устройств, которые улучшают процесс соединения вагонов и повышают надежность эксплуатации. В дополнение к этому, smart-вагоны получают своевременное обслуживание за счет использования IoT-устройств, которые позволяют осуществлять мониторинг ключевых узлов в реальном времени, обеспечивая более точную диагностику и предиктивное обслуживание. Стоит выделить и опытное внедрение цифровой автосцепки DAC, которая не только обеспечивает более быструю и надежную сцепку вагонов, но и позволяет создать общую шину данных для всего состава, что дает возможность контролировать количество вагонов, передавать данные о тормозных системах, а также выполнять автоматическое обновление программного обеспечения.

Подвижной состав становится не только более технологичным, но и более интегрированным с современными цифровыми системами, что позволяет повысить эффективность его эксплуатации, сократить издержки и улучшить безопасность всей железнодорожной инфраструктуры.

Современные требования к подвижному составу предполагают и принципиально новые подходы к конструкции: так, локомотив DualShunter 2000 демонстрирует радикальное уменьшение габаритов за счет виртуальной кабины, а компания CRRC внедряет проекционные дисплеи в пассажирские окна, создавая интерактивную среду. Кроме того, производители подвижного состава учитывают требования аэродинамики, интегрируя датчики непосредственно в кузов. »»

«Умной» становится даже строительная техника. Георадар Raptor от Impulse Radar проводит диагностику пути на скорости 130 км/ч с точностью до 1 мм, а система автоматической шлифовки рельсов от Schweerbau увеличивает межремонтный интервал на 30%. На выставке была также представлена ремонтная техника, включая специализированные машины для обслуживания и строительства железнодорожной инфраструктуры. Например, компания Plasser & Theurer продемонстрировала новую версию машины Catenary Crafter 15.4 E3, предназначенную для установки и обслуживания контактной сети и оснащенную электрической силовой установкой (рис. 2). Кроме того, компания Schweerbau представила обновленную версию своего поезда CM-серии для шлифовки рельсов, который имеет новый дизайн и улучшенные эксплуатационные характеристики, включая возможность обработки рельсов на большой скорости с высокой точностью.

Рис. 2 – Путевая техника Catenary Crafter 15.4 E3 от Plasser & Theurer

Навесные конструкции для инспекции дефектов верхнего строения пути, такие как Raptor от Impulse Radar, представляют собой современные решения для выявления дефектов железнодорожной инфраструктуры. Используемый георадар позволяет обнаруживать подземные дефекты (осыпи и провалы насыпей), изношенные или поврежденные рельсы, а также выявлять проблемы в конструкции пути вглубь до 4м.

Система Raptor оснащена несколькими антеннами и может проводить точные измерения на высокой скорости до 130 км/ч, что существенно ускоряет процесс осмотра путей. Данная технология снижает необходимость в замедлении движения поездов для проведения инспекций, что делает ее важным инструментом для повышения безопасности железнодорожной инфраструктуры.

Кроме того, строительная техника стала чаще оснащаться системами технического зрения и картографическими системами, которые помогают в автоматической инспекции путей, используя различные сенсоры и камеры для создания детализированных карт и распознавания потенциальных дефектов или деформаций.

Совмещение технологии обнаружения дефектов с картографическими системами предоставляет новые возможности для более точного и всестороннего мониторинга железнодорожной инфраструктуры. Благодаря интеграции данных о деформациях путей с картографическими системами, операторы могут не только выявлять потенциальные неисправности, но и визуализировать их местоположение на высокоточных картах, что позволяет более эффективно планировать профилактические работы и оптимизировать маршруты для обслуживания. В результате значительно сокращаются временные и финансовые затраты на ремонтные работы, а также повышается безопасность железнодорожных перевозок.

Подвижной состав продолжает развиваться в направлении более тесной интеграции цифровых технологий и систем автоматического мониторинга. Внедрение внешних систем технического зрения и инновационных решений для предиктивной диагностики обеспечивают повышение безопасности и эффективности эксплуатации. В то же время, компактные локомотивы и новые сцепные устройства демонстрируют дальнейший прогресс в эргономике и эксплуатации железнодорожного транспорта. Перспективы дальнейшего развития связаны с активной цифровизацией и роботизацией систем, что обеспечит улучшение эксплуатационных характеристик, снижение издержек и повышение уровня безопасности железнодорожной инфраструктуры.

DLR (Германия) представил NGT-TAXI – концепцию небольшого, легкого, эффективного модульного рельсового транспортного средства. Предполагается, что подвижной состав данного типа на аккумуляторах или иных топливных элементах будет эксплуатироваться в беспилотном режиме на малодеятельных направлениях. Самая короткая версия поезда имеет длину чуть менее десяти метров и 12 мест, а самая длинная – 17,5 метров и 54 места.

Рис. 3 – Модификация высокоскоростного электропоезда ETR 1000 (Frecciarossa 1000)

Компактное маневровое устройство на литиевых элементах питания представила компания G. Zwiehoff GmbH (Германия). По утверждению производителя, ROTRAC E1 – первое маневровое устройство, работающее на литиевой батарее, которое при этом имеет низкий профили за счет опускаемой сцепки. Это позволяет маневровому устройству ездить даже между вагонами. Сочетание указанных функций позволяет, помимо стандартных маневровых работ с отцепами массой до 200 тонн, выполнять специальные задачи, такие как безопасное перемещение тележек под вагонами. Техническое средство было разработано в рамках проекта финансирования, направленного на автоматизированное вождение ROTRAC E1.

Итальянский национальный пассажирский оператор Trenitalia и компания Hitachi Rail продемонстрировали новую модификацию высокоскоростного электропоезда ETR 1000 (Frecciarossa 1000) (рис. 3). Размещенный на открытой площадке выставки обновленный поезд ETR 1000 имеет новые тележки, более эффективные тяговые двигатели и обновленное силовое оборудование. Он также укомплектован разработанной Hitachi Rail системой управления и диагностики. Кроме того, поезд оснащен компонентами новой цифровой технологической платформы HMAX suite на основе искусственного интеллекта.

Внесены также измерения в интерьеры вагонов. В частности, увеличилось число мест и расширена зона для багажа в вагоне класса Executive при сохранении высокого уровня »»

премиальных услуг. Обновилась также конструкция кресел, все пассажиры получили доступ к сети Интернет через точки доступа Wi-Fi.

InnoTrans 2024 показала, что железнодорожный транспорт стоит на пороге новой эры. Комплексный подход, объединяющий экологичные силовые установки, цифровые технологии и революционные решения в области дизайна, формирует транспортную систему будущего. В ближайшее десятилетие мы увидим массовый переход на водородные и аккумуляторные поезда, повсеместное внедрение автономного управления и создание полностью цифровых железных дорог с непрерывным мониторингом. Эти изменения не просто модернизируют отрасль – они создают принципиально новую парадигму экологичного, интеллектуального и эффективного транспорта.

Системы управления движением поездов

Железнодорожная отрасль переживает цифровую трансформацию систем управления движением [6], где ключевым трендом становится внедрение ERTMS/ETCS Level 2 и 3. Эти системы обеспечивают сквозную автоматизацию [7], заменяя традиционные светофоры непрерывной цифровой связью между поездом и центром управления. По данным исследования Международного союза железных дорог (2023), переход на ETCS позволяет увеличить пропускную способность линий на 20-40% за счет сокращения межпоездных интервалов. Особое внимание уделяется реализации технологии подвижного блок-участка, которая позволяет динамически менять интервал попутного следования, адаптируя его под плотность движения [8].

Вторым ключевым направлением является развитие автоведения и автономного управления на основе ИИ. Проекты типа ATO поверх ETCS (например, система, испытанная Deutsche Bahn в 2022 году) демонстрируют возможность полностью беспилотного вождения при сохранении совместимости с обычным подвижным составом.

Третьим стратегическим трендом является интеграция BIM-технологий в системы диспетчеризации. Передовые железные дороги (включая HS2 в Великобритании и Brightline West в США) используют цифровые двойники инфраструктуры для моделирования потоков в реальном времени. Согласно отчету Bentley Systems (2023), это сокращает время реакции на инциденты на 35% за счет предиктивной аналитики. Особенно перспективна комбинация BIM с LiDAR-сканированием пути, позволяющая автоматически корректировать графики при обнаружении препятствий.

И, наконец, еще одним трендом является переход к облачным платформам управления, таким как Siemens Railigent или Alstom HealthHub. Эти системы объединяют данные от 20+ источников (от датчиков пути до метеослужб) для оптимизации маршрутов. Исследование McKinsey (2024) показывает, что «облачные» ЦОДы снижают энергопотребление на 15% через AI-оптимизацию профилей скорости. Пилотный проект SNCF на линии Париж – Лион подтвердил экономию 2,1 млн евро в год только за счет динамического перераспределения мощностей.

Современные системы управления железнодорожным движением переживают период активной цифровизации и автоматизации. Ярким примером является система OPTIO от испанской компании CAF, представляющая собой реализацию технологии CBTC (Communication-Based Train Control) с четвертым уровнем полноты безопасности (SIL4)[7]. Эта гибкая и масштабируемая система позволяет реализовать принцип подвижного блок-участка с минимальным интервалом в 60 секунд и поддерживает автоматизацию вплоть до четвертого уровня. В Китае система автоведения высокоскоростных поездов Fuxing, разработанная China Academy of Railway Sciences, демонстрирует возможности автоматического управления на скоростях до 350 км/ч на базе комплекса CTCS-3[8].

Немецкая компания Siemens Mobility представила экосистему Signaling X[9] - революционное решение для управления железнодорожной автоматикой из единого центра обработки »»

[7] Ссылка: www.caf.net/en/articles/optio/

[8] Ссылка: www.plus.innotrans.de/product/350-km-h-HSR-ATO-System--68464802-67ed-4574-b21a-e5c9366109f6

[9] Ссылка: https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-mobility-presents-signaling-x-and-next-level-rail-services-innotrans-2024

данных. Эта система, построенная на платформе DS3 (Distributed Smart Safe System), обеспечивает облачную обработку данных через стандартизированные API-интерфейсы. Аналогичные тенденции наблюдаются и в решениях других производителей: чешская Skoda Group разработала цифровую экосистему Smart Depot для автоматизации обслуживания городского транспорта, включая беспилотное движение трамваев на территории депо[10].

Особого внимания заслуживают модульные решения, такие как стрелочный объектный контроллер FAdP Point Control от австрийской компании Frauscher[11]. Это устройство, соответствующее стандарту EULYNX, отличается компактностью и широким температурным диапазоном работы (-40...+70°C). Швейцарская Stadler Signalling демонстрирует комплексный подход, предлагая широкий спектр решений – от светодиодных светофоров до системы обнаружения препятствий NOVA Smartsense, сочетающей камеры, радары и лидары[12].

Китайская компания Beijing Hollysys представила полный комплекс технологических решений для цифрового управления движением, включая системы диспетчерской централизации и радиоблокировки[13]. Их решения отличаются тщательной проработкой интерфейсов машиниста с отображением не только параметров движения, но и диспетчерской информации.

Современные тенденции в системах управления железнодорожным движением характеризуются несколькими ключевыми направлениями. В частности, их отличает глубокая цифровизация и переход на облачные технологии (Siemens Signaling X), повышение уровня автоматизации вплоть до беспилотного управления (Skoda Smart Depot), развитие модульных и стандартизированных решений (Frauscher FAdP), создание комплексных экосистем (Stadler Signalling, Beijing Hollysys), улучшение человеко-машинных интерфейсов и систем поддержки принятия решений и снижение стоимости жизненного цикла [9]. Эти инновации позволяют значительно повысить безопасность, эффективность и пропускную способность железных дорог, создавая основу для транспортных систем будущего. Особенно перспективным выглядит сочетание облачных технологий с модульными решениями, что позволяет гибко масштабировать системы управления под конкретные задачи инфраструктурных операторов.

Бортовые системы

Современные бортовые системы подвижного состава переживают потенциально революционные изменения, связанные с цифровизацией и внедрением интеллектуальных технологий. Ведущие производители активно разрабатывают комплексные решения, объединяющие системы управления, диагностики и связи в единую цифровую платформу. Особое внимание уделяется внедрению технологий искусственного интеллекта для прогнозной аналитики и автоматического принятия решений, что позволяет существенно повысить безопасность и эффективность эксплуатации. Примером такого подхода являются разработки корпорации CRRC, ведущего производителя подвижного состава в КНР, интегрирующие в модули бортовой диагностики нейросетевые алгоритмы, которые анализируют состояние оборудования в реальном времени, прогнозируя возможные отказы с точностью до 95%.

Ключевым направлением развития становится создание унифицированных бортовых архитектур с открытыми программными интерфейсами. Это позволяет адаптировать оборудование под различные эксплуатационные требования и легко интегрировать новые функции через программные обновления.

Немецкие компании Siemens и Bosch активно реализуют концепцию «цифрового двойника» подвижного состава, когда виртуальная копия поезда непрерывно анализирует данные тысяч датчиков, оптимизируя режимы работы всех систем. Подобные решения уже демонстрируют снижение энергопотребления на 12-15% при одновременном увеличении межремонтных пробегов. »»

[10] Ссылка: https://www.skodagroup.com/admin/wp-content/uploads/2024/09/SMART-DEPOT-_Produktovy_list_Digital_A4_EN_PREVIEW.pdf

[11] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/Point-Object-Controller--df3ba733-0db1-4233-af83-a0d5d481457a

[12] Ссылка: www.stadlerrail.com/en/media/article/stadler-@-innotrans-2024/1730/

[13] Ссылка: https://plus.innotrans.de/company/Beijing-Hollysys-Co-Ltd--1004642

Перспективным направлением является развитие автономных бортовых систем, способных функционировать без постоянного вмешательства оператора. В этом сегменте особенно выделяются разработки Alstom и Stadler, где комплекс датчиков компьютерного зрения, лидаров и радаров позволяет поездам самостоятельно идентифицировать препятствия и принимать решения в сложных эксплуатационных ситуациях. Параллельно идет активное внедрение блокчейн-технологий для защиты данных и кибербезопасности бортовых систем, что становится критически важным в условиях роста цифровизации железнодорожного транспорта.

На выставке были представлены современные бортовые системы железнодорожного транспорта, демонстрирующие значительный технологический прогресс, особенно в области высокоскоростных поездов. Так, Китайская академия железнодорожных наук (CARS) разработала комплексные решения для электропоездов Fuxing[14], включающие микрокомпьютерную систему прямого электронного управления тормозами и тяговую систему нового типа, обеспечивающую движение поезда со скоростью до 350 км/ч[15]. Эти системы дополняются интегрированной системой мониторинга безопасности, которая в режиме реального времени отслеживает состояние тележек, подшипников и других критических компонентов, значительно повышая надежность эксплуатации.

В Европе разработчики сосредоточены на создании интеллектуальных систем управления и безопасности. Французская компания Clearsy представила независимую систему контроля платформенных дверей метро, соответствующую строгим стандартам безопасности SIL3, которая обеспечивает точную синхронизацию работы дверей поезда и платформы[16]. Немецкий центр авиации и космонавтики (DLR) продемонстрировал инновационную технологию виртуальной сцепки, обеспечивающую автоматическую сцепку вагонов с помощью радиомодулей[17].

Значительные достижения наблюдаются в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения. Швейцарская Syslogic AG разработала мощный бортовой компьютер RML A4AGX с производительностью 275 TOPS, способный обрабатывать сложные алгоритмы компьютерного зрения для автономного управления[18]. Испанская компания OSTIRION предложила оптическую систему позиционирования поездов на основе ИИ, которая определяет местоположение состава с помощью специальных маркеров вдоль пути[19]. Британская Transmission Dynamics создала систему PANDAS-V для мониторинга контактной сети, которая использует ИИ для мгновенного выявления проблем (в течение 1 минуты) в любых погодных условиях[20]. В отличие от традиционных систем, требующих 1-2 недель постобработки данных, PANDAS-V сообщает о потенциальных проблемах в течение 1 минуты с момента обнаружения. Система надежно функционирует как днем, так и ночью в самых сложных погодных условиях: от сильного дождя и ветра до экстремальных температур от -40°C до +85°C.

Инновации в развитии бортовых систем позволяют не только повысить безопасность и эффективность железнодорожного транспорта, но и закладывают основу для полностью автономных систем управления будущего. Особенно перспективным выглядит сочетание технологий ИИ с традиционными системами управления, что открывает новые возможности для оптимизации эксплуатационных процессов и снижения затрат на обслуживание.

Электросвязь

Современные железнодорожные системы управления и связи демонстрируют стремительное технологическое развитие, направленное на повышение эффективности, безопасности и качества обслуживания. Китайская академия железнодорожных »»

[14] Ссылка: www.plus.innotrans.de/product/Key-systems-of-Fuxing-Intelligent-EMUs--6026154d-7b38-49e1-82a4-58b005fce84e

[15] Ссылка: www.plus.innotrans.de/product/Key-systems-of-Fuxing-Intelligent-EMUs--6026154d-7b38-49e1-82a4-58b005fce84e

[16] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/Railway-safety-systems-for-opening-and-closing-landing-doors--711e1c71-7b0c-47ca-9b57-d40c8095ccfc

[17] Ссылка: https://www.dlr.de/en/latest/news/2024/dlr-at-the-innotrans-2024

[18] Ссылка: https://www.syslogic.com/blog/innotrans-2024-computer-vision-at-a-new-level---railway-computer-rml-a4agx

[19] Ссылка: https://www.ostirion.net/services-transportation

[20] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/PANDAS-V-r--57aa2940-07ff-4e87-9a22-69f73aaa42f0

наук представила на выставке передовую систему управления сетью для высокоскоростных электропоездов Fuxing, использующую двухуровневую архитектуру Ethernet[21]. Эта инновационная система обеспечивает гибкую конфигурацию составов от 8 до 17 вагонов, что значительно расширяет эксплуатационные возможности подвижного состава.

В Германии реализуется амбициозный проект Gigabit Innovation Track (GINT), в рамках которого создается опытная зона 5G-связи протяженностью 10 км[22]. Этот проект, поддерживаемый Министерством цифровизации и транспорта Германии, объединяет усилия Deutsche Bahn, Ericsson, O_2 Telefónica и Vantage Towers. Особенностью проекта стало рекордно быстрое развертывание инфраструктуры - 15-метровые вышки с антеннами были установлены менее чем за месяц благодаря использованию стальных распорок вместо традиционных бетонных фундаментов. Тестирование системы проводится с помощью специального лабораторного поезда Advanced TrainLab, а к 2030 году ожидается достижение пропускной способности до 5 Гбит/с на один состав.

Компания Huawei представила важные разработки в области железнодорожной связи, включая «Белую книгу FRMCS» и революционное решение для оптических сетей связи[23]. Рассмотрен широкий круг вопросов, включая основные отраслевые тенденции, толкование требований стандартов, выбор спектра, сетевой архитектуры и ключевых технологий беспроводной связи. В документе перечислены основные проблемы, с которыми сталкиваются клиенты железнодорожных компаний при модернизации мобильной связи, даны толкования новейших стандартов FRMCS и подчеркнуты преимущества FRMCS по сравнению с традиционными узкополосными системами.

Новая технология мелкоструктурной оптической транспортной сети (fgOTN), представленная компанией Huawei, предлагает десятикратное увеличение пропускной способности по сравнению с традиционными системами на основе SDH, поддерживая скорости до 100G с перспективой перехода на 800G. Это решение снижает задержки и упрощает техническое обслуживание благодаря интеллектуальным функциям визуализации.

Американская компания Piper Networks продемонстрировала усовершенствованную систему определения местоположения (ETLS), использующую технологию сверхширокополосной связи (UWB)[24]. Эта система обеспечивает сантиметровую точность позиционирования поездов в реальном времени за счет сети интеллектуальных датчиков, установленных как на инфраструктуре, так и на подвижном составе. Облачная платформа мониторинга позволяет оперативно получать данные о местоположении через сети LTE, значительно повышая безопасность и эффективность управления движением.

Представленные на выставке технологические решения демонстрируют ключевые тенденции развития современных железнодорожных систем управления и связи:

1. Переход к гибким и масштабируемым сетевым архитектурам;
2. Активное внедрение технологий 5G и оптических сетей нового поколения;
3. Повышение точности позиционирования подвижного состава;
4. Увеличение пропускной способности каналов связи;
5. Интеграция облачных технологий и IoT-решений.

Особенно перспективным представляется сочетание высокоскоростных сетей связи с точными системами позиционирования, что открывает новые возможности для повышения безопасности и эффективности железнодорожных перевозок. Реализация этих проектов позволит существенно улучшить качество обслуживания пассажиров и оптимизировать эксплуатационные процессы железнодорожных операторов. »»

[21] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/Key-systems-of-Fuxing-Intelligent-EMUs--6026154d-7b38-49e1-82a4-58b005fce84e

[22] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/GINT--ed93fe7d-b460-460f-b9c2-06a759791e82

[23] Ссылка: https://e.huawei.com/en/news/2024/industries/roadway/railway-paper-world-intelligence и https://e.huawei.com/en/news/2024/solutions/enterprise-optical-network/industry-first-railway-optical-communication

[24] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/Piper-ETLS-UWB-Vital-Train-Positioning--82038285-3744-4154-921a-1f41b084b2a4

Компьютерное зрение

В последние годы железнодорожная отрасль активно внедряет современные системы обнаружения препятствий, основанные на компьютерном зрении, лидарах и искусственном интеллекте. Эти технологии позволяют повысить безопасность движения, особенно на участках с повышенным риском столкновений, таких как переезды или зоны с ограниченной видимостью [10]. Например, европейские железные дороги тестируют системы на базе нейросетей, способные распознавать людей, животных и посторонние объекты на путях в реальном времени[25].

Еще одним ключевым трендом является интеграция беспроводных сенсорных сетей и спутниковых технологий (например, ГНСС) для мониторинга состояния путей и обнаружения препятствий.

В Китае и Японии уже применяются системы, сочетающие датчики вибрации, тепловизоры и радиолокацию, что значительно снижает количество ложных срабатываний[26].

Перспективным направлением также считается использование дронов и БПЛА для патрулирования железнодорожных путей, особенно в труднодоступных районах. Такие системы уже тестируются в США и Канаде, где они помогают выявлять оползни, повреждения инфраструктуры и даже несанкционированное проникновение на пути[27]. В будущем ожидается дальнейшая конвергенция этих технологий с системами автоматического управления поездами (АТО) и ERTMS.

В России разработки систем обнаружения препятствий для железнодорожного транспорта также развиваются активно. Одним из ключевых игроков в этой сфере является ОАО «РЖД», которое совместно с научными институтами и частными компаниями тестирует решения на основе компьютерного зрения, радиолокации и инфракрасных датчиков. Например, система «ОПС-1М» (Обнаружение Препятствий на Станциях) использует видеокамеры и алгоритмы машинного обучения для выявления посторонних объектов в зоне движения поездов [11].

Еще одной перспективной разработкой является система «Безопасный переезд», которая включает лидары и тепловизоры для мониторинга ж/д переездов в режиме реального времени. Эта технология тестируется на ряде участков Свердловской и Московской железных дорог. Аналогичные решения разрабатывают компании «СТМ-Сервис» и «Лабмедиа», предлагающие комплексные системы видеонаблюдения с функцией аналитики поведения объектов (например, распознавание пешеходов или автомобилей, задержавшихся на путях)[28].

На стендах выставки InnoTrans 2024 представлена система помощи машинисту HORUS[29] (разработка австралийской компании 4AI Systems) (рис. 4). То мультисенсорная система обнаружения и классификации препятствий на основе машинного зрения, искусственного интеллекта и глубокого обучения. Предусмотрена поддержка различных типов датчиков, включая лидар, радар, ГНСС с инерциальной коррекцией, цветные видеокамеры, тепловизионные камеры.

»»»

[25] Подробнее об этом можно прочитать в исследовании UIC (International Union of Railways) [“Railway Technical Publications on Obstacle Detection”, URL: https://uic.org.

[26] Исследования в этой области публикуются в журналах IEEE, таких как «IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems», URL: https://www.ieee.org, где рассматриваются алгоритмы машинного обучения для обработки данных с множества датчиков.

[27] Анализ успешных кейсов можно найти в отчетах Федерального управления железных дорог США (FRA) «Emerging Technologies in Rail Safety», URL: https://railroads.dot.gov.

[28] Обзор таких технологий представлен в журнале «Локомотив» и на портале «РЖД-Партнер», URL: rzd-partner.ru

[29] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/HORUS-Advanced-Rail-Artificial-Intelligence--6c751e6c-f9d4-4986-a66e-031e9bc3a849

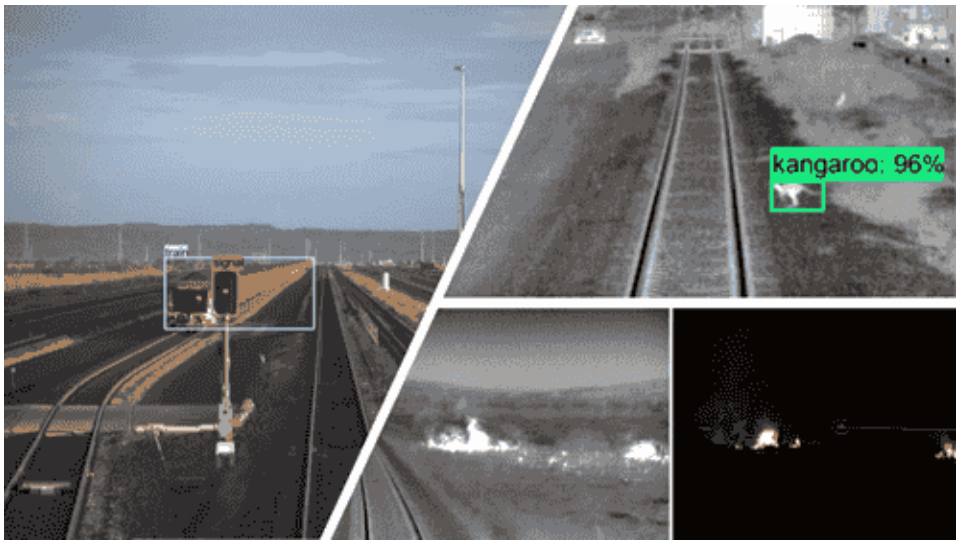

Рис. 4 – Обнаружение элементов инфраструктуры и прочих объектов в системе HORUS (Австрия)

Австрийская компания EYYES GmbH представила систему помощи машинисту RailEye[30], включающую технологию обнаружения препятствий RailEye DIGITAL Exterior Mirror, которая на основе методов ИИ отслеживает людей и объекты в слепой зоне, рассчитывает их направление движения и предупреждает машиниста о потенциальных опасностях, а также RailEye Collision Assistant Suite – систему, разработанную для легкорельсового транспорта, которая обнаруживает критические ситуации вокруг транспортного средства и активно предупреждает машинистов с помощью визуальных и звуковых сигналов.

Американская компания Piper Networks Inc. (США) представила мультисенсорное решение, которое использует лидар, UWB и другие технологии позиционирования[31]. Система позволяет точно обнаруживать и отслеживать подвижные объекты в режиме реального времени. Она включает в себя несколько датчиков для обеспечения:

- предотвращения столкновений – сверхширокополосные (UWB) радиостанции для предотвращения столкновений между оборудованными транспортными средствами и локализации на участках со сложным путевым развитием, сортировочных станциях и/или в зонах, где сигнал GPS недоступен;
- обнаружения препятствий – LiDAR использует фирменные алгоритмы Piper Virtual Tunnel для надежного обнаружения препятствий;
- соблюдения ограничений – GPS-RTK обеспечивает высокоточный расчет местоположения и скорости для соблюдения ограничений и синхронизации времени;
- обнаружения столкновений – бортовой инерциальный измерительный блок (IMU) для обнаружения столкновений;
- регистрации событий – HD-камеры фиксируют внешнее и внутреннее видео исключительно для судебных целей.

HelixTM использует запатентованную технологию Piper Solid State LiDAR для сравнения изображений в реальном времени с бортовой базой данных. Она сохраняет изображение железной дороги, чтобы бортовой компьютер мог находить различия и обнаруживать объекты в зоне движения транспортного средства.

Цифровое моделирование

Технологии цифрового моделирования занимают центральное место в цифровой трансформации железнодорожной отрасли [12]. Одним из наиболее значимых трендов стало создание «цифровых двойников» инфраструктурных объектов. Такие комплексные модели, объединяющие данные BIM, IoT-датчиков и геопространственной »»

[30] Ссылка: https://www.eyyes.com/en/products/raileye-digital-mirror/, https://www.eyyes.com/en/products/raileye-front-collision-warning/

[31] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/Piper-Helix-Maintenance-of-Way-Safety-Solution--35394c9f-db9e-46fd-98cb-5a7124880575

информации, позволяют проводить виртуальные испытания новых решений и прогнозировать эксплуатационные характеристики с точностью до 95%. Например, проект HS2 в Великобритании использует цифровые двойники для оптимизации строительства и последующего управления высокоскоростной магистралью.

Особое внимание уделяется развитию предиктивных аналитических систем на основе ИИ. Нейросетевые алгоритмы анализируют данные тысяч датчиков, установленных на подвижном составе и инфраструктуре, прогнозируя возможные отказы оборудования и оптимальные сроки технического обслуживания. Компания Siemens Mobility внедрила подобную систему Railigent, которая снижает эксплуатационные расходы на 15-20% за счет точного планирования ремонтов.

Перспективным направлением также является так называемое «облачное моделирование транспортных потоков», позволяющее в режиме реального времени оптимизировать графики движения и распределение ресурсов. Такие системы, как HealthHub компании Alstom, обрабатывают данные от множества источников (погодные условия, пассажиропоток, состояние инфраструктуры) для динамического управления железнодорожными операциями. Пилотные проекты SNCF показали экономию до €2 млн в год на отдельных направлениях.

Новые возможности обещает развитие технологий дополненной реальности (AR). Инженеры получают доступ к интерактивным 3D-моделям оборудования через AR-очки, что ускоряет диагностику и ремонт на 30-40%. Deutsche Bahn тестирует подобные решения на сортировочных станциях.

Основные перспективы развития связаны с созданием комплексных цифровых двойников всей транспортной системы, внедрением предиктивной аналитики на основе ИИ, развитием облачных платформ для управления транспортными потоками, использованием AR/VR-технологий в техническом обслуживании и интеграцией моделирующих систем с BIM-платформами. Эти технологии не только повышают эффективность эксплуатации, но и создают основу для полностью автономного управления железнодорожным транспортом в будущем. Особенно перспективным представляется сочетание цифровых двойников с технологиями ИИ, что позволит перейти от реагирования на проблемы к их предупреждению. Массовое внедрение этих решений в будущем может кардинально изменить подходы к проектированию, строительству и эксплуатации железных дорог.

Выставка InnoTrans 2024 продемонстрировала, что современные технологии цифрового мониторинга железнодорожной инфраструктуры достигли нового уровня точности и эффективности. Австрийская компания DGNSS Sensors GmbH в сотрудничестве с Техническим университетом Вены разрабатывает систему ARTEMIS[32], предназначенную для автономного лазерного сканирования железнодорожных путей. Этот инновационный проект сочетает передовые технологии геодезической съемки с роботизированными решениями, что позволяет проводить комплексный мониторинг инфраструктуры, включая сложные объекты типа мостов. Особенностью системы является интеграция гидрографических измерений с использованием одно- и многолучевого гидролокатора, что обеспечивает всесторонний анализ состояния объектов.

Немецкая группа DB E.C.O., входящая в состав Deutsche Bahn, представила мультисенсорную платформу 360° MSP, устанавливаемую на специальной автомотрисе[33] (рис. 5).

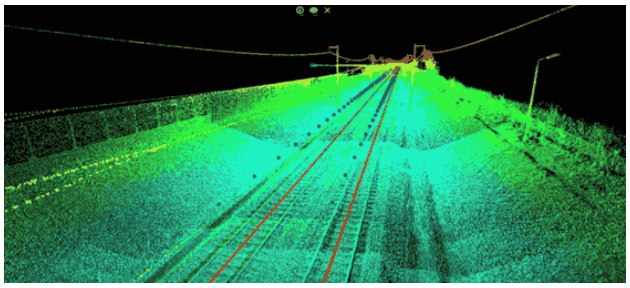

Рис. 5 – *Пример результата работы системы*

[32] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/ARTEMIS--cf1d920d-61af-4635-88a7-3ee570b7dd88

[33] Ссылка: https://db-engineering-consulting.com/en/insights/multisensor-platform/

Эта комплексная система объединяет спутниковую навигацию, лазерное сканирование, панорамную съемку и георадарное профилирование, позволяя создавать детализированные трехмерные BIM-модели железнодорожной инфраструктуры. Уникальность решения заключается в возможности сбора данных при движении со скоростью до 80 км/ч, что позволяет за сутки оцифровать до 200 км пути. Полученные информационные модели находят применение в различных подразделениях Deutsche Bahn для оптимизации эксплуатации, технического обслуживания и модернизации объектов железнодорожной сети.

Современные железнодорожные решения активно используют картографические системы и навигацию, интегрируя сенсоры технического зрения, такие как лидары и камеры. Эти технологии позволяют создавать высокоточные карты (HDMaps) и отслеживать дефекты земляного полотна, электроснабжения и других элементов инфраструктуры. Лидары обеспечивают точные данные о расстояниях и объектах, а камеры дополняют их визуальной информацией.

Дроны также играют важную роль в картографировании и инспекции железнодорожной инфраструктуры [13]. Компании Infrabel и TUC RAIL используют дроны с точностью до 2 см в режиме RTK для мониторинга путей, мостов и туннелей. Condor, сотрудничая с Deutsche Bahn, оснащает дроны платформами для автономной подзарядки и защиты в сложных погодных условиях, что позволяет круглосуточно контролировать объекты. Дроны RIEGL, такие как miniVUX-1UAV, достигают точности сканирования до ±2,5 см, что критически важно для построения 3D-карт. Эти системы могут применяться для оперативной инспекции аварийных ситуаций, особенно в контексте беспилотных поездов, хотя их использование требует регулирования полетных планов и учета радиоэлектронных помех.

В области инерциальной навигации на конференции InnoTrans 2024 были представлены решения от JAE (датчик JIMS-80S с точностью до 0,1°), SBG Systems (Ekinox Micro с поддержкой RTK и точностью 0,03°), и Jewell Instruments (серия RailStar с точностью 0,001°). Однако новых прорывов в этой сфере не отмечено — акцент смещается на интеграцию с GNSS и другими сенсорами для повышения точности в сложных условиях.

Компания SAEYOUNG TECHNOLOGIES представила автоматическую тележку ARC:rc для измерения шероховатости рельсов с точностью до 2 микрон, а также устройство ARC:pr для оповещения персонала о приближении поездов. Оба решения работают автономно, но имеют ограничения в зимних условиях.

Системы от DRAIVE, RideOnTrack и Vecow используют лидары и камеры для автономного мониторинга инфраструктуры, включая классификацию объектов и предотвращение аварий. Vecow заявляет точность 3D-карт до 0,1–1 см на скорости до 40 км/ч. DGNSS Sensors GmbH комбинирует GNSS и лидары для детального картографирования в реальном времени.

RIEGL, лидер в области LiDAR-решений, предлагает систему VMX-RAIL для подвижного состава, обеспечивающую точность до 3 мм на скорости 80 км/ч. Это позволяет создавать цифровые модели пути и инфраструктуры, включая контактную сеть.

Эти разработки демонстрируют переход от традиционных методов обследования к комплексным цифровым решениям, сочетающим мобильность, высокую точность и автоматизированную обработку данных. Крайне перспективным направлением представляется интеграция различных технологий сканирования в единые платформы, что позволяет получать всестороннюю информацию о состоянии инфраструктуры в режиме реального времени [14]. Такие системы не только повышают эффективность мониторинга, но и создают основу для цифровых двойников железнодорожных объектов, открывая новые возможности для предиктивного обслуживания и оптимизации эксплуатационных процессов.

Платформы данных

Современная железнодорожная отрасль активно трансформируется под влиянием цифровых технологий, и ключевым элементом этой трансформации становятся платформы данных. Они позволяют агрегировать, обрабатывать и анализировать большие объемы информации, повышая эффективность управления инфраструктурой, подвижным составом и логистическими процессами.

Внедрение цифровых двойников (Digital Twins) железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава становится стандартом для ведущих операторов. Эти модели в реаль- »»

ном времени отражают состояние объектов, что позволяет прогнозировать износ оборудования и предотвращать аварии. Например, Deutsche Bahn использует цифровые двойники для мониторинга путевой инфраструктуры, что сокращает простои и повышает безопасность. Платформы данных интегрируют информацию с датчиков IoT и исторических данных, применяя машинное обучение для предиктивного обслуживания[34].

Железнодорожные компании переходят от разрозненных систем к единым экосистемам данных, которые объединяют операционные, логистические и финансовые потоки. Например, ОАО «РЖД» внедряет платформу «Единый цифровой контур», позволяющую автоматизировать управление перевозками и оптимизировать маршруты [15]. Аналогичные решения разрабатываются в Европе в рамках проекта Shift2Rail, направленного на создание интеллектуальных транспортных систем[35].

В сфере грузоперевозок растет применение блокчейн-платформ, обеспечивающих прозрачность цепочек поставок. Например, компания Maersk совместно с IBM разработала платформу TradeLens, которая используется для отслеживания грузов, включая железнодорожные перевозки. В России эксперименты с блокчейном проводит ПАО «ТрансКонтейнер», тестируя смарт-контракты для автоматизации таможенных процедур[36].

Железные дороги внедряют AI-решения для анализа видеопотоков и автоматического обнаружения дефектов. Китайские железные дороги используют компьютерное зрение для мониторинга состояния путей, что позволило сократить количество инспекций вручную. В Европе SNCF применяет ИИ для прогнозирования пассажиропотоков и оптимизации расписаний[37].

Для обработки данных в режиме реального времени используются облачные платформы (например, Microsoft Azure и AWS) и edge-вычисления, которые позволяют снизить задержки при анализе данных с датчиков. Японская JR East применяет edge-аналитику для мониторинга состояния поездов, что ускоряет реакцию на неисправности[38].

Развитие API-интерфейсов позволяет интегрировать железнодорожные системы с внешними сервисами, такими как мультимодальные перевозки и умные города. Например, Amtrak в США предоставляет открытые API для разработчиков, что упрощает создание приложений для пассажиров. В Европе железнодорожное агентство ERA (European Union Agency for Railways) продвигает стандарты Open Rail Data[39].

Наконец, с ростом цифровизации неизбежно повышаются риски кибератак. Внедряются стандарты IEC 62443, а также системы защиты на основе ИИ. Например, Network Rail (Великобритания) использует машинное обучение для обнаружения аномалий в сетевом трафике[40].

На выставке InnoTrans 2024 представлены несколько интересных разработок в этой области. Например, платформа данных LEADMIND, разработанная CAF Digital Services (Испания) для совершенствования процесса эксплуатации железнодорожного транспорта с помощью технологий на основе искусственного интеллекта[41]. Платформа обеспечивает мониторинг в режиме реального времени и комплексную аналитику данных для предиктивного обслуживания, оптимизации управления парком, повышения эффективности эксплуатации, а также общей безопасности и удовлетворенности пассажиров. Возможности платформы включают в себя управление энергопотреблением, информирование пассажиров в реальном времени и упреждающее техническое обслуживание.

Цифровой реестр, представленный немецкой компанией DSD Digitale Schiene Deutschland GmbH, предназначен для осуществления общеевропейской стандартизации данных об инфраструктуре, поступающих от всех операторов, и реализации стандартных »»

[34] Подробнее об этом можно прочитать в исследовании McKinsey “Digital twins in rail: A foundation for the autonomous railway”, URL: https://www.mckinsey.com

[35] Подробности доступны в отчете Европейской комиссии «Digitalisation in rail», URL: https://rail-research.europa.eu.

[36] Подробнее об этом в статье «Blockchain in logistics», URL: https://www.ibm.com/blogs/blockchain

[37] Исследование «AI in rail transport», URL: https://www.sciencedirect.com подробно раскрывает эти кейсы.

[38] Подробнее – в отчете “Edge computing in transportation”, URL: https://www.gartner.com.

[39] Подробнее – на официальном сайте, URL: https://www.era.europa.eu

[40] Подробнее – в докладе “Cybersecurity in rail”, URL: https://www.enisa.europa.eu

[41] Ссылка: https://www.cafdigitalservices.com/en/leadmind

интерфейсов для полностью автоматизированного вождения[42]. Целью является обеспечение эксплуатационной совместимости железнодорожных перевозок.

Данные Цифрового реестра можно условно разделить на трехмерные данные и топологические данные (Рис. 6). Трехмерные данные описывают высокоточные локализованные объекты, такие как трехмерные оси пути, платформы, опоры контактной сети, знаки, щиты, светофоры и т.д. Эти данные хранятся в виде упрощенных трехмерных объектов и более подробно описываются различными атрибутами.

Топологические данные содержат общие описания логических связей элементов пути, например, стрелочных переводов или тупиков в виде так называемой «модели вершин и ребер». Затем эта информация дополняется данными о соответствующих элементах инфраструктуры, например, о железнодорожных переездах или туннелях, и данными об эксплуатируемой инфраструктуре, например, профилями скорости или уклонами.

В рамках проекта «Цифровая автоматизация железных дорог вплоть до автономного движения поездов» (Rail to digital automated up to autonomous train operation, R2DATO) цифровой реестр разрабатывается как «единый источник истины» для надежных статических данных об инфраструктуре (рис. 7). Это важнейшая система как для неответственных информационных приложений, так и для ответственных систем, связанных с безопасностью. Помимо предоставления надежных данных об инфраструктуре, цифровой реестр также включает в себя такие важные функции, как подготовка данных, синхронизация, управление версиями, активация и хранение.

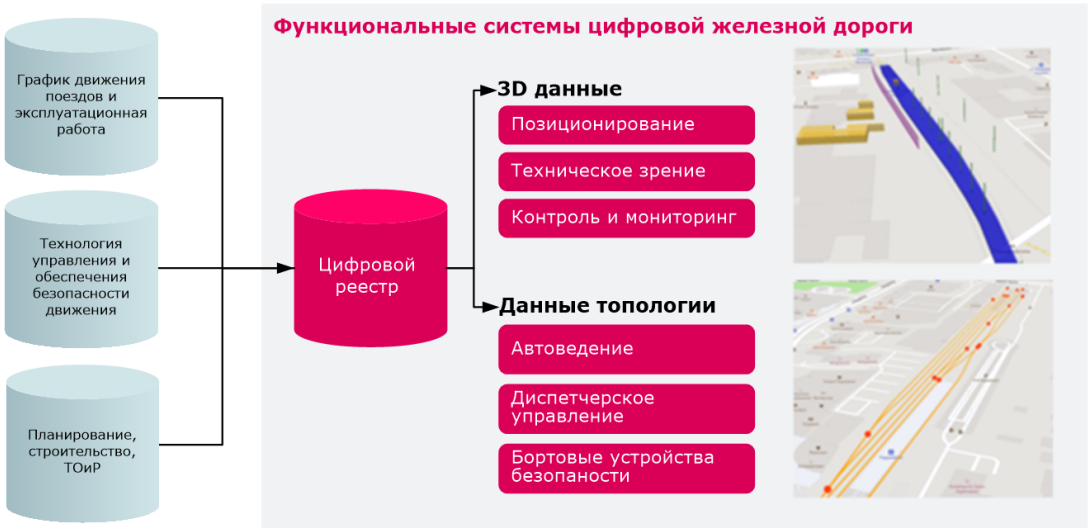

Рис. 7 – Цифровой реестр как центральное хранилище данных в задачах цифровой железной дороги Германии

Платформа Hyper Mobility Asset Expert (HMAX) – Платформа управления цифровыми активами на базе искусственного интеллекта – разработана[43] Hitachi Rail (Италия) в сотрудничестве с NVIDIA и функционирует на базе искусственного интеллекта промышленного уровня NVIDIA IGX. Такое решение должно позволить внедрять передовые ИИ-решения непосредственно на отдельных железнодорожных объектах, что даст возможность операторам использовать аналитику на основе данных для оптимизации эксплуатационной работы, составления и исполнения графиков технического обслуживания и использования инфраструктурных активов. »»

[42] Ссылка: www.digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2024/dsd-auf-der-innotrans-2024-nachbericht

[43] Ссылка: www.hitachirail.com/products-and-solutions/digital-asset-management/

Пакет HMAX объединяет существующие цифровые средства, включая датчики, которые обеспечивают дистанционное управление объектами инфраструктуры. Внедрение интеллектуальных решений позволит проводить более быстрый, глубокий и всесторонний анализ данных. Платформа собирает актуальную информацию, что позволяет операторам корректировать работу управляемой системы в режиме реального времени для улучшения качества и более эффективного прогнозирования потребностей в техническом обслуживании. Подсистема Holoscan платформы NVIDIA IGX позволяют обрабатывать показания датчиков в режиме реального времени непосредственно на борту поезда и объектах инфраструктуры.

Архитектура платформы «от периферии к облаку» (edge to cloud) обеспечивает сотрудников компании-оператора удаленным доступом к аналитическим данным через единый портал. Платформа может интегрироваться с техническими комплексами диспетчерского управления и отдельными рабочими местами.

Можно сказать, что железнодорожная отрасль движется к полной цифровизации, где платформы данных становятся основой для принятия решений. Ключевые направления – предиктивная аналитика, интеграция IoT и AI, а также создание безопасных и открытых экосистем. Эти тренды не только повышают эффективность перевозок, но и способствуют переходу к «умным» железным дорогам будущего.

Роботизация

Современные технологии роботизации активно трансформируют железнодорожную отрасль, повышая безопасность, эффективность и автономность перевозочных процессов. Ключевые направления включают автоматизацию подвижного состава, внедрение роботизированных систем обслуживания и применение искусственного интеллекта для управления инфраструктурой.

Ведущие железнодорожные операторы мира активно тестируют **автономные поезда**. Например, в Австралии компания Rio Tinto уже несколько лет эксплуатирует полностью автономные грузовые составы AutoHaul на расстояниях до 1700 км, что позволило повысить точность доставки на 30%[44]. Беспилотные поезда курсируют на около 1000 км линий метрополитена в целом ряде стран.

В России проект «Безопасный городской поезд» (реализуемый ОАО «РЖД» совместно с АО «НИИАС») предусматривает создание поездов с элементами автономного управления. Технология построена на использовании компьютерного зрения для обнаружения препятствий [16][45].

Техническое обслуживание путей и контактной сети все чаще доверяют роботам-дефектоскопам и дронам. Швейцарские железные дороги (SBB), например, используют[46] роботизированные комплексы для автоматизированного осмотра тоннелей, что сокращает время проверки на 40%.

В Японии компания JR East внедрила роботов-путевых обходчиков, оснащенных тепловизорами и датчиками вибрации. Они способны обнаруживать микротрещины в рельсах, предотвращая возможные аварии[47].

Логистические хабы также переходят на роботизированную обработку грузов. В Германии DB Schenker использует автономных роботов-погрузчиков в сортировочных центрах, что ускоряет обработку контейнеров на 25%[48].

В Китае компания CRRC разработала роботизированную систему перегрузки контейнеров с применением машинного зрения и искусственного интеллекта, что позволило сократить простои вагонов[49]. »»

[44] Подробнее см. в отчете Rio Tinto, 2023. URL: https://www.riotinto.com

[45] Подробности на сайте АО «НИИАС», URL: https://niias.ru

[46] См. исследование SBB, 2022. URL: https://company.sbb.ch

[47] См. материалы JR East Technical Review, URL: https://www.jreast.co.jp

[48] См. кейс DB Schenker Robotics, URL: https://www.dbschenker.com

[49] Подробнее – в публикации CRRC, 2023. URL: https://www.crrcgc.cc

Железные дороги все чаще используют AI-алгоритмы для оптимизации графиков движения.

Британская Network Rail применяет[50] систему «умного планирования», которая в реальном времени корректирует маршруты при возникновении задержек, сокращая простои на 15%.

Среди новых направлений:

- роботы-инспекторы для мониторинга контактной сети (разрабатываются Alstom и Siemens);
- автономные дроны-курьеры для доставки грузов на станции (тестируется Deutsche Bahn);
- роботизированные ремонтные платформы (тестируются SNCF во Франции).

Итальянская компания Loccioni представила на выставке мобильного робота Felix B1[51] для инспекции железнодорожной инфраструктуры. Он позволяет создавать трехмерные модели инспектируемых частей железной дороги. Система позволяет хранить, обрабатывать и отображать в режиме реального времени все интересующие показатели и выдавать соответствующие отчеты. Робот весит менее 50 кг.

Итальянская компания Next Generation Robotics Srl представила семейство робототехнических систем ARGO, специально разработанных для осмотра подвижного состава[52] (рис. 8). ARGO 2.0. – коллаборативный робот, предназначенный для автоматизации, цифровизации и «дистанционного» визуального осмотра подвижного состава. ARGO может свободно перемещаться по железному пути под подвижным составом и удаленно предоставлять оператору изображения и видео в формате Full HD ходовой части подвижного состава.

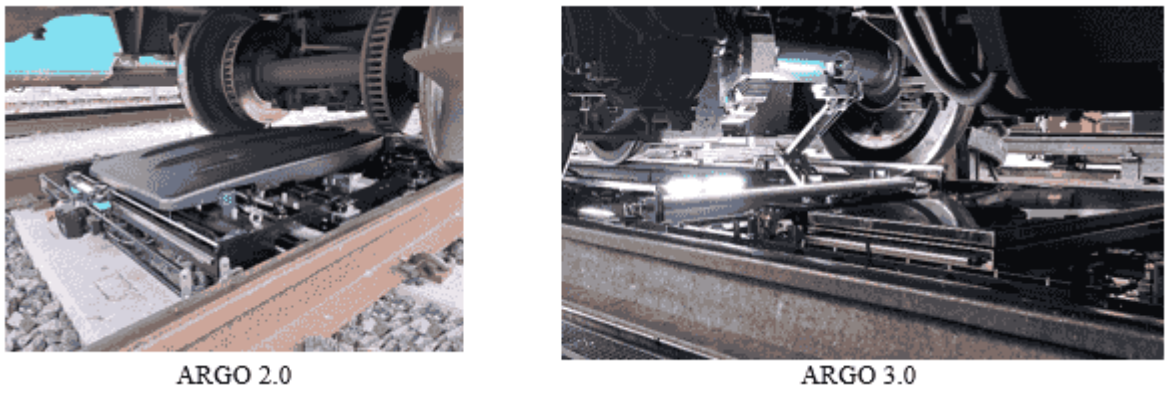

Рис. 8 – Семейство робототехнических систем ARGO, разработанных для осмотра подвижного состава

Бортовые алгоритмы ИИ позволяют ARGO автономно обнаруживать наиболее важные компоненты поезда для их тщательного осмотра. Робота можно использовать удаленно в ручном режиме или запустить автономные процедуры осмотра.

Вес робота составляет 140 кг, максимальная скорость движения – 1,5 м/с, скорость сканирования – 2,5 мин/с, автономная работа на протяжении 10 ч, удаленное управление осуществляется с помощью web-приложения. ARGO 3.0. – коллаборативный робот массой 220 кг. Максимальная скорость движения – 3 м/с. Комплект датчиков включает в себя камеру с горизонтальной перспективой (12 Мп) и камеру для роботизированной руки (5 Мп). Автономия – 10 ч.

Роботизация железнодорожного транспорта развивается по нескольким ключевым направлениям: автономные поезда, роботизированное обслуживание инфраструктуры и AI-управление.

Эти технологии уже демонстрируют значительный экономический эффект и повышение безопасности. В ближайшие годы стоит ожидать их массового внедрения, что приведет к созданию полностью автономных железнодорожных систем[53]. »»

[50] См. отчет Network Rail Digital Railway, URL: https://www.networkrail.co.uk

[51] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/Felix-r-B1--0cc21a1b-b34e-48b5-ad49-98e36f98ef35

[52] Ссылка: https://plus.innotrans.de/product/ARGO--9a1cb13f-7b56-4356-ab17-d395451a9c1d

[53] Дополнительные материалы можно найти в отчетах International Union of Railways (UIC) и European Railway Agency)

Немецкая Deutsche Bahn совместно с Техническим университетом Дрездена создала автономную платформу RailInspector, способную проводить диагностику путей с точностью до 0,1 мм, используя комбинацию лазерного сканирования и тепловизионного контроля. Этот робот перемещается со скоростью до 15 км/ч и за одну смену может проверить до 30 км железнодорожного полотна.

Значительный прогресс наблюдается в области роботизированного ремонта и обслуживания. Швейцарская компания Stadler разработала роботизированный комплекс для автоматической сварки рельсов, который повышает качество соединений на 40% по сравнению с ручными методами. Особенностью системы является использование искусственного интеллекта для адаптации к различным погодным условиям и типам рельсов. В то же время японская JR East тестирует роботов-манипуляторов для очистки и покраски подвижного состава, что сокращает время технического обслуживания на 35%.

Перспективным можно назвать создание модульных робототехнических платформ для работы в опасных условиях. Британская Network Rail внедряет роботизированные системы для обследования туннелей и мостов, оснащенные датчиками структурного мониторинга и системами компьютерного зрения. Эти комплексы способны работать в условиях ограниченной видимости и при высоком уровне радиации, обеспечивая безопасность персонала.

Особый интерес представляют разработки в области грузовой робототехники. Так, например, китайская CRRC демонстрирует автономные системы сортировки грузов на станциях, где роботы-погрузчики с точностью до 5 мм размещают контейнеры на платформах. Эти решения сочетают технологии SLAM-навигации и машинного обучения для работы в сложных погодных условиях.

На выставке InnoTrans 2024 были представлены инновационные решения, кардинально меняющие подходы к обслуживанию инфраструктуры и подвижного состава. Эти разработки не только повышают безопасность, выводя персонал из опасных зон, но и значительно улучшают эффективность эксплуатационных процессов.

Итальянская компания RFI представила революционный 21-тонный диагностический комплекс URV, способный автономно контролировать состояние инфраструктуры со скоростью до 200 км/ч (рис. 9). Его система технического зрения с дальностью обнаружения 500 метров открывает новые возможности для мониторинга высокоскоростных линий. Параллельно RFI демонстрирует компактные инспекционные тележки, которые за один заряд могут проверить до 50 км путей, используя передовые сенсорные технологии для анализа геометрии рельсового полотна.

Рис. 9 – Диагностический комплекс URV (Unmanned Railway Vehicle) от RFI - FSI Group

Австралийская компания Downer показала комплексный подход к автоматизации, представив сразу два специализированных робота. Первый – для комплексной уборки вагонов, способный самостоятельно ориентироваться в сложном пространстве пассажирских салонов. Второй – инспекционная система TRES с роботизированной рукой, позволяющая обследовать труднодоступные участки подвижного состава, включая использование вспомогательных дронов для осмотра надвагонного пространства.

Особый интерес вызвали узкоспециализированные решения, такие как робот-расцепщик TTG-DG01 от китайской Quick High Robot, уже успешно внедренный на нескольких сортировочных станциях. Его 98% эффективность расцепки вагонов и система технического зрения с временем реакции 100 мс демонстрируют зрелость технологии для промышленного применения. Не менее впечатляющим оказался покрасочный робот SJMAN-20C, способный за 4 часа полностью обработать вагон, значительно снижая вредное воздействие на персонал.

Корейские разработчики представили нестандартные решения, включая робота-навигатора для экстренной эвакуации пассажиров из метро, способного работать в экстремальных температурных условиях. Этот проект подчеркивает потенциал робототехники в обеспечении безопасности пассажиров.

Несмотря на впечатляющие достижения, отрасль сталкивается с вызовами. Высокая стоимость роботизированных систем и необходимость их адаптации к сложным климатическим условиям остаются ключевыми барьерами для массового внедрения. Однако стремительное совершенствование технологий и растущие затраты на ручной труд создают мощный экономический стимул для автоматизации.

Перспективы очевидны: в ближайшие годы железнодорожная отрасль не сможет сохранять конкурентоспособность без активного внедрения робототехнических решений. Уже сегодня пилотные проекты демонстрируют 30-50% повышение эффективности ключевых процессов, что делает роботизацию не просто модным трендом, а стратегической необходимостью для транспортных систем будущего. К 2030 году ожидается появление полностью автономных роботизированных депо, где все операции по обслуживанию и ремонту подвижного состава будут выполняться автоматизированными системами. Особое внимание будет уделено разработке энергоэффективных решений с автономным питанием и системам коллективного взаимодействия роботов (swarm robotics) для масштабных инфраструктурных проектов. Эти инновации позволят сократить затраты на содержание инфраструктуры на 25-30% при одновременном повышении точности и качества работ.

Дистанционное управление

Железнодорожная отрасль активно развивает технологии дистанционного управления, открывающие новые возможности для повышения эффективности и безопасности перевозок. Ведущие производители внедряют централизованные диспетчерские центры, где операторы могут управлять несколькими поездами одновременно на расстоянии сотен километров. Китайские железные дороги уже используют такие системы на высокоскоростных линиях, где один диспетчер контролирует до 10 составов через интегрированную платформу на базе технологий 5G и искусственного интеллекта.

Особое внимание уделяется гибридным моделям управления, сочетающим автономное вождение с возможностью дистанционного вмешательства. Немецкая Deutsche Bahn тестирует систему, где поезда работают в автономном режиме на простых участках, а при возникновении нештатных ситуаций управление перехватывают операторы из центрального диспетчерского пункта. Такой подход особенно востребован на грузовых перевозках, позволяя оптимизировать человеческие ресурсы [17].

Технологии виртуальной и дополненной реальности революционизируют подготовку операторов дистанционного управления. Французская Alstom внедряет VR-тренажеры, воспроизводящие реальные условия управления с точностью до 95%, что сокращает время обучения новых специалистов на 40%. Одновременно развиваются AR-решения для дистанционной технической поддержки, когда эксперты могут видеть происходящее в кабине через smart-очки машиниста. »»

Ключевым направлением стало управление инфраструктурой на расстоянии. Швейцарская Stadler Signalling разработала облачную платформу для мониторинга и дистанционного обслуживания стрелочных переводов, светофоров и других критических элементов. Система анализирует данные с 20 000 датчиков, прогнозируя необходимость технического вмешательства.

Дистанционное управление постепенно становится стандартом модернизации железнодорожных систем, о чем ярко свидетельствовали экспонаты последней выставки InnoTrans. Развитие технологий 5G, совершенствование радиоканалов и систем технического зрения открывают новые возможности для удаленного контроля подвижного состава, особенно в сложных условиях сортировочных станций или при ограниченной видимости.

Современные решения в этой области демонстрируют заметный прогресс. Бельгийская компания OTIV представила интегрированные пульты управления с функциями тренажера для машинистов, а корейская KoRail сделала ставку на использование сетей 5G для минимальных задержек при передаче видеопотоков. Особый интерес вызвала система CAF, позволявшая в реальном времени управлять трамваем, находящимся в Норвегии, хотя конкретные показатели задержки сигнала не раскрывались.

В сегменте носимых устройств управления выделяются решения компании Cattron, сочетающие эргономичный дизайн с надежными механическими элементами управления. Эти компактные пульты, дополненные специальными жилетами, особенно востребованы при маневровых операциях и работе с роботизированными системами, такими как гибридные локомотивы-роботы VLEX с грузоподъемностью до 1000 тонн (рис. 10). Примечательно, что голосовое управление в представленных решениях пока не получило широкого распространения, хотя подобные технологии уже активно тестируются в отдельных сегментах отрасли.

Система OTIV.ONE демонстрирует новый подход к обеспечению безопасности маневровых операций. Ее камеры с обзором 200 градусов и защитой IP64 позволяют полностью контролировать слепые зоны, передавая изображение через сети 4G/5G на планшет машиниста.

Японская Catana дополнила этот технологический ландшафт решением для эффективного сжатия и хранения данных, получаемых от систем технического зрения, что особенно важно для последующего анализа инцидентов.

Рис. 10 – Роботизированный комплекс VLEX 20

Параллельно развивается направление тренажеров и симуляторов, где особенно выделяются решения AZD Praha с реалистичной графикой и поддержкой сложных сценариев. Эти системы становятся неотъемлемой частью подготовки операторов дистанционного управления, позволяя отрабатывать навыки в виртуальной среде, максимально приближенной к реальным условиям. ›››

Общий тренд отрасли показывает постепенный, но уверенный переход к комплексным решениям дистанционного управления, где ключевыми факторами становятся надежность связи, качество визуализации и эргономика рабочих мест операторов [18, 19]. При этом сохраняется важная роль человеческого фактора, что подчеркивает гибридный характер современных систем управления железнодорожным транспортом. Перспективы на ближайшие 5 лет включают массовое внедрение цифровых двойников для дистанционного управления, которые будут отражать состояние инфраструктуры и подвижного состава в реальном времени. Особенно важным станет развитие защищенных каналов связи (FRMCS [20], квантовое шифрование) для обеспечения кибербезопасности.

Заключение

Не вызывает сомнений, что к выставке InnoTrans 2026 отрасль подойдет с новыми технологическими достижениями, причём искусственный интеллект и робототехника останутся ключевыми драйверами трансформации. Ожидается глубокая интеграция ИИ в системы мониторинга, предиктивной аналитики и управления движением, что позволит повысить эффективность, безопасность и адаптивность железнодорожных систем. С увеличением числа ИИ-решений особую актуальность приобретет стандартизация и унификация технологий, обеспечивающая их совместимость и модульность.

Это откроет путь для более гибкого внедрения инноваций и быстрого реагирования на меняющиеся требования рынка.

В числе приоритетов скорее всего останется экологическая повестка: развитие водородных поездов, гибридных систем и технологий утилизации аккумуляторов станет неотъемлемой частью общей стратегией декарбонизации транспорта. Параллельно продолжится роботизация процессов – от инспекции путей до автоматизированных сортировочных станций. Беспилотные технологии, включая системы автономного управления (УА4), получат новый импульс благодаря совершенствованию компьютерного зрения и машинного обучения. Эти решения позволят сократить эксплуатационные расходы на 15-25% при одновременном повышении надежности и пропускной способности железных дорог.

Важнейшим фактором успеха на этом пути остаётся международное сотрудничество в области стандартизации, особенно в сфере функциональной безопасности, ИИ и автономных систем. Только совместные усилия регуляторов, производителей и операторов позволят создать устойчивую экосистему, в которой инновации будут внедряться быстро, безопасно и эффективно. Выставки InnoTrans становятся площадкой, где эти тренды получают конкретные очертания, определяя будущее железных дорог на годы вперед.

Список использованной литературы

1. Watanabe, T. (2003). Some Aspects of Rolling Stock Technologies in the Future. Quarterly Report of Rtri, 44(1), 4–7. https://doi.org/10.2219/RTRIQR.44.4.
2. Ronanki, D. (2022). Overview of Rolling Stock. 249–281. https://doi.org/10.1002/ 9781119812357.ch11.
3. Ronanki, D., Singh, S. A., & Williamson, S. S. (2017). Comprehensive Topological Overview of Rolling Stock Architectures and Recent Trends in Electric Railway Traction Systems. 3(3), 724–738. https://doi.org/10.1109/TTE.2017.2703583.
4. Kallee, S. W., & Davenport, J. (2007). Trends in design and fabrication of rolling stock. European Railway Review, 1. https://trid.trb.org/view/839051.
5. Gomes, V. M. G., & De Jesus, A. M. P. (n.d.). Additive Manufacturing in the Railway Rolling Stock: Current and Future Perspective. Procedia Structural Integrity. https://doi.org/ 10.1016/j.prostr.2024.01.035.
6. Rumsey, A. F. (2006). Developments in Train Control Worldwide. 223–232. https://doi.org/10.1049/IC.2006.0689.
7. Baturin, A. P., & Osipov, A. P. (2023). Modern Systems of Train Traffic Interval Control on World Railways. Мир Транспорта. https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2.

»»»

8. Rozenberg, E., & Ozerov, A. (2022). Evolution of Rail Operations Control Centres. Journal of Information Technology and Applications, 24(2). https://doi.org/10.7251/jit2202166r.
9. Vantuono, W. C. (2002). New-tech train control takes off. Railway Age, 203(5). https://trid.trb.org/view/720206.
10. Охотников, А. Л. Интегрирование систем технического зрения и высокоточного позиционирования для интервального регулирования движения поездов / А. Л. Охотников // Интеллектуальные транспортные системы: Материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. – Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. – С. 710-719. – DOI 10.30932/9785002446094-2024-710-719. – EDN GVNXDE.
11. Долгий, А. И. Применение методов визуальной аналитики в системах интеллектуаль-ного мониторинга динамических процессов / А. И. Долгий, С. М. Ковалев // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (ИММВ-2024): Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конфе-ренции. В 2-х томах, Коломна, 14–17 мая 2024 года. – Смоленск: Универсум, 2024. – С. 129-139. – EDN KEIXPU.
12. Павловский, А. А. К концепции внедрения информационного моделирования в железно¬дорожном транспортном комплексе / А. А. Павловский, А. В. Озеров, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – Т. 6, № 3(23). – С. 20-31. – EDN XCVJSI.
13. Павловский, А. А. Проверка возможности применения беспилотных авиационных систем при решении задач железнодорожного транспорта / А. А. Павловский, А. И. Карелов, М. А. Щеглов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 4(64). – С. 14-28. – EDN BVEKNT.
14. Мониторинг объектов строительства железнодорожной инфраструктуры с применением данных с беспилотных авиационных систем / М. А. Щеглов, А. И. Карелов, А. А. Майоров, А. А. Павловский // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 5. – С. 153-164. – DOI 10.30533/GiA-2023-069. – EDN JZMDAD.
15. Махутов Н., Розенберг И., Шепитько Т., Балановский В. Писарев Ю., Чирков А. Зязнов Г. Единый безопасный технологический цифровой контур в сфере транспорта. Системы безопасности, № 1, 2023. URL: https://www.secuteck.ru/articles/edinyj-bezopasnyj-tekhnologicheskij-cifrovoj-kontur-v-sfere-transporta. Дата доступа: 01.04.2025.
16. Долгий, А. И. Технические аспекты и перспективы развития системы автоматического управления движением электропоездов / А. И. Долгий // Железнодорожный транспорт. – 2024. – № 5. – С. 15-18. – EDN DAXYGB.
17. Popov, P.A. Prospects of autonomous railway transport development / P.A. Popov, A.V. Ozerov, A.S. Marshova // BRICS Transport. – 2024. – Vol. 3, No. 3. – DOI 10.46684/2024.3.4. – EDN HPYXEZ.
18. Cogan, B., & Milius, B. (2023). Remote control concept for automated trains as a fallback system: needs and preferences of future operators. https://doi.org/10.1108/srt-11-2022-0018
19. Vantuono, W. C. (2002). New-tech train control takes off. Railway Age, 203(5). https://trid.trb.org/view/720206.
20. Chérif, W., Vitry, C., & Durieux, L. (2023). Adaptable Communications System for train remote driving. 1–5. https://doi.org/10.1109/vtc2023-spring57618.2023.10200708.

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 004.89

АНАЛИЗ ДАННЫХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКОМ ПОЕЗДОВ НА УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ «ВИРТУАЛЬНАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА»

Булавин Ю.П., к.т.н., РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: i@ibulavin.ru
Игнатьева О.В., к.т.н., РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: lesjaignateva@rambler.ru

АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются данные результатов управления пропуском поездов на учебно-лабораторном комплексе «Виртуальная железная дорога». Приведен анализ нескольких деловых игр, найдены статистические характеристики задержек поездов, выполнена оценка плотности распределения вероятностей. Отмечается, что даже в случае отбора «хороших» результатов управления для формирования обучающей выборки требуется дополнительная обработка данных.

Ключевые слова: управление, пропуск поездов, участок, диспетчер, статистические характеристики, плотность распределения вероятности, диаграмма размаха, виртуальная железная дорога

ANALYSIS OF TRAIN ACCESS CONTROL DATA AT THE VIRTUAL RAILWAY TRAINING AND LABORATORY COMPLEX

Bulavin Y.P., Ph.D., RSTU, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: i@ibulavin.ru
Ignatieva O.V., Ph.D., RSTU, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: lesjaignateva@rambler.ru

ABSTRACT

The paper analyzes data from train passage control tests at the «Virtual Railway» education and laboratory complex. It presents the results of several business game simulations, identifies statistical characteristics of delays, and estimates the probability density distribution. Even when selecting “good” results for the control, additional data processing is necessary to create a training sample, the paper notes.

Keywords: train pass, section, dispatcher, statistical data, probability distribution density, box diagram, Volin plot, Virtual Railway

Введение

В современном мире одной из актуальных задач является интеграция технологий искусственного интеллекта в систему управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте.

В «РЖД» предполагается применение искусственных нейронных сетей в комплексе с цифровыми моделями работы станции и ее элементов. При этом нейросети будут использовать для обучения не только реальные данные транспортных информационных систем, но и использовать данные цифровых моделей.

В Ростовском государственном университете путей сообщения ведутся исследования на базе действующего учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» (УЛК ВЖД) по созданию цифровой модели участка дороги Высочино – Тимашевская [1-3].

Разрабатываемая система должна автоматически обеспечивать приём, пропуск и отправление поездов в пределах станции в соответствии с нормативным графиком движения.

Моделирование транспортных процессов лежит в основе комплексов аналогичных УЛК ВЖД, поэтому следует выделить работы [4, 5] в которых сделан обзор существующих решений. В работе [6] авторами представлена облачная система на базе SUMO [7] которая осуществляет управление движением поездов.

Авторами [8] рассматривается широкий круг вопросов, связанных с внедрением искусственного интеллекта в том числе для повышения пропускной способности участка и диспетчеризации перевозочного процесса.

Таким образом, выделяются два подхода в описании движения поездов и объектов транспортной инфраструктуры: специализированные решения, например УЛК ВЖД, где не используются сторонние программные продукты и решения, которые в той или иной степени опираются на готовые разработки.

Реализация нейросетевого управления движением поездов даже в условиях модельной среды требует разработки ИНС и ее обучения. Как следует из работы [9] рациональным выбором в нашем случае является обучение с подкреплением.

В работе [10] представлены исследования, посвящённые разработке системы управления процессом пропуска поездов по железнодорожному участку с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). Рассматривается формулировка задачи обучения, выбор архитектуры ИНС и метода её обучения, а также результаты применения метода обучения с подкреплением для нескольких вариантов ИНС.

Авторами в [11] проведена процедура балансировки обучающей выборки и осуществлён отбор значимых признаков. Также предложены различные варианты моделей ИНС. В отличии от подходов [10] рассматривалась задача классификации состояний УЛК ВЖД для получения команды диспетчера при этом полагалось, что диспетчер «хорошо» управляет движением. Ввиду ограниченного объема публикации авторами не представлен анализ данных с УЛК ВЖД по исполнению графика движения диспетчером во время симуляций (деловых игр).

Необходимость такого исследования обусловлена известными оценками ошибок в случае online обучения с подкреплением и offline , где – число шагов [12].

Таким образом, данная работа ставит свой целью анализ результатов управления движением персоналом на УЛК ВЖД для получения статистических оценок и в итоге критериев формирования, обучающей выборки при методах обучения, где нет взаимодействия со средой к решению задачи управления [13, 14].

Методы

Особенностью работы УЛК ВЖД является моделирование движения поездов и работы инфраструктуры в реальном режиме времени, поэтому длительность деловой игры соответствует реальному времени, как если бы это происходило при действительном управлении движением. Задавшись графиками движения (см. Рис. 1) и другими параметрами, можно проигрывать различные сценарии, отвечающие поставленным задачам. »»

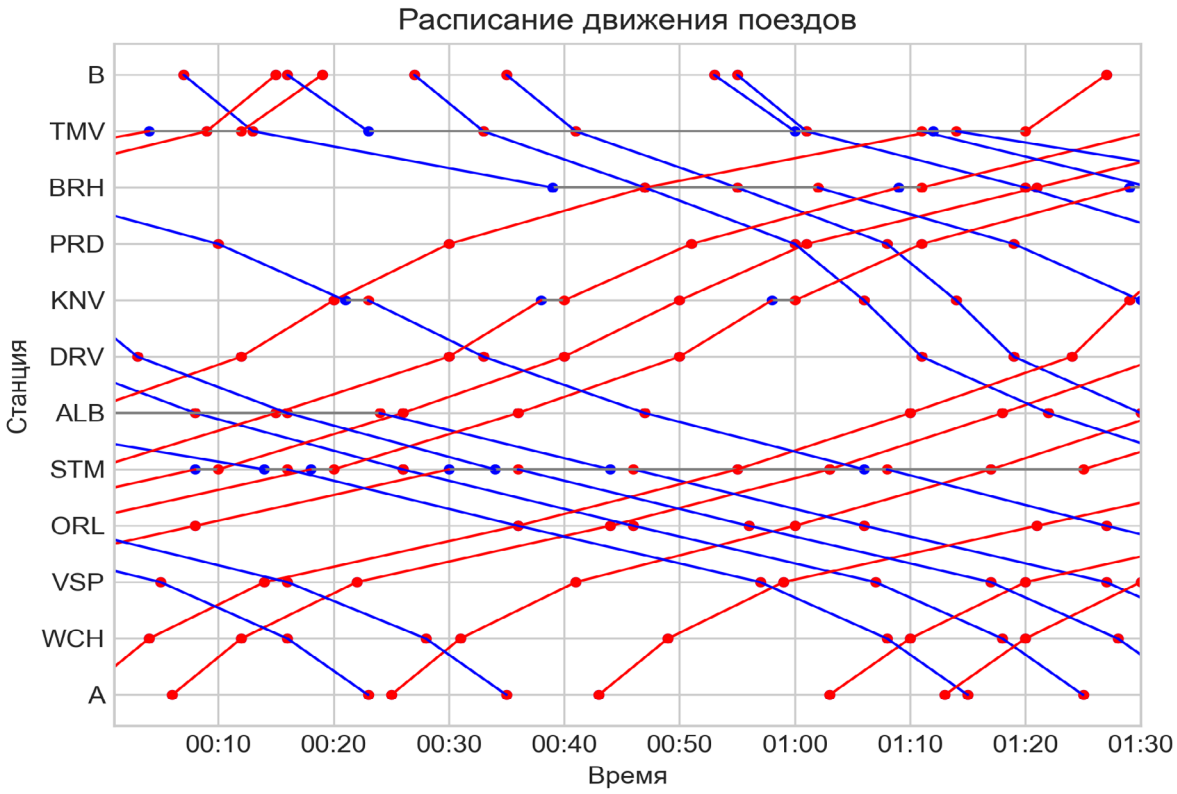

Рис. 1 – График движения поездов

Для проведения деловых игр и вычислительных экспериментов на УЛК ВЖД реализованы интерфейсы пультов управления дежурного по железнодорожной станции (ДСП), поездного диспетчера (ДНЦ) которые предоставляют пользователю возможность построения маршрутов (открытие и закрытие маршрутов: приём, отправление, маршрут между путями по стации, сквозной пропуск), с открытием и закрытием сигналов соответствующих светофоров и переключением стрелок.

Характерной чертой процесса управления пропуском поездов является значительное число событий при сравнительно небольшом количестве команд, выдаваемых диспетчером. Так, в ходе симуляции длительностью около одного часа фиксируется порядка 3000 записей об изменении состояния более чем 500 блок-участков, что соответствует примерно 100 командам. На рисунке 2 представлено общее количество команд диспетчера, включая уникальные команды для каждого сценария по станциям.

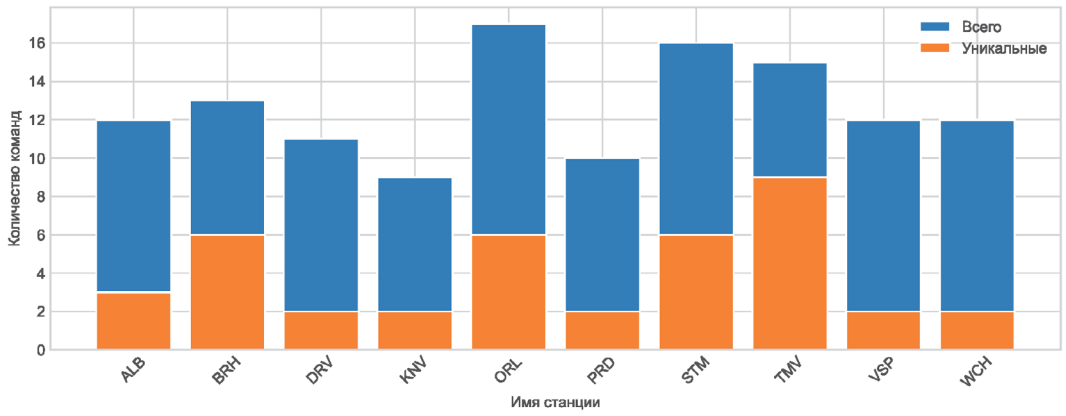

Рис. 2 – Количество команд диспетчера на станциях

Отбор «хороших» вариантов управления осуществлялся экспертным методом организаторами деловых игры, одним из основных критериев являлось исполнение нормативного графика движения. В работе показаны только три характерных варианта, которые передают общую картину.

Анализ управления выполним на основании следующих признаков состояния участка: опоздание (задержка) прибытия, опоздание (задержка) отправления поездов, для одного и того же сценария (см. Рис. 1), но разными людьми в роли диспетчера. Оценка функции плотности вероятности (PDF) случайной величины осуществлялась в SciPy[1], для визуализации данных воспользуемся диаграммами типа «скрипка» (volin plot) пакета Seaborn[2].

Результаты и обсуждение

Ниже приведены результаты анализа трех из всего множества деловых игр, приведённых на УЛК ВЖД, с условными номерами 511, 713, 758, которые потенциально могут быть использованы для создания обучающей выборки.

Представленные диаграммы на рисунках 3-4 иллюстрируют распределение задержек прибытия и отправления поездов (в секундах) на различных станциях в рамках игры 511. Данный тип визуализации позволяет оценить вариативность и характер задержек, а также сравнить их между станциями.

На оси ординат («Задержка прибытия, с») отображается величина задержки, где положительные значения соответствуют опозданиям, а отрицательные – опережениям. Ось абсцисс («Станция») представляет перечень станций (DRV, VSP, ALB, TMV, PRD, STM, WCH, KNV, BRH). Каждая станция представлена скрипичной диаграммой, сочетающей в себе элементы диаграммы размаха и оценки плотности распределения.

Ширина «скрипки» на различных уровнях отражает плотность данных в соответствующем диапазоне задержек, позволяя оценить частоту встречаемости определенных значений. Внутри каждой «скрипки» размещена диаграмма размаха, демонстрирующая медиану (белая точка), межквартильный размах (ящик) и потенциальные выбросы.

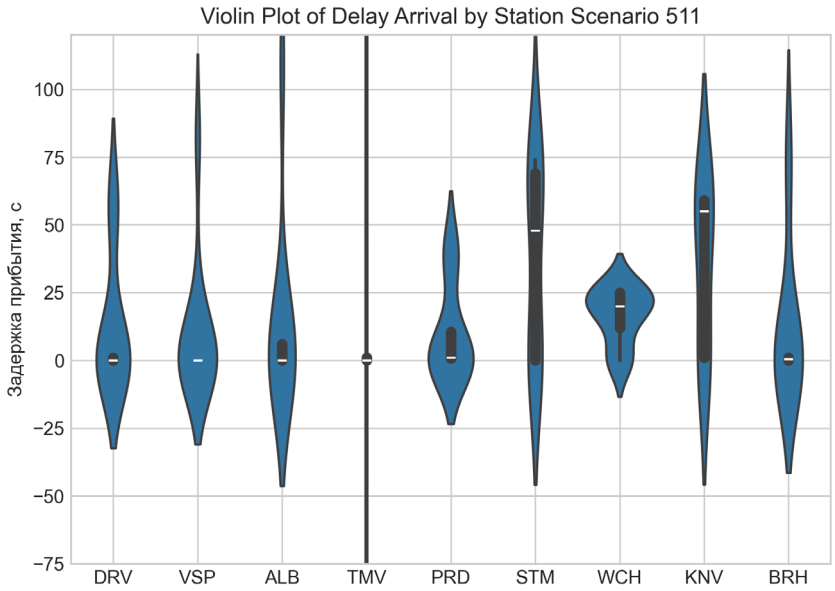

Рис. 3 – Задержка прибытия поездов по станциям

1 https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.gaussian_kde.html

2 https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.violinplot.html

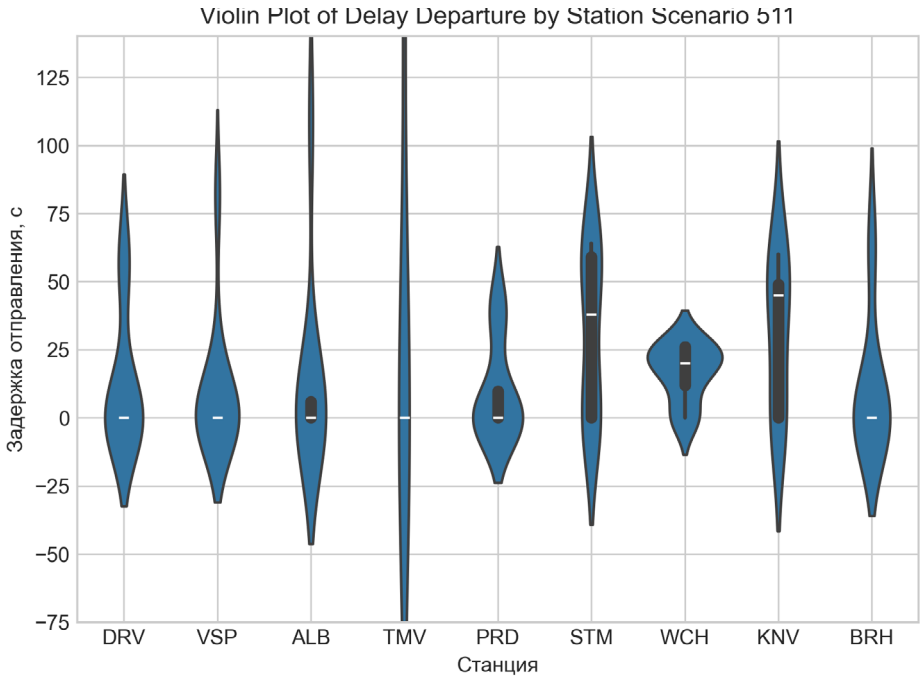

Рис. 4 – Задержка отправления поездов по станциям

Оценки плотности распределения задержек прибытия поездов для девяти различных станций (DRV, VSP, ALB, TMV, PRD, STM, WCH, KNV, BRH) показаны на рисунке 5. Графики демонстрируют вероятность возникновения задержек различной продолжительности (в секундах) на каждой станции. Форма кривых позволяет оценить характер распределения задержек на каждой станции. Например, станции PRD и WCH демонстрируют явно выраженные пики, указывающие на концентрацию задержек в определенном диапазоне. Станции KNV и STM имеют более широкие распределения, что свидетельствует о большей вариативности задержек. Задержки прибытии поездов в совокупности для трех игр показаны на рисунке 6.

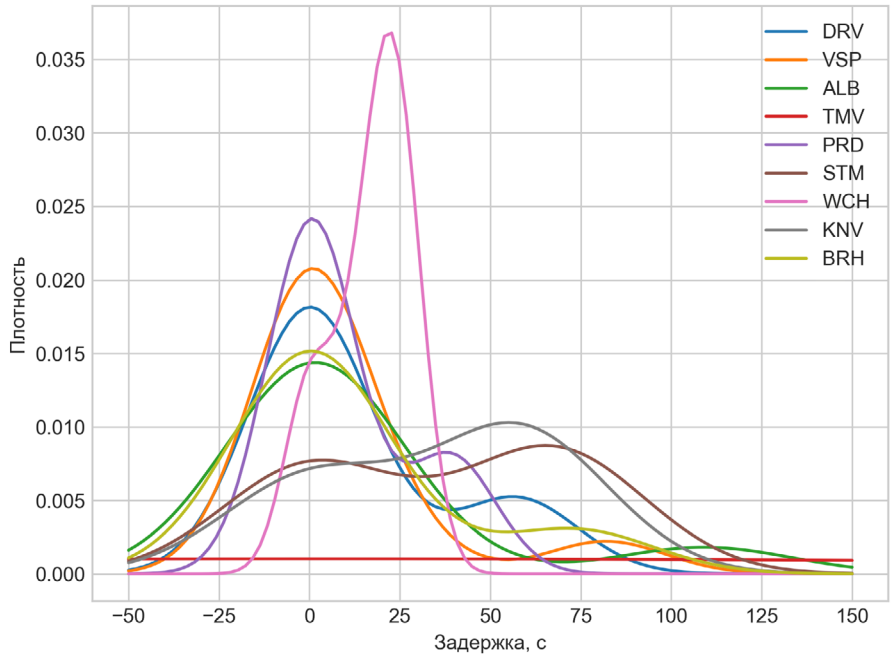

Рис. 5 – Плотность распределения вероятностей задержек прибытия по станциям

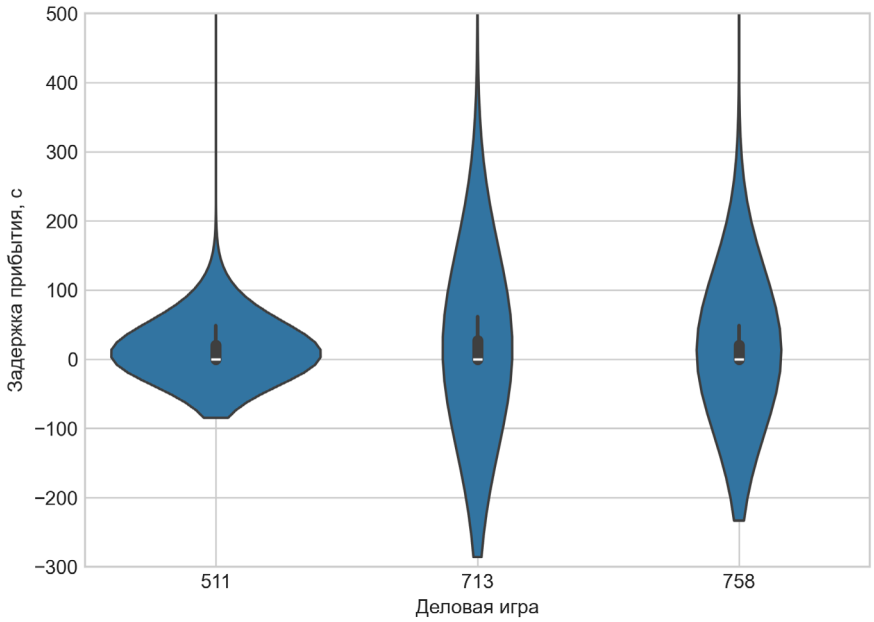

Рис. 6 – Задержка прибытия поездов по результатам игр 511, 713, 758

В таблице 1 представлены статистические характеристики задержек прибытий и отправлений поездов, полученные в результате моделирования. Для каждого случая приведены среднее значение, стандартное отклонение и максимальное значение задержек в секундах. Сравнение средних значений задержек позволяет оценить общую эффективность управления. Например, игра 713 характеризуется наибольшими средними задержками прибытий и высокой их вариативностью.

Таблица 1.

Статистические характеристики задержек прибытий и отправлений поездов по результатам игр 511, 713, 758

	Игра 511		Игра 713		Игра 758	
	Прибытие	Отправление	Прибытие	Отправление	Прибытие	Отправление
Среднее	25,22	15,24	57,19	13,10	50,9	11,79
Стандартное отклонение	102,62	30,44	326,47	22,54	286,99	26,91
Максимум	914,0	184,0	2579,0	88,0	2584,0	180,0

Заключение

Проведенный анализ показывает, что даже в случае отбора «хороших» результатов управления имеются отклонения между результатами игр. Большая часть отклонений обусловлены человеческим фактором, в то же время, если ориентироваться на средние значения, то задержки прибытий и отправлений поездов в пределах минуты вполне согласуется реальностью.

Выбросы и высокая вариативность задержек прибытия и отправления поездов могут критическим образом сказаться на нейросетевом управлении пропуском поездов по участку, соответственно необходимы дополнительные усилия по подготовки данных.

Основной трудностью после подготовки данных как отмечалось выше останется накопление со временем ошибки управления ИНС, что может привести к худшим результатам »»

чем получено в деловой игре. Решением в данном случае видится в области online алгоритмов обучения с подкреплением, уменьшением длительности деловой игры с последующим объединением выборок.

Список использованной литературы

1. Верескун В.Д., Романова Д.В., Притыкин Д.Е., Мусиенко Н.Н. Особенности построения методики деловых игр на виртуальной железной дороге, при взаимодействии персонала дирекции управления движением и тяги. Вестник РГУПС. 2021. № 4 (84). С. 83–90.
2. Верескун В.Д., Притыкин Д.Е., Даглдиян Б.Д., Романова Д.В. Принципы имитационного моделирования реального участка железной дороги с точки зрения разработки его топологической структуры и ее связи с цифровыми моделями объектов инфраструктуры. Вестник РГУПС. 2022. №4(88). С. 177–183.
3. Верескун В.Д., Притыкин Д.Е., Даглдиян Б.Д., Решетов А.В., Мищенко А.В. Разработка подсистемы имитации движения поездов в режиме исполнения нормативного графика движения в рамках учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога». Вестник РГУПС. 2023. №2(90). С. 231–239.
4. An overview of agent-based traffic simulators / J. Nguyen [и др.] // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. – 2021. – Т. 12. – С. 100486.
5. TrafficSim: Learning to Simulate Realistic Multi-Agent Behaviors / S. Suo [и др.] // 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2021. – С. 10395-10404.
6. Boockmeyer A. Using SUMO for Test Automation and Demonstration of Digitalized Railway Concepts: Integrating SUMO with the» Train Dispatcher in the Cloud» / A. Boockmeyer, D. Friedenberger, L. Pirl // SUMO Conference Proceedings. – 2024. – Т. 5. – С. 195-207.
7. Boockmeyer A. Using SUMO for Test Automation and Demonstration of Digitalized Railway Concepts: Integrating SUMO with the» Train Dispatcher in the Cloud» / A. Boockmeyer, D. Friedenberger, L. Pirl // SUMO Conference Proceedings. – 2024. – Т. 5. – С. 195-207.
8. Neural Network Control of the Transportation Process in Railway Transport: Problems and Future Tasks / E. Mamaev [и др.] // Proceedings of the Eighth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’24), Volume 1 / ред. S. Kovalev [и др.]. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. – С. 91-107.
9. A systematic survey on big data and artificial intelligence algorithms for intelligent transportation system / S. Abirami [и др.] // Case Studies on Transport Policy. – 2024. – Т. 17. – С. 101247.
10. Булавин Ю.П., Игнатьева О.В. Обучение искусственных нейронных сетей с подкреплением // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 11. С. 18–21. DOI 10.62994/AT.2024.11.11.003. EDN ORZJCD.
11. Булавин, Ю. П. Модели нейронных сетей для управления пропуском поездов / Ю. П. Булавин, О. В. Игнатьева // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 2. – С. 24-26. – DOI 10.62994/AT.2025.2.2.005. – EDN WKOQGT.
12. Offline Reinforcement Learning: Tutorial, Review, and Perspectives on Open Problems / S. Levine [и др.]. – 2020.
13. Rubinstein R.Y. The cross-entropy method: a unified approach to combinatorial optimization, Monte-Carlo Simulation and machine learning : Information science and statistics. The cross-entropy method / R.Y. Rubinstein, D.P. Kroese. – New York [Heidelberg]: Springer, 2004. – 300 p.
14. Figueiredo Prudencio R. A Survey on Offline Reinforcement Learning: Taxonomy, Review, and Open Problems / R. Figueiredo Prudencio, M.R.O.A. Maximo, E.L. Colombini // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2024. – Т. 35. – № 8. – С. 10237-10257.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК: 004.658.6

ОРГАНИЗАЦИЯ СРЕДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ АС АПВО-2 АНАЛИТИКА

Сергиенко Ю.А., специалист, АО «НИИАС»,
Москва, Россия, E-mail: u.sergienko@vniias.ru

АННОТАЦИЯ

В статье описаны подходы к решению задач выбора, оптимизации, хранения и обработки данных по годовому, месячному и оперативному планированию ремонтных работ в «окнах», согласованию «окон», а также анализу их фактического исполнения. Последовательно описываются выбранные для реализации программного продукта методы, их преимущества и практическая реализация. Объясняется, как конкретные цели, функции отчетной подсистемы и требования к организации данных, влияют на их архитектуру, структуру, управление и анализ.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, цифровая трансформация, планирование «окон», аналитика, конструктор, многомерные данные.

ORGANIZATION OF THE DATA MANAGEMENT ENVIRONMENT OF THE AS APVO-2 ANALYTICS

Sergienko U.A., specialist, JSC «NIIAS»,
Moscow, Russia, E-mail: u.sergienko@vniias.ru

ABSTRACT

The article describes approaches to solving the problems of selecting, optimizing, storing and processing data on annual, monthly and operational planning of repair work in possession, coordinating possession, as well as analyzing their actual implementation. The methods chosen for implementing the software product, their advantages and practical implementation are described in a sequential manner. It is explained how the specific goals of the reporting subsystem and the requirements for data organization affect their architecture, structure, management and analysis.

Keywords: railway transport, digital transformation, planning possession, Big Data, On-line Analyzing Processing,

Введение

Задача нахождения способов рационального управления большими объемами данных, используемых в корпоративной аналитике ОАО «РЖД», остается актуальной [1]. Ведущим научно-исследовательским институтом холдинга «РЖД» в области интеллектуальных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов, мониторинга и диагностики объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта АО «НИИАС» разработана Подсистема АС АПВО-2 АП (Аналитика) [2]. Аналитика, является частью системы АС АПВО-2 [3], предназначенной для автоматизации процессов планирования «окон» и направленной на обеспечение принятия обоснованных управленческих решений за счет получения полной и достоверной отчетности по годовому, месячному и оперативному планированию ремонтных работ в «окна», согласованию «окон», а также анализу их фактического исполнения. АС АПВО-2 – поставщик данных корпоративного информационного хранилища. Для эффективного решения задачи формирования необходимых аналитических форм с учетом выбранных параметров в минимально возможные сроки, в процессе разработки данной аналитической системы были применены современные технологии.

1. Актуальность и новизна

Специфика объектов железнодорожной отрасли состоит в том, что они имеют многослойную и многофункциональную природу, это делает понимание принципов работы с ними достаточно сложным [1]. Работа с такими объектами сопряжена с высоким уровнем рисков и неопределенности, поэтому необходимо применение адаптивных стратегий, тщательное планирование, специализированные знания и навыки. С 2022 года все дороги сети ОАО «РЖД» выполняют планирование ремонтных работ в «окна» в системе АС АПВО-2. Общее количество подключенных пользователей по состоянию на 01.01.2023 составило более 20000. При этом в качестве отчетности по планированию ремонтных работ в «окна» использовалась устаревшая подсистема сетевой отчетности АС АПВО первого поколения, так как техническими заданиями АС АПВО-2 не предусматривалось создание аналитической подсистемы. Как часть АС АПВО первого поколения, подсистема сетевой отчетности не отвечала современным требованиям к производительности и импортозамещению. Необходимость использования нестандартных методов и инструментов вынуждает отказаться от использования готовых программных решений, но не от многолетнего опыта, применения новейших подходов и разработок в области технологий и информатизации. Данный подход был использован в рамках разработки Аналитической подсистемы нового поколения, рисунок [1].

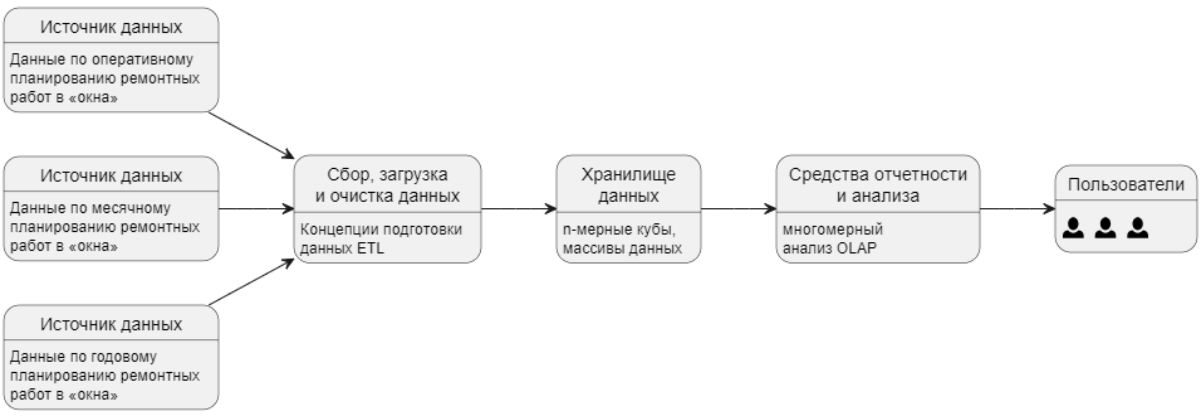

Рис.1 – Потоковая модель обработки данных в Аналитической системе.

2. Концепции подготовки данных и многомерный анализ

Концепции подготовки данных ETL (Extract, Transform, Load) [4, с.484], аналитическая обработка данных в режиме реального времени OLAP (Online Analytical Processing), многомерная структура данных (n-мерные Кубы, массивы данных) [4, с.504] уже зарекомендовали себя в различных приложениях и предоставили организациям возможность систематизировать и анализировать большие объемы данных, демонстрируя при этом высокие результаты [3].

Большие объемы информации очень «громоздки» для непосредственно использования в построении отчетности системы аналитики и требуют предварительной подготовки. Подход ETL [4, с.328] к обработке данных, при котором они проходят через промежуточную фазу чистки и структурирования можно условно разделить на три этапа. На этапе «Извлечение» (Extract) данные извлекаются из структуры хранения данных подсистем годового, месячного и оперативного планирования, которые в свою очередь тесно взаимодействуют со смежными отраслевыми системами на уровне передачи данных через веб-сервисы. На этапе «Преобразование» (Transform) данные очищаются, структурируются и преобразуются в нужный формат для дальнейшего анализа. На третьем этапе, после преобразования «Загрузка» (Load), данные загружаются в целевую систему хранения. В подсистеме Аналитика реализовано хранилище данных, в котором в цифровом формате аккумулируются вся доступная информация организации, обладающая аналитической ценностью. Хранилище представлено в виде Кубов, что обеспечивает ее эффективное структурирование. Используемая технология позволяет аккумулировать значительный объем характеристик и показателей объектов для различных аналитических запросов. В процессе хранения данные подвергаются предварительной обработке, что способствует снижению уровня детализации и увеличению скорости выполнения аналитических операций.

OLAP – это технология позволяющая обрабатывать и анализировать Кубы, создавать отчеты, строить прогнозы, исследовать тенденции и отношения между ними [4, с.504]. Эта технология применима для сложных вычислений и обеспечивает самую быструю индексацию обобщенных данных. Поскольку большинство утвержденных распоряжениями ОАО «РЖД» формы отчетов представлены в виде сводных таблиц, в том числе в части планирования и контроля исполнения «окон», выбранная технология обеспечила удовлетворение потребностей заказчика. Также в подсистеме Аналитика на основе представленных технологий реализован дополнительный компонент Конструктор, позволяющий составлять произвольные отчеты на основе агрегированных данных, рисунок [2].

Для обеспечения безопасности данных в системах администрирования и организации информационной безопасности на железнодорожном транспорте было внедрено регулирование доступа к многомерным данным через пользовательский интерфейс. Это регулирование осуществляется с учетом ролей пользователей, что позволяет точно определять, какие данные доступны каждому из них.

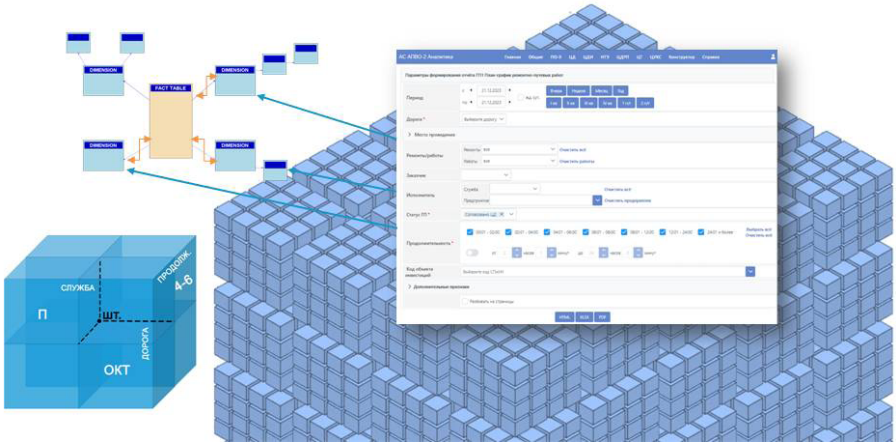

Рис. 2 – Кубы и OLAP технология в подсистеме Аналитика.

3. Подсистема Аналитика и построение отчетов

На этапе создания аналитической подсистемы был учтен многолетний опыт разработки, внедрения и сопровождения программного обеспечения в отрасли, изучены потребности, поведение, опыт, ожидания и запросы пользователей, чтобы создать удобный, полезный и ориентированный на целевую аудиторию продукт. Для оперативного решения задач экранные формы пользователя сделаны интуитивно понятными, использованы единые визуальные элементы, цветовые схемы, шрифты, графика, продумана организация, четкая иерархия и предусмотрены стандартные механизмы межсистемного взаимодействия. Ограничен объем информации, представляемой одновременно, разбиением сложных задач на более мелкие шаги и предоставлены четкие инструкции, которые помогают пользователям сосредоточиться на своих целях. Выбран минималистичный подход к дизайну, используя ограниченную цветовую палитру, простую типографику и чистый макет. Современные тенденции в области обработки и анализа данных показывают, что ETL и OLAP играют ключевую роль в проектах, связанных с большими данными, помогают организациям эффективно управлять данными и извлекать из них ценную информацию для принятия обоснованных решений [5].

После авторизации в системе для формирования необходимой аналитической формы достаточно выбрать нужный раздел, отчет и после задания параметров (фильтров) запустить формирование. Сохранить отчеты можно в нескольких форматах: XLSX, PDF, рисунок [3]. Если в отчете предусмотрена детализация, то данные выделены (синим цветом), и просмотреть ее возможно перейдя по данной ссылке в ячейке. Откроется либо карточка описания объекта, либо таблица детализации, в зависимости от условий формирования выбранного отчета. Описание каждого отчета можно просмотреть, нажав кнопку слева от его названия и перейдя в соответствующий раздел справочной системы.

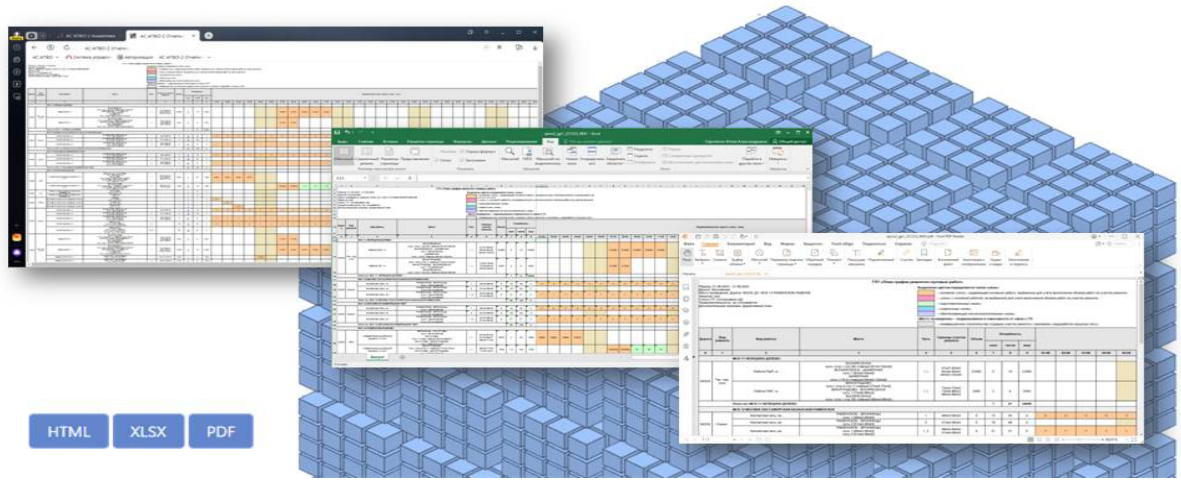

Рис. 3 – Пример построения отчета в подсистеме Аналитика

Благодаря примененным технологиям решены сложнейшие задачи организации и обработки информации с учетом различных способов задания параметров и выбора по ним необходимых данных. Например, в отчет отбираются участки, «окна» и другие временные объекты, начало или окончание действия которых попадает в период, либо заданный в фильтре период попадает во время действия объекта (годовые и месячные заявки, длительные закрытия). В фильтрацию заложена возможность произвольного выбора периода: «от» и «до». Одним кликом можно получить данные на предыдущую дату, за прошедшую неделю, месяц, год, квартал года, железнодорожные сутки. Фильтры позволяют легко выбрать один или несколько объектов, таких как дорога сети РФ или территориальный элемент (перегон, станция, маршрут, диспетчерский участок, полигон, регион, путь и т.д.), на основе которых будет сформирован отчет.

Учтен тот факт, что каждый объект инфраструктуры уникален и необходимая специалистам для анализа информация многие годы тщательно выверяется и апробируется в процессе эксплуатации [6]. Не редки случаи, когда при осуществлении выбора объектов по принадлежности места работ к территории, например диспетчерский участок, объект может попадать во взаимно не пересекающиеся выборки (два различных диспетчерских участка), т.к. место работ, указанное в объекте может пересекаться с каждой из заданных территорий, рисунок [4]. Учитывая данный факт, кубы хранилища подсистемы Аналитика организованны таким образом, что была возможность реализации фильтрации тремя способами: с учетом станции/перегона, по диспетчерскому участку и по полигонам.

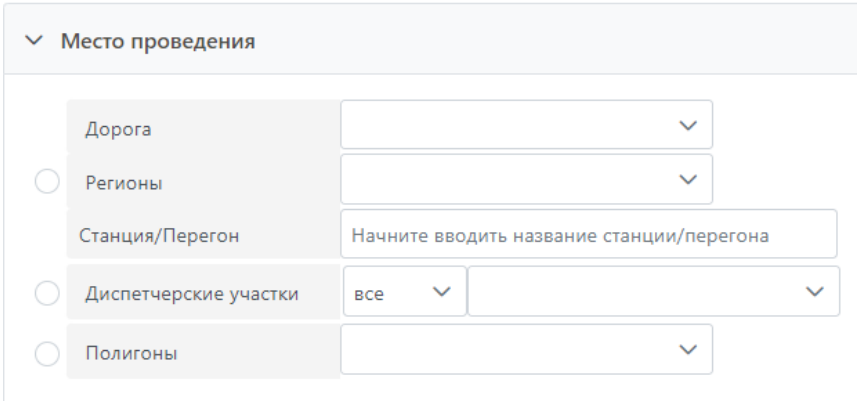

Рис. 4 – Фильтр данных с учетом места работ

Заданные отчеты могут строиться как по данным одного, так и нескольких кубов, рисунок [5]. Причем в реализованной подсистеме, благодаря ее организации и примененного инструментария, пользователь не почувствует существенной разницы во времени постарения многосоставного отчета. В отличие от моделей, где данные запрашиваются непосредственно из учетных систем стандартными методами реализованных баз данных, выбранный подход обеспечивает максимальную скорость выполнения аналитических операций.

ГП4 «Справка по предоставлению «окон» согласно директивному плану-графику»

Период: 01.01.20xx - 31.12.20xx
Дорога: все
Место проведения: не задано
Заказчик: все
Исполнитель работ (Дирекция, Служба): все
Продолжительность: не учит
Дополнительные признаки: Д

ГП МП ОП ГП МП ОП

Дорога	Годовое планирование		Месячное планирование		Факт		+/- факт к месячному плану		Годовое планирование		Месячное планирование		Факт		+/- факт к месячному плану	
	кол-во, шт.	прод., ч	кол-во, шт.	прод., ч	кол-во, шт.	прод., ч	кол-во, шт.	прод., ч	кол-во, шт.	прод., ч	кол-во, шт.	прод., ч	кол-во, шт.	прод., ч	кол-во, шт.	прод., ч
А	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Горьковская	4488	15854,7	6396	23581,2	25436	48629,0	19040	25047,8	4488	15854,7	6396	23581,2	25436	48629,0	19040	25047,8
Итого	**4488**	**15854,7**	**6396**	**23581,2**	**25436**	**48629,0**	**19040**	**25047,8**	**4488**	**15854,7**	**6396**	**23581,2**	**25436**	**48629,0**	**19040**	**25047,8**

Дата формирования отчёта ГП4: 19.03.20xx 14:40 АС АПВО-2. АО «НИИАС»

Рис. 5 – Пример отчета с данными из 3 кубов

В случае, когда для решения поставленных задач специалистам недостаточно утвержденных ОАО «РЖД» форм, и требуется незамедлительно провести анализ данных, в подсистеме реализован пользовательский интерфейс доступа к данным Кубов – «Конструктор отчетов». Он позволяет формировать отчет, определяя последовательность колонок и строк, указав набор фильтров и мер. Сформированный отчет можно просмотреть на экране, экспортировать для печати, перейти к детализации. Конструктор позволяет сформировать по заданной выборке диаграмму, что тоже актуально при анализе данных.

При необходимости, уже выверенные и агрегированные данные по годовому, месячному и оперативному планированию ремонтных работ в «окна», согласованию «окон», а также анализу их фактического исполнения, передаются в смежные системы ОАО «РЖД». »»

Заключение

Учетные и отчетные системы, направленные на анализ и представление данных для принятия решений, ориентированные на сложные аналитические запросы, имеют разные цели, функции и требования, что обуславливает необходимость различного подхода к организации данных, влияет на их архитектуру, структуру и управление [7]. Построение сложной информационной аналитической системы требует совместной работы специалистов конкретной отрасли, программистов и аналитиков.

Бизнес-требования, предъявляемые к процессу формирования отчетности, эволюционируют в ходе времени в связи с изменением условий функционирования организации и актуализации нормативной и регламентирующей документации. Так в прошлом году выполнена модификация Аналитики в связи с подписанием Альбома форм Аналитической подсистемы АПВО-2 (версия 2) и производится следующая модификация в связи с подписанием Альбома форм Аналитической подсистемы АПВО-2 (версия 3).

На современном этапе выбранные принципы и подходы показали свою состоятельность и эффективность по многим показателям.

Список использованной литературы

1. КСУД: секреты управления данными [электронный ресурс] / РЖД цифровой [электронный ресурс]: – URL: https://rzddigital.ru/projects/ksud/ (дата обращения 16.04.2025).
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «АС АПВО-2. Подсистема автоматизации формирования отчетных и аналитических форм» (АС АПВО-2 АП) [электронный ресурс] / Научная электронная библиотека elibrary.ru [электронный ресурс]: – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68596310 (дата обращения 13.03.2025.)
3. Автоматизированная система «Планирование, учет и анализ проведения «окон» и выполнения хозяйственной работы» [электронный ресурс] / Каталог систем для подведомственных организаций АС АПВО-2 [электронный ресурс]: – URL: https://software.rzd.ru/catalog/21 (дата обращения 13.03.2025).
4. DAMA-DMBOK : Свод знаний по управлению данными. Второе издание / Dama International [пер. с англ. Г. Агафонова]. — Москва : Олимп–Бизнес, 2020. — 828 с.: ил.
5. Фирсова, А. А. Специфика применения инструментов бизнес-аналитики в системах поддержки принятия управленческих решений / А. А. Фирсова // Инновационная деятельность. – 2024. – № 4(71). – С. 88-96. – EDN PDAVJW.
6. Унифицированный глоссарий управления цифровой трансформацией ОАО «РЖД». Версия 1.4, утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» от 13 июня 2023 г. № 1407/р.
7. Жижина Л.А., Планирование локомотивов в хозяйственном движении с использованием АС АПВО-2 [электронный ресурс] / Научная электронная библиотека elibrary.ru [электронный ресурс]: – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49865693 (дата обращения 13.03.2025).

ТРАНСПОРТНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 629.4.06, 629.05, 656.052.16

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОЕЗДОМ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ И ВАРИАНТЫ ИХ РАСЧЕТОВ

Охотников А.Л., заместитель технического директора АО «РДС»,
начальник отдела АО «НИИАС», Москва, Россия,
E-mail: ohotspb@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены измеряемые параметры и условия, которые влияют на валидность измерений системы управления подвижным составом, в которую входят средства технического зрения и высокоточного позиционирования. Эти высокотехнологичные технические средства заменяют когнитивные способности машиниста и служат для решения задач повышения уровня безопасности движения поездов, в частности, беспилотного подвижного состава. Рассмотрены параметры, влияющие на движение автономного транспортного объекта и его управление в различных информационных ситуациях, с учетом условий применения на железнодорожном транспорте. Выделены внутренние и внешние параметры. Предложено использовать метеорологическую оптическую видимость (MOR) для различных сценариев применения системы технического зрения. В зависимости от оптической видимости предложен расчет дальности обнаружения объектов-препятствий на железнодорожных путях. Для выполнения поставленной цели по определению местоположения подвижного объекта, перемещающегося по заданному участку пути, разработан метод, основанный на данных картографии, послуживший основой для изобретения.

Ключевые слова: информационная ситуация, система технического зрения, метеорологическая оптическая видимость, прозрачность воздуха, высокоточная система позиционирования, ортодромия.

SELECTION OF PARAMETERS FOR AUTOMATIC TRAIN CONTROL AND THEIR CALCULATION OPTIONS

Okhotnikov A. L., Deputy Technical Director of JSC «RDS»,
Head of Department, JSC «NIIAS», Moscow, Russia,
E-mail: a.ohotspb@mail.ru

ABSTRACT

Abstract: The article considers the measured parameters and conditions that affect the validity of measurements of the rolling stock control system, which includes vision and high-precision positioning tools. These high-tech technical means replace the cognitive abilities of the driver and serve to solve the problems of improving the level of safety of train traffic, in particular, unmanned rolling stock. The parameters affecting the movement of an autonomous transportation object and its control in various information situations are considered, taking into account the conditions of application in railway transportation. Internal and external parameters are singled out. Meteorological optical visibility (MOR) for different scenarios of vision system application is proposed. Depending on the optical visibility, the calculation of the detection range of obstacle objects on railroad tracks is proposed. To solve the problem of determining the current coordinates of a transportation object moving along a known trajectory on the basis of cartographic information, a method is proposed, which formed the basis of the invention.

Keywords: information situation, vision system, meteorological optical visibility, air transparency, high-precision positioning system, orthodromy.

Введение

Для решения задач управления транспортным объектом при автоматическом движении важно точное определение параметров, характеризующих его движение и влияющих на принятие эффективного управленческого решения.

Устройство автоведения поезда использует эти параметры для расчёта модели движения поезда и выбора оптимальных режимов для его управления, с учетом обеспечения безопасности, выполнения расписания, минимизации расходов на электроэнергию. Другими словами, система управления выполняет энергетически рациональное автоматизированное управление тягой и всеми видами тормозов, обеспечивает точное соблюдение времени хода на участке, которое отвечает текущему графику движения поездов (ГДП) и действующим нормативным документам.

В управлении движением поезда, особенно в режиме беспилотного ведения, для обеспечения безопасности движения большую роль играют современные средства технического зрения и высокоточного позиционирования. С помощью этих технических систем, заменяющих когнитивные способности человека, поезд может двигаться продолжительное время с требуемым уровнем безопасности в любую погоду.

Для корректной работы этих технических систем необходимо рассмотреть измеряемые ими параметры и внешние условия, которые влияют на валидность измерений системы управления подвижным составом, осуществляющей изменение режима движения, в частности, без машиниста.

1. Решение задачи

Примем за параметры, влияющие на движение транспортного объекта (ТО) и его управление в различных информационных ситуациях, с учетом условий применения на железнодорожном транспорте, внутренние: скорость поезда, координаты ТО, масса поезда, вид тормозной системы вагонов и подвижного состава (ПС); внешние: координаты и расстояние до препятствий, крутизна уклона (подъема, спуска), кривизна пути, сцепление системы «колесо-рельс» (коэффициент скольжения), освещенность (солнечная погода, рассвет, закат, сумерки, темное время суток), видимость (ясный прозрачный воздух, слабая видимость), прозрачность (туман, смог, мгла, облачно).

Рассмотрим влияние погодных условий на работу системы технического зрения (СТЗ). По примеру авиации, в целях эффективной работы СТЗ важное значение имеет такой параметр как метеорологическая оптическая видимость (*MOR - Meteorological Optical Range*) [1]. **Данная характеристика применяется при управлении полетами для определения дальности видимости взлетно-посадочной полосы (ВВП).** В **методике** [2] **дано определение дальности видимости для ВПП при использовании средств измерения. Также определены такие важные термины как «визуальный порог освещенности», «видимость», «метеорологическая дальность видимости», «дальность видимости», «порог контрастной чувствительности» и другие. Использование таких параметров на железнодорожном транспорте безусловно положительно отразится на качестве определения объектов- препятствий и в целом качестве работы СТЗ.**

Для применения СТЗ в условиях железнодорожной отрасли определены сценарии управления поездом в зависимости от погодных условий и оптической видимости воздуха. Выделим 6 классов видимости [3].

Таблица 1.

Дальность определения объектов исходя из условий оптической видимости

№	Видимость	Расстояние, м
1	Очень плохая	0-500
2	Плохая	500-2000
3	Средняя	2000-10000
4	Хорошая	10000-20000
5	Очень хорошая	20000-35000
6	Исключительная	35000-50000

Условия освещенности также влияют на вероятность обнаружения препятствий. Параметры освещенности приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Параметры освещенности

№	Условия освещенности	Освещенность, лк
1	Дневное, естественное освещение на улице в солнечную погоду	5000 - 100000
2	Дневное, естественное освещение на улице в облачную погоду	1500 - 5000
3	Закрытая территория, тень от сооружений	750 - 1500
4	Туннели/путепроводы	100 – 500
5	Сумеречное освещение	100 - 200
6	Ночью в полнолуние	0,2

В соответствии с ГОСТ 54984-2012 «Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта» минимальные нормы освещенности составляют от 1 до 50 лк в зависимости от назначения объектов железнодорожного транспорта.

Таблица 3.

Прозрачность воздуха при различных погодных условиях

№	Состояние атмосферы	Коэффициент прозрачности	Дальность видимости, км
1	Воздух абсолютно чист	0,99	300
2	Исключительно высокая прозрачность	0,97	150
3	Воздух очень прозрачен	0,96	100
4	Хорошая прозрачность	0,92	50
5	Средняя прозрачность	0,81	20
6	Воздух несколько мутен	0,66	10
7	Воздух мутен (мгла)	0,36	4
8	Воздух очень мутен (сильная мгла)	0,12	2
9	Легкий туман	0,015	1
10	Туман	$2*10^{-4}$–$8*10^{-10}$	0,2-0,5
11	Густой туман	10^{-19}–10^{-34}	0,05-0,1

Источник: В.В. Шаронов «Наблюдение и видимость» [4]

Коэффициент прозрачности $K_{пр}$ рассчитывается из отношения $Q_{св}$ количества света, пропущенное слоем воздуха в 1 км толщины, к $S_{вх}$ количеству света, прошедшему через этот слой:

$$K_{пр} = Q_{св} / S_{вх}$$

Существует множество разных специальных измерительных устройств с целью расчета прозрачности воздуха. Один из вариантов построен на базе прожектора, луч света которого направлен вдоль земли. На пересечении луча света расположены два наблюдателя (измерителя) на расстоянии до 1 км. Каждый наблюдатель имеет специальный прибор - фотометр, с помощью которого можно измерить такой параметр как интенсивность света. При сравнении измерений каждого наблюдателя (измерителя) определяется величина затухания светового потока в каждом месте измерения.

В случае известного коэффициента прозрачности, определенного для расстояния в 1 км, рассчитывается доля света, проходящего через каждый слой воздуха для 2, 3, 4 и т. д. километров. В этом случае, степень коэффициента прозрачности воздуха принимается равным числу километров. Приведем пример для коэффициента прозрачности воздуха равным 0,8. Тогда через слой воздуха в 3 км пройдет доля света:

$$0{,}8 \times 0{,}8 \times 0{,}8 = 0{,}512.$$

Для слоя воздуха в 4 км остается доля света:

$$0{,}8 \times 0{,}8 \times 0{,}8 \times 0{,}8 = 0{,}41$$

Дальность видимости – это максимальное расстояние, на котором СТЗ перестает обнаруживать препятствие (объект). Данный параметр обычно еще поменяют понятием «дальность открытия». Это максимальное расстояние, на котором препятствие (объект) становится видимым для СТЗ на горизонте наблюдения. Тогда введем еще один параметр «метеорологическая дальность видимости» - это максимальное расстояние до абсолютно черного предмета больших размеров на фоне неба у горизонта.

Известно, что абсолютно черных объектов в природе не существует, поэтому реальные объекты имеют способность отражать часть световых лучей. Принимая это понимаем, что метеорологическая дальность видимости является условной, теоретической характеристикой видимости. Между тем существует достаточно много темных объектов, которые очень слабо отражают световые потоки – это деревья, листва в лесу, склоны холмов из чернозема, темные искусственные сооружения, люди в темной одежде и т.д. Такие объекты хуже видно и для них реальная дальность видимости будет отличаться от расчетной метеорологической видимости.

Обратную ситуацию дают светлые объекты, которые отражают много света. В плохую пасмурную погоду, без прямых солнечных лучей светлые объекты могут быть светлее, чем небосклон, и их дальность видимости будет больше метеорологической. Серые объекты меньше отличаются от горизонта, поэтому такие объекты быстрее скроются в тумане на меньшем расстоянии. Самые слабо обнаруживаемые объекты – светло-серые или белые (снежные холмы, горы). В условиях тумана они сливаются с общим фоном и их невозможно разглядеть. Для удобства расчета дальности видимости объектов в различных условиях применяются подробные таблицы, которые составлены с учетом наблюдений, например, от профессора Н. Г. Болдырева (номограмма) [5] и В. Б. Вейнберга [6].

Оценку видимости для СТЗ предлагается производить в баллах. Для этого достаточно использовать 9 объектов, которые расположены на расстояниях в: 50 м, 200 м, 500 м, 1 км, 2 км, 4 км, 10 км, 20 км и 50 км. Тогда для целей оперативной работы и настройки СТЗ можно составить таблицу.

Таблица 4.

Прозрачность воздуха в баллах

№	Предмет (объект) виден, м	Предмет (объект) не виден, м	Балл
1	–	50	0
2	50	200	1
3	200	500	2
4	500	1 000	3
5	1 000	2 000	4
6	2 000	4 000	5
7	4 000	10 000	6
8	10 000	20 000	7
9	20 000	50 000	8
10	50 000 и более	–	9

Для расчета метеорологической оптической видимости (*MOR*) принято использовать закон Кошмидера, вытекающем из закона Бугера-Ламберта. Чтобы рассчитать *MOR* необходимо найти отношение видимого яркостного контраста C_x наблюдаемого объекта, к его собственному яркостному контрасту C_0, который имеет объект наблюдения на фоне горизонта с достаточно близкого расстояния.

$$MOR = C_x / C_0$$

Метеорологическая видимость (оптическая дистанция) *MOR* может быть определена как расстояние в атмосфере, при котором интенсивность света от источника с температурой 2700 К снижается до 5% его первоначальной интенсивности. Оценка интенсивности света производится через применение функции яркостной чувствительности, установленной международной организацией по освещению (измеряется в м или км).

Минимальный уровень светового восприятия (визуальный порог освещенности) определяется как самая низкая степень освещения, позволяющая различать мельчайший световой объект на допустимой дистанции (измеряется в люксах, лк).

Для разных объектов при различных погодных условиях подготовлен расчет дальности обнаружения объектов-препятствий.

Таблица 5.

Требования к функционированию СТЗ

№	Функция	Ясная погода	Пасмурно	Опасные условия	Вероятность ложного срабатывания
		Дальность (м) (вероятность (%)) обнаружения			
1	Обнаружение мелких животных	120 (95)	60 (95)	15 (95)	10^{-4}
2	Обнаружение тупиковой призмы	240 (95)	120 (95)	25 (95)	10^{-4}
3	Обнаружение человека	240 (95)	120 (95)	25 (95)	10^{-4}
4	Обнаружение крупных животных	360 (95)	180 (95)	35 (95)	10^{-4}
5	Обнаружение автомобильного транспорта	450 (95)	225 (95)	45 (95)	10^{-4}
6	Обнаружение железнодорожного транспорта	600 (95)	300 (95)	60 (95)	10^{-4}
7	Обнаружение объектов с размерами (расстояние/250м)^2	1000 (95)	500 (95)	100 (95)	10^{-4}

Источник: По данным от DB NETZ.

Учет этих параметров необходим для ограничения скорости поезда на таких участках, где видимость ухудшается и дальность определения препятствия резко снижается, что важно для обеспечения безопасности движения поезда при расчете кривой торможения. Такая зависимость вызывает необходимость введения в алгоритмы расчета модели движения поезда поправочных коэффициентов и учета корректировки при калибровке и настройке вычислителей и устройств СТЗ. Причем система калибровки должна работать адаптивно исходя из текущей информационной ситуации и параметров внешней среды. Создание и анализ адаптивной системы на борту ПС для учета всех указанных параметров в СТЗ выходит за рамки исследования.

Из широкого перечня необходимых параметров для управления ТО и расчета управляющего воздействия основными являются скорость и координаты позиционирования ТО. В свою очередь информационная транспортная ситуация включает единую координатную среду и единую навигационную среду [7].

2. Способ определения координат ТО

Для решения задачи высокоточного позиционирования различных ТО, движущихся по известным траекториям (рельсовым путям), с отражением пути следования на электронной карте в результате исследования предлагается следующий способ, который лег в основу изобретения «Устройство позиционирования транспортных средств» (RU 2689840 C1 от 10.10.2018) [8].

Известные устройства позиционирования ТО в основном базируются на приеме спутниковых навигационных сигналов [9], астронавигационных измерений [10] и др. Недостатками таких устройств являются как использование сложной и дорогостоящей навигационной аппаратуры, так и требование наличия постоянной связи с искусственными спутниками Земли (на практике не всегда возможное, особенно в современной обстановке), что накладывает очевидные ограничения при их применении.

Результат достигается за счет того, что перед началом движения транспортного объекта программная траектория разбивается на короткие прямолинейные отрезки, которые аппроксимируют эту траекторию на ортодромы. Существует прямая зависимость между указанными участками и их географическими параметрами. В процессе перемещения объекта вдоль заданного кратчайшего пути траекторий, используя данные о проекции скорости относительно собственной системы отсчета от трех ортогональных датчиков, бортовой компьютер объекта определяет величину модуля скорости. Значение интеграла проходит через трансформацию, включающую нелинейные тригонометрические операции, где его аргумент масштабируется и сдвигается на фиксированную константу; затем результат масштабируется и возвращается обратно через инверсную тригонометрическую операцию. После указанных преобразований получим значение широты ТО. Используя функциональную зависимость географических координат на ортодромических отрезках, можно рассчитать долготу управляемого объекта [11].

При вычислении текущего местоположения транспортного объекта, перемещающегося по заранее известному участку, траектория, используя геоданные цифровой модели пути, подвергается сегментации перед началом перемещения на отрезки, которые можно приближенно представить минимальными прямолинейными участками между контрольными точками (называемыми ортодромами) с требуемой степенью точности.

Для ортодромии используем зависимость между долготой λ и широтой φ объекта управления:

$$\lambda = arcsin\left(\frac{tg\phi\, sin(\lambda_1 - \lambda_0)}{\sqrt{tg^2\phi_0 + tg^2\phi_1 - 2tg\phi_0 tg\phi_1 cos(\lambda_1 - \lambda_0)}}\right) - \\ -arctg\frac{tg\phi_0\, sin\,\lambda_1 - tg\phi_1\, sin\,\lambda_0}{tg\phi_1\, cos\,\lambda_0 - tg\phi_0\, cos\,\lambda_1} = arcsin(P \cdot tg\phi) - P_0, \quad (1.1)$$

где (λ_0, ϕ_0), (λ_1, ϕ_1) - координаты начальной и конечной точки ортодромического отрезка.

Тогда модуль скорости ТО $|V|$ представим в виде [12]:

$$|V| = V_Y \frac{cos\,\phi}{\sqrt{\frac{1}{1+P^2} - sin^2\,\phi}} \quad (1.2)$$

где V_Y – проекция скорости подвижного объекта на ось OY географической системы координат (ГСК).

Из (1.2) возможно трансформировать известное навигационное уравнение измерения широты объекта:

$$\dot{\phi} = \frac{V_Y}{r+h} \quad (1.3)$$

где h – высота объекта над поверхностью Земли, а r – радиус Земли, к следующему виду:

$$\dot{\phi} = \frac{|V|}{\left\{\frac{cos\,\phi}{\sqrt{\frac{1}{1+P^2} - sin^2\,\phi}} \cdot (r+h)\right\}} \quad (1.4)$$

Из (1.4) интегрируем разделение переменных:

$$(r+h) \cdot \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{cos\,\phi}{\sqrt{\frac{1}{1+P^2} - sin^2\,\phi}} \cdot d\phi = \int_{t_0}^{t} |V| dt \quad (1.5)$$

Можно использовать значение интеграла как указано в [13]:

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{cos\,\varphi}{\sqrt{\frac{1}{1+P^2} - sin^2\,\phi}} d\phi = arcsin\{(1+P^2)^{\frac{1}{2}} sin\,\phi\} - arcsin\{(1+P^2)^{\frac{1}{2}} sin\,\phi_0\},$$

имеем зависимость широты ТО от модуля его скорости $(|V|)$:

$$\phi = arcsin\{(1+P^2)^{-\frac{1}{2}} sin[\frac{\int_{t_0}^{t}|V|dt}{(r+h)} + arcsin\{\quad (1+P^2)^{\frac{1}{2}} sin\,\phi_0\}]\} \quad (1.6)$$

Определение величины модуля скорости перемещения транспортного объекта можно измерить тремя перпендикулярно расположенными датчиками различных типов (например, лазерными [14], радиометрическими [15] или оптических [16]), закрепленными неподвижно к его корпусу. Так как скорость объекта остается неизменной независимо от выбранной системы отсчета, угловое вращение ТО не оказывает влияния на способ его определения, позволяя исключить использование датчиков угловой скорости и упростить структуру измерительной системы относительно стандартной модели. »»

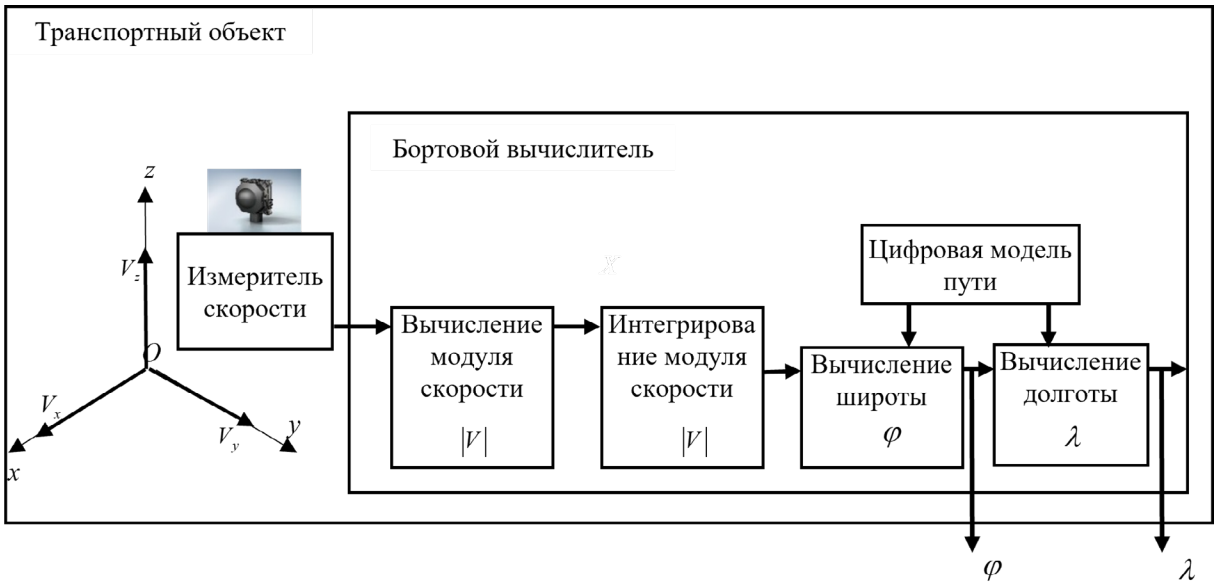

Рис 1. – Способ измерения координат ТО

Для реализации указанного способа позиционирования подвижного объекта на ортодромическом отрезке ЦМП необходимо:

— измерить проекций скорости в системе координат, связанной с объектом управления (тремя ортогональными измерителями);
— вычислить модуль скорости ТО в вычислителе ТО;
— вычислить интеграл от модуля скорости в текущем времени;
— вычислить текущее значение широты с использованием соотношения (1.6);
— вычислить значение долготы λ с использованием соотношения (1.1).

Предложенная методика определения координат подвижного объекта позволяет минимизировать потребность в измерительной аппаратуре (путем исключения приборов измеряющих угловое вращение объекта) и сокращает объем вычислений навигационной информации (исключая процесс решения дифференциальных уравнений движения и угловой ориентации), а также повышает надежность и точность позиционирования объекта при отсутствии сигналов спутниковых измерений или в условиях сильных шумов (в т.ч. спуфинга), позволяет произвести корректный расчет кривой торможения до обнаруженного препятствия.

Выводы

Для использования СТЗ как системы, отвечающей за безопасность движения ТО, необходимо ее тестирование в условиях полигона с применением различных сценариев для разных видов манекенов при любой погодной обстановке. Для массового применения средств технического зрения необходимо подтвердить её способность точно выявлять все существующие типы объектов-препятствий и сигналов в разнообразных погодных и световых условиях, а также на разных элементах инфраструктуры, включая перегоны, станции и кривые участки пути. В [17] определено минимальное количество испытаний с заданным доверительным интервалом, которые требуются для соблюдения условий уровня полноты безопасности (УПБ) согласно УПБ2 и УПБ4.

Установлено, что при анализе отдельных элементов сложной технической системы, при соответствии стандарту, скажем, УПБ2, это не гарантирует полную безопасность всей системы уровню УПБ2. Поскольку вероятность сбоя всей системы превышает вероятность неисправности её элементов. За счет дублирования таких элементов возможно создать более устойчивую систему.

В качестве резервирования на борту поезда рекомендуется использовать пары одного типа оборудования, например, видеокамеры, лидары, тепловизоры. Использование »»

инфраструктурных СТЗ (стационарных и мобильных) также можно считать элементами резервирования интегрированной СТЗ.

Помимо известных вариантов определения внутренних параметров ТО в статье предложен алгоритм расчета координат ТО. Причем координаты рассчитываются для движущегося объекта на ортодромических отрезках пути с использованием ЦМП, через известную зависимость долготы λ от широты φ объекта, а также проекции скорости ТО на ось *OY* географической системы координат. Скорость ТО можно рассчитать за счет введения в устройство трех катушек индуктивности или оптических излучателей и приемника, которые располагаются над рельсовой колеёй на одинаковом расстоянии от нее [18].

Предложенные варианты определения параметров ТО позволяют повысить качество и точность определения скорости и координат и снизить вычислительные и аппаратные затраты на борту локомотива (электропоезда).

Список использованной литературы

1. РД 52.21.680-2006 Руководство по определению дальности видимости ВПП (RVR) (с Поправкой № 1), РД от 30 июня 2006 года № 52.21.680-2006.
2. ПНСТ Автомобильные транспортные средства. Системы оптического распознавания объектов. Общие технические требования и методы испытаний.
3. Охотников, А. Л. Синтез систем технического зрения локомотива на основе сценарного подхода / А. Л. Охотников, Л. А. Баранов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1(81). – С. 53-61. – DOI 10.46973/0201-727X_2021_1_53.
4. Шаронов, В.В. Наблюдение и видимость // URL: \ http://vrazvedka.ru/main/learning/vopros-ob/sharonov_03.html (Дата обращения 10.01.2021).
5. Болдырев, Н.Г. Руководство по определению дальности видимости реальных объектов в светлое время суток [Текст] / Н. Г. Болдырев и О. Д. Бартенева; Под ред. П. В. Стороженко; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете министров СССР. Гл. геофиз. обсерватория им. А. И. Воейкова. - Ленинград: изд-во и 2-я типолитогр. Гидрометеоиздата, 1950. – 22 с.
6. Вейнберг, В.Б. Оптика световодов [Текст] / В.Б. Вейнберг, Д.К. Саттаров. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1977. - 319 с.
7. Дзюба, Ю. В. Мобильное управление подвижными объектами / Ю. В. Дзюба, А. Л. Охотников // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – Т. 2, № 1(5). – С. 16-25.
8. Патент № 2689840 C1 Российская Федерация, МПК G01C 21/26. Устройство позиционирования транспортных средств: № 2018135641: заявл. 10.10.2018: опубл. 29.05.2019 / Ю. В. Дзюба, А. Л. Охотников, И. Н. Розенберг [и др.]; заявитель АО «НИИАС».
9. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. М: Радиотехника, 2010. 800 с.
10. Сайт Штурман URL:/ http://shturman-tof.ru/Bibl/Bibl_1/Astronavigation_yxta/.html (Дата обращения 10.03.2025).
11. Охотников, А. Л. Высокоточное позиционирование транспортных средств на железнодорожном транспорте / А. Л. Охотников, С. В. Соколов // Труды АО «НИИАС»: Сборник статей. Том 2. Выпуск 11. – Москва: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 174-178.
12. Соколов, С.В. Аналитические модели пространственных траекторий для решения задач навигации // Прикладная математика и механика. Т.79. вып.1. 2015. С. 24-30.
13. Градштейн, И.С., Рыжик И.М. / Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. // М.: Физматгиз, 1963. 1100 с.
14. Потехин, Д. С. Метод цифровой обработки сигнала доплеровского сдвига частоты лазерного измерителя скорости / Д. С. Потехин, А. В. Станюш // Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 2(40). – С. 64-67.
15. Титов, В. А. Исследование корреляционного метода определения скорости объекта / В. А. Титов // Science Time. – 2017. – № 5(41). – С. 255-261.
16. Патент № 2837685 C1 Российская Федерация, МПК G01P 3/36. Устройство доплеровского измерителя скорости движущейся поверхности на основе интерферометра с волоконным вводом излучения: заявл. 05.08.2024: опубл. 03.04.2025 / А. Е. Сафронов, Е. А. Чудаков, А. М. Тарасов; заявитель ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ».

17. Погрешности измерения расстояния до препятствия средствами технического зрения и прогноза пути торможения в беспилотных системах управления движением поездов / Л. А. Баранов, П. Ф. Бестемьянов, Е. П. Балакина, А. Л. Охотников // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 6(97). – С. 6-12. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-6-1.
18. Соколов, С. В. Измеритель модуля скорости для подвижных транспортных объектов / С. В. Соколов, А. Л. Охотников // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 4. – С. 16-18. – DOI 10.34649/AT.2024.4.4.005.

ТРАНСПОРТНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 656.13

ПОДСИСТЕМА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В СОСТАВЕ ИТС

Жанказиев С. В., д. т. н., профессор, заведующий кафедрой, МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: sultanv@mail.ru
Гаврилюк М. В., старший преподаватель, МАДИ, Москва, Россия,
E-mail: poligonmadi@gmail.com
Давидчук М. С., начальник отдела, АО «Минимакс-94», Москва, Россия,
E-mail: gip@mm94.ru

АННОТАЦИЯ

В настоящее время подсистемы метеомониторинга изучаются и исследуются как в РФ, так и в зарубежных странах. Активно идёт изучение возможностей взаимодействия подсистемами метеомониторинга не только с обычными автомобилями, но и с высокоавтоматизированными и беспилотными транспортными средствами. Решаются задачи повышения эффективности работы подсистем метеомониторинга как в составе ИТС, так и в целях содержания автомобильных дорог. В статье приведены обоснования требований, предъявляемых к подсистемам метеомониторинга в составе ИТС.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, подсистема метеомониторинга, архитектура ИТС, сервисы ИТС, дорожные датчики.

METEOROLOGICAL MONITORING SUBSYSTEM AS PART OF ITS

Zhankaziev S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, MADI, Moscow, Russia, E-mail: sultanv@mail.ru
Gavrilyuk M. V., Senior Lecturer, MADI, Moscow, Russia,
E-mail: poligonmadi@gmail.com
Davidchuk M. S., Head of Department, Minimax-94 JSC, Moscow, Russia,
E-mail: gip@mm94.ru

ABSTRACT

Currently, the subsystem of meteorological monitoring is being studied and researched both in the Russian Federation and in foreign countries. The possibilities of interaction of the weather monitoring subsystem are being actively explored not only with conventional cars, but also with highly automated and unmanned vehicles. A lot of work is underway to identify best practices for determining the optimal performance of weather monitoring subsystems both as part of ITS and for the maintenance of highways. The article provides a justification for the requirements for weather monitoring subsystems as part of ITS.

Key words: intelligent transport systems, weather monitoring subsystem, ITS architecture, ITS services, road sensors

Введение

В настоящее время подсистема метеомониторинга (ПММ) применяется на автомобильных дорогах общего пользования как в составе ИТС, так и в качестве отдельной подсистемы. Последние 20 лет в России и последние 30-40 лет за рубежом идёт очень активное изучение тематики, связанной с метеомониторингом. Причём изучается метеомониторинг не только как раздел дорожной метеорологии, но и как подсистема ИТС с попытками понять её роль, задачи, назначение и место в архитектуре ИТС

Однако, несмотря на широкое применение как технического, так и информационного обеспечения ПММ, на территории РФ долгое время отсутствовали указания по технике и технологии применения подсистемы для конкретных ситуаций, требования к совместимости программного обеспечения, а также описание требований к структуре информационного обмена между ПММ и модулями ИТС. В частности, не были определены требования к минимальному/оптимальному набору датчиков, типам применяемых датчиков, используемым расчетным моделям, наборам выдаваемой информации и т.д. В 2024 году вступил в действие ГОСТ Р 71094-2024 «Интеллектуальные транспортные системы Подсистема метеомониторинга. Общие требования», который устанавливает требования к подсистеме метеомониторинга, как части интеллектуальной транспортной системы (ИТС).

1. Основные технические, функциональные и эксплуатационные характеристики ПММ и дорожных метеостанций

Наиболее полной нормативной базой в метеомониторинге на сегодня обладает Европейский Союз. США немного отстаёт в плане регламентирования метеомониторинга, как раздела дорожной метеорологии, однако, находится впереди с точки зрения описания работы ПММ в составе ИТС. Российская нормативная база в этом плане крайне скудная т.к. далеко не у многих участников рынка есть понимание роли и задач подсистемы, а также возможностей использования информации с неё [1].

Опыт развития, применения и эксплуатации подсистем метеомониторинга для всех стран очень различен. В одних странах уже сегодня имеется достаточно передовой опыт использования ПММ в том числе, как части ЦМДД, в некоторых странах – как одной из исполнительных систем ВАТС. Даже на территории Российской Федерации имеется абсолютно разный опыт внедрения и эксплуатации ПММ в зависимости от целей и задач.

На основе анализа зарубежного опыта, а также таких документов, как Распоряжение Минтранса №АК-74-р от 21.03.2022 г., ОДМ 218.8.001-2009, СТО АВТОДОР 8.7-2017, серии EN 15518 и Clarus: Final Draft Concept of Operations, сформирован перечень критериев, которые в дальнейшем были регламентированы в ГОСТ Р 71094-2024:

— требования к техническому обеспечению подсистемы;

— требования к функциональным характеристикам. Стандартизация функциональных характеристик необходима для того, чтобы четко определять круг входных данных, которые должна использовать ПММ в случае их наличия.

— требования к эксплуатационным характеристикам (эксплуатационные диапазоны температур, влажностей и атмосферных давлений, наработка на отказ, классы защиты оболочек). Стандартизация эксплуатационных характеристик необходима для того, чтобы соотнести предоставляемые ИТС сервисы со средствами сбора входных данных ПММ.

— требования к архитектуре. Стандартизация архитектуры ПММ необходима для создания масштабируемой модульной структуры подсистемы для реализации различных задач и предоставления различных сервисов ПММ [3].

— требования к алгоритмам сбора, консолидации и хранения данных. Стандартизация алгоритмов сбора, консолидации и хранения данных необходима для определения общих правил обработки информации внутри системы. »»

— требования к интерфейсам взаимодействия. Стандартизация интерфейсов взаимодействия необходима для создания подсистем метеомониторинга ИТС, не завязанных на одном производителе периферийного оборудования.

2. Место подсистемы метеомониторинга в архитектуре ИТС

Определение места подсистемы мониторинга в архитектуре ИТС является важным этапом, обеспечивающим дальнейшую эффективную эксплуатацию подсистемы, и соответственно является одним из факторов, влияющих на качественную работу ИТС в целом.

Если рассматривать подсистему метеомониторинга, как один из сервисов ИТС, то можно выделить ряд сервисных доменов и сервисных групп[1], в которых данная подсистема реализует свои сервисные функции (Таблица 1).

Таблица 1

Место подсистемы метеомониторинга в сервисной архитектуре ИТС

№ п/п	Сервисный домен	Сервисная группа	Сервис, предоставляемый подсистемой
1	Информирование участников движения	Дотранспортное информирование	Предоставление данных об ожидаемых погодных условиях
2		Информирование в процессе передвижения	Предоставление данных о текущих условиях / предупреждение о наступлении неблагоприятных условий
3	Управление дорожным движением и действия по отношению к его участникам	Организация и управление дорожным движением	Предоставления данных о погодных условиях посредством табло переменной информации
4			Прогнозирование погоды на дорогах
5	Управление дорожным движением и действия по отношению к его участникам	Регулирование спроса на услуги транспортной системы	Предоставление информации в подсистему директивного управления ТП / косвенного управления ТП / подсистему информирования участников ДД с помощью ДИТ и ЗПИ
6			Прогнозирование погоды на дорогах в косвенного управления ТП / подсистему информирования участников ДД с помощью ДИТ и ЗПИ
7		Управление обслуживанием транспортной инфраструктуры	Координация управления состоянием дорог и диспетчерского управления транспортом служб содержания с целью эффективного управления строительно-ремонтными работами летом
8			Координация с сервисными группами обеспечения противогололедной обстановки, управления состоянием дорог и диспетчерского управления транспортом служб содержания с целью эффективного управления работами по содержанию зимой
9	Конструкция транспортных средств	Готовность составляющих безопасного движения	Мониторинг погодных условий и окружающей обстановки с помощью встроенных в ВАТС элементов для наполнения информацией ДЦКДД.
10	Мониторинг погодных условий и состояния окружающей среды	Мониторинг погодных условий	Управление информацией о погоде на дорогах
11			Прогнозирование погоды на дорогах
12			Мониторинг лавиноопасности

[1] ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011 «Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы»

Подсистема метеомониторинга обеспечивает сбор и анализ данных метеоусловий, необходимых для реализации сервисов. Например, для сервисного домена «конструкция транспортных средств» подсистема метеомониторинга служит как инструмент получения данных о метеоусловиях, необходимых для функционирования кооперативных ИТС и данных для динамической цифровой карты дорожного движения.

Перечень сервисов, приведённых в ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011, не является исчерпывающим. Набор функций подсистемы метеомониторинга позволяет реализовывать ряд сервисов в сервисной группе «организация и управление дорожным движением» реализуя такие сервисы как динамическое ограничение скоростного режима, предоставление информации при реализации сервисов автоматизированного распыления реагента на дорожное полотно и т.д.

Подсистема метеомониторинга обеспечивает реализации функций сбора и анализа метеоданных. Функции, которые реализует ПММ, определяют ее место в функциональной архитектуре ИТС.

Как часть проекта ИТС подсистема на уровне интеграционной платформы метеомониторинга реализует функции, позволяющие оперировать метеоданными: хранить их, преобразовывать и передавать другим подсистемам. Данные функции необходимы для того, чтобы была возможна реализации функций следующих модулей, входящих в состав интеграционной платформы:

- модуль управления маршрутизированным транспортом;
- модуль управления состоянием дорог;
- модуль автоматизированной системы управления дорожным движением;
- модуль подключенных ВАТС и БПТС.

Основной функцией уровня инструментальной подсистемы является мониторинг погодных условий, обеспечивающий следующие процессы:

- сбор данных, характеризующих погодные условия;
- сбор данных о состоянии дорожного покрытия;
- анализ метеоданных;
- формирование прогнозов метеообстановки.

На уровне элементов и оборудования локального проекта ИТС (ЛП ИТС) подсистемой метеомонторинга обеспечивается реализация следующих функций:

- определение температуры воздуха;
- определение относительной влажности воздуха;
- определение атмосферного давления;
- определение типа осадков;
- определение количества осадков;
- определение направления ветра;
- определение концентрации дорожного реагента;
- определение скорости ветра;
- определение оптической видимости;
- определение температуры дороги;
- определение толщины слоя воды на поверхности дорожного полотна;
- определение толщины слоя снега на поверхности дорожного полотна;
- определение наличия льда на поверхности дорожного полотна.

В физической архитектуре подсистема метеомониторинга находится на уровне инструментальных подсистем ИТС.

Данные о текущих погодных условиях, собираемые подсистемой метеомониторинга, используются как для анализа потенциальных рисков возникновения нештатных »»

ситуаций и формирования плана мероприятий по снижению рисков безопасности дорожного движения в долгосрочной перспективе, так и для предоставления данных отдельным модулям интеграционной платформы [9], таким как:

- модуль управления маршрутизированным транспортом;
- модуль управления состоянием дорог;
- модуль автоматизированной системы управления дорожным движением;
- модуль подключенных ВАТС и БПТС.

В модуле управления маршрутизированным транспортом подсистема метеомониторинга обеспечивает сбор данных, необходимых для работы подсистемы диспетчерского управления служб содержания дорог.

В модуле управления состоянием дорог подсистема может служить для определения ненормированных эксплуатационных условий дорожного полотна и инфраструктуры, обеспечивать принятия решений по распылению реагента подсистемой обеспечения противогололедной обстановки, борьбы со снежным накатом и др. [2, 6, 7]

В модуле автоматизированной системы управления дорожным движением подсистема метеомониторинга обеспечивает сбор данных для функционирования как косвенного, так и директивного управления. При косвенном управлении метеоданные, передаваемые подсистемой, необходимы для обеспечения информирования пользователей о неблагоприятных погодных условиях. В директивном управлении подсистема может применятся, например, при динамическом ограничении скорости в связи с неблагоприятными погодными условиями [4, 5].

В модуле подключенных ВАТС и БПТС данные метеомониторинга необходимы для обеспечения работы сервисов кооперативных ИТС, а также для предоставления данных динамической цифровой карте дорожного движения (ДЦКДД), в том числе для обеспечения работы ВАТС и БПТС.

Модуль подсистемы метеомониторинга, как часть интеграционной платформы, отвечает за выявление и прогнозирование триггерных нештатных событий, которые могут негативно повлиять на эффективность работы транспортной системы. Принятие решений при формировании сценария обеспечивается модулем управления формирования сценариями интеграционной платформе, в том числе на основе данных, поступающих из Росгидромета, что позволяет добиваться более точных прогнозов. Данный модуль направлен на обеспечение интеграции данных, поступающих от подсистемы метеомониторинга другим подсистемам ИТС, что позволяет обеспечивать выбор оптимального сценария их работы, при выявлении нештатных событий.

Предлагается архитектура подсистемы метеомониторинга, представленная на рис. 1.

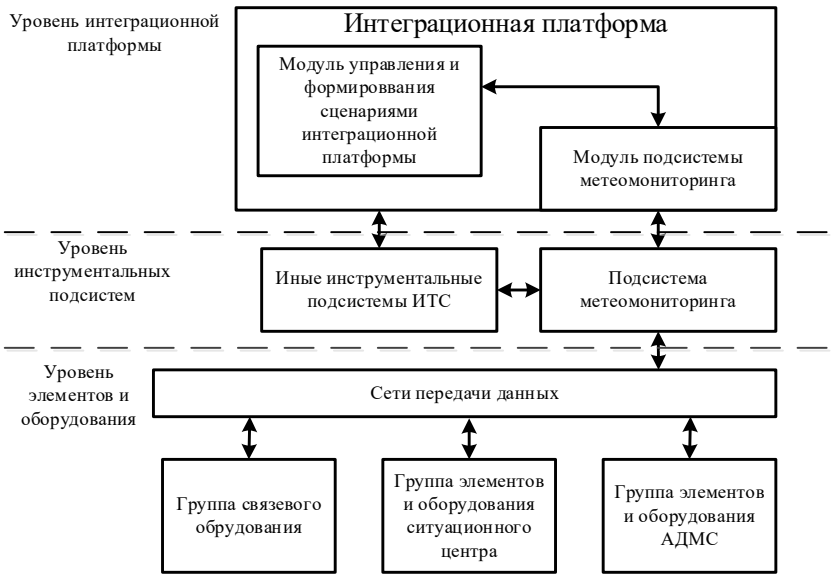

Рис. 1 – Архитектура подсистемы метеомониторинга

3. Анализ оборудования, предлагаемого отечественными и иностранными производителями

Для анализа выбрано оборудование четырех российских и двух иностранных производителей периферийного оборудования и программного обеспечения:

- АО «Минимакс-94»,
- АО «Трасском»,
- ООО «ОКБ Бурстройпроект»,
- ООО «ИРАМ»,
- Boschung,
- Lufft.

Компания Lufft поставляет различные решения для рынка подсистем метеомониторинга. В составе их датчиков есть контактные и бесконтактные датчики температуры и состояния дороги, датчики видимости и осадков, а также компактные метеостанции.

Компания Boschung поставляет для рынка подсистем метеомониторинга контактные и бесконтактные датчики температуры и состояния дороги, датчики видимости и осадков, а также компактные метеостанции.

ООО «ОКБ Бурстройпроект» имеет в своем составе бесконтактные датчики температуры и состояния покрытия, компактный метеофункционал и датчик температуры и влажности грунта.

Компания АО «Трасском» поставляет бесконтактный датчик температуры и состояния покрытия, компактный метеофункционал, датчик температуры грунта, датчик видимости, датчик осадков и датчик атмосферных параметров.

Компания ООО «ИРАМ» поставляет оборудование, программное обеспечение и другие решения как для автомобильно-дорожной отрасли, так и для авиационной отрасли. Данная компания поставляет как компактный метеофункционал, так и отдельные датчики, измеряющие температуру, относительную влажность воздуха, скорость и направление ветра (ультразвуковые и механические), также датчики, измеряющие атмосферное давление и датчики осадков. Также компания поставляет контактные и бесконтактные датчики определения температуры и состояния поверхности дорожного полотна.

Компания АО «Минимакс-94» поставляет контактные датчики температуры и состояния покрытия, датчики температуры и относительной влажности воздуха, датчик атмосферного давления, датчик осадков, датчики скорости и направления ветра, датчик видимости, датчик температуры и влажности грунта.

Компании ООО «ОКБ Бурстройпроект», АО «Минимакс-94» и АО «Трасском» имеют свое собственное специализированное программное обеспечение. Компания Lufft не имеет собственного специализированного программного обеспечения.

Все датчики отечественных производителей соответствуют требованиям постановления Правительства РФ.

Что касается измерения толщины отложений на поверхности дороги, то, поскольку данные показатели не нормированы, следует обратиться к зарубежному опыту. Поскольку толщина снега в ЕС измеряется в диапазоне от 0 до 0,5 м с погрешностью 2 см (требования EN), такую толщину измерений невозможно обеспечить только бесконтактным датчиком дороги. В связи с чем производители бесконтакных датчиков (Vaisala, Lufft, Boschung) либо ограничивают данный показатель 10 см, либо просто в датчиках такой функционал отсутствует. Требованиями Правительства РФ предъявляется требование по измерению толщины слоя снега от 0 до 1 м с погрешностью 1 см, эти требования также невозможно обеспечить бесконтактными датчиками дороги. В связи с чем, в ГОСТ будет сделана оговорка, что любой параметр может быть измерен как одним датчиком, так и набором датчиков. Толщина слоя воды в европейских нормативных документах ограничена 3 мм (требования EN), в связи с чем датчики компании Lufft измеряют в таком же диапазоне, датчики Boschung – до 10 мм. В РФ до принятия »»

ГОСТ Р 71094 2024[2] данный параметр не был нормирован. Предложения по нормированию данного параметра приведены в «Обосновании необходимости стандартизации конкретных технических, функциональных и эксплуатационных характеристик».

Толщина слоя льда датчиками компании Boschung не измеряется, датчиками компании Lufft – до 2 мм, Vaisala – до 10 мм. Связано это с тем, что на дорогах ЕС, как и в РФ, нормативными документами не допускается наличие льда на поверхности дорог.

Обсуждение результатов

Внедрение и развитие подсистемы метеомониторинга (ПММ) в составе интеллектуальных транспортных систем (ИТС) является важным шагом на пути к повышению безопасности и эффективности дорожного движения. Несмотря на значительный международный опыт в данной области, в Российской Федерации долгое время отсутствовали единые нормативные требования к техническому оснащению, функциональным возможностям, архитектуре и информационному обмену в рамках ПММ. Принятие в 2024 году ГОСТ Р 71094-2024 стало важным этапом в формировании унифицированной системы метеомониторинга, что обеспечивает стандартизацию подходов к сбору, обработке и использованию метеорологических данных в транспортной сфере.

Более массовое применение подсистемы метеомониторинга позволит расширить возможности работы ИТС, обеспечить более полную картину текущих условий на участках установки. Это позволит повысить качества работы систем инцидент менеджмента, как в части информирования пользователей и управления транспортными потоками, так и обеспечения эффективности работы служб содержания автомобильных дорог [8, 10].

Интеграция ПММ с модулями, обеспечивающими управление высокоавтоматизированными транспортными средствами, открывает возможности для более точного прогнозирования дорожной обстановки и принятия обоснованных управленческих решений. Например, в рамках реализации сервиса децентрализованных оповещений об окружающих событиях высокоавтоматизированные транспортные средства могут получать сообщения об осадках и гололеде.

Функционирование подсистемы метеомониторинга в составе ИТС положительно скажется на безопасности дорожного движения и позволит оптимизировать работу по содержанию автомобильных дорог в течение всего года, особенно в сложных климатических условиях.

Заключение

В результате выполненного анализа программного и технического обеспечения отечественных и зарубежных компаний можно заключить, что в настоящее время на территории РФ имеется почти полный комплект датчиков отечественной разработки, необходимый для ПММ в рамках различных сервисов и задач. На сегодняшний день, все узлы АДМС всех производителей, присутствующих на рынке РФ, способны работать как в условиях юга России, так и в условиях крайнего Севера (за исключением особой Зоны – Заполярье), поскольку эксплуатационные диапазоны температур способны выдерживать до -50 градусов. Кроме того, существующее программное обеспечение также способно обеспечить все потребности внутреннего рынка ИТС.

»»

[2] ГОСТ Р 71094 2024 «Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема метеомониторинга. Общие требования»

Список использованной литературы

1. S. V. Zhankaziev, A. I. Vorobyev, M. V. Gavrilyuk, T. V. Vorobyeva and D. Y. Morozov, "Creation of a Certification System for Ensuring the Safety of Information Transfer Between Vehicles and Intelligent Road Infrastructure in the Russian Federation," 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russia, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416127.
2. Самодурова, Т. В. Учет микроклиматичеких особенностей участка автомобильной дороги при зимнем содержании / Т. В. Самодурова, М. С. Давидчук, С. С. Салиев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2025. – № 1(77). – С. 123-136. – DOI 10.36622/2541-7592.2025.77.1.012. – EDN ODFOES.
3. Развитие архитектуры интеллектуальных транспортных систем / Е. О. Андреев, С. В. Жанказиев, В. В. Зырянов, А. С. Павлов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 38-43. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-1-38-43. – EDN HNTJMK.
4. Солодкий, А. И. Цифровая трансформация транспортной отрасли Российской Федерации. Перспективы развития / А. И. Солодкий, С. С. Евтюков, Н. В. Черных // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2024. – № 1(76). – С. 91-99. – EDN DXSECG.
5. Салиев, С. С. Подсистема метеорологического контроля в автоматизированных системах управления дорожным движением / С. С. Салиев, Т. В. Самодурова // Научная опора Воронежской области : сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий, Воронеж, 03–28 апреля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. – С. 178-180. – EDN MTHYUG.
6. Коденцева Ю.В. Оценка эффективности стратегий зимнего содержания дорог с использованием метеорологических параметров / Ю.В. Коденцева Ю.Д. Божескул // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. – 2019. – С. 504-511.
7. Stawowy, M.; Olchowik, W.; Rosiński, A.; Dąbrowski, T. The Analysis and Modelling of the Quality of Information Acquired from Weather Station Sensors. Remote Sens. 2021, 13, 693. https://doi.org/10.3390/rs13040693 Turing A.M. Computing machinery and intelligence. Parsing the Turing Test, Springer (2009), pp. 23-65
8. Дронсейко, В. В. Социально-психологические факторы в предикативной аналитике уровня конфликтности в транспортном потоке на примере г. Москвы / В. В. Дронсейко, А. М. Меркович, Д. А. Саданова // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2024. – № 2(40). – EDN DSLQSQ.
9. Classification of Integration Platforms of Intelligent Transport Systems / A. I. Vorobyev, A. A. Koveshnikov, M. V. Gavrilyuk [et al.] // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2023. – Vol. 6, No. 1. – P. 525-529. – DOI 10.1109/IEEECONF56737.2023.10092164. – EDN CTAAZL.
10. Оценка безопасности движения в зимний период на различных этапах жизненного цикла дороги / Т. В. Самодурова, А. В. Соврасова, Н. Ю. Алимова, О. В. Гладышева // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 4(72). – С. 107-120. – DOI 10.36622/VSTU.2023.72.4.009. – EDN MDGGAP.

КОНТАКТЫ

Редакция

+7 (916) 433-60-72
journal@vniias.ru

Адрес

АО «НИИАС», Россия, г. Москва, 109029
Нижегородская ул., д.27, стр. 1

+7 (495) 967-77-06
info@vniias.ru

НИИАС