



asi-journal-rzd.ru

АВТОМАТИКА СВЯЗЬ ИНФОРМАТИКА

2

2026



Издается
с 1923 года

2 Надежная опора для работников



9 Системы связи на базе атмосферных ИК-каналов и беспилотных летательных аппаратов

32 В приоритете мультифункциональные проекты и тиражирование лучших идей

Обращение

Дорогие друзья, коллеги!

Одним из приоритетных направлений развития современных транспортных систем является внедрение беспилотных технологий. Особая важность и актуальность перехода к беспилотному транспорту была отмечена президентом нашей страны В.В. Путиным в ходе совещания, состоявшегося в середине января на площадке электродепо «Аминьевское» Московского метрополитена. Глава государства подчеркнул, что необходимо формировать национальную индустрию беспилотного транспорта на суверенной технологической и производственной платформе с опорой на собственные научные и инженерные школы.

ОАО «РЖД» входит в число лидеров в деле разработки и внедрения автономных транспортных средств. На станции Лужская Октябрьской железной дороги успешно проведены эксплуатационные испытания маневровых тепловозов ТЭМ7А, оборудованных системами автоматического управления и технического зрения. С августа 2024 г. на Московском центральном кольце электропоезд ЭС2Г № 113 «Ласточка» с третьим уровнем автоматизации перевозит пассажиров в режиме подконтрольной эксплуатации. Научные и инженерные центры ОАО «РЖД» накапливают опыт внедрения беспилотных технологий и готовятся к их тиражированию в масштабе всей сети железных дорог.

На страницах отраслевых научно-технических журналов регулярно публикуются материалы о разработках беспилотной железнодорожной техники. Ее массовое развертывание потребует изменения устоявшихся технологических процессов, и отрасль должна быть к этому готова.

Познавательного чтения!



Валерий Танаев,
заместитель генерального директора —
главный инженер ОАО «РЖД»



Обложка
Станция Сарепта Приволжской дороги
(фото Антипова Д.А.)



2 Февраль 2026

Ежемесячный научно-теоретический
и производственно-технический журнал

Содержание

Информация

Надежная опора для работников. *Наумова Д.В.* _____ 2

Телекоммуникации

Применение технологии SFN в технологических сетях LTE-1800 TDD. *Лобеев Д.П., Иванов В.Г., Тараненко А.Ю.* _____ 6

Системы связи на базе атмосферных ИК-каналов и беспилотных летательных аппаратов. *Журавлёва Л.М., Горелик А.В., Легкий Н.М., Бороздин А.А.* _____ 9

Новая техника и технология

Инвариантные классификаторы состояний рельсовых линий. *Тарасов Е.М., Тарасова А.Е.* _____ 14

Определение зависимости импеданса рельсовой линии от положения шунта. *Ходкевич А.Г., Соколов М.М., Рыбина Л.А.* _____ 17

Отечественные цифровые решения на полигоне агротерминала. *Голубев Ал.С., Семенов С.А.* _____ 20

Цифровые технологии

Транспортные экосистемы как инструмент механизма устойчивого развития. *Чуверина О.Г., Литовченко В.Б.* _____ 22

Событийно-ориентированная модель в обучении с подкреплением. *Булавин Ю.П., Игнатьева О.В.* _____ 26

Обмен опытом

Освоение цифрового пространства Сахалина. *Манжос А.И., Антошин Р.А.* _____ 30

Влияние средств диагностики и мониторинга на производительность труда. *Казменкина С.Л.* _____ 31

Бережливое производство

В приоритете мультифункциональные проекты и тиражирование лучших идей. *Назимова С.А.* _____ 32

Историю пишут люди

Никогда не останавливайтесь на достигнутом... *Москвина Е.А.* _____ 34

Новости РЖД

Результаты эффективной деятельности. *Наумова Д.В.* _____ 36

За рубежом

Новости. _____ 38

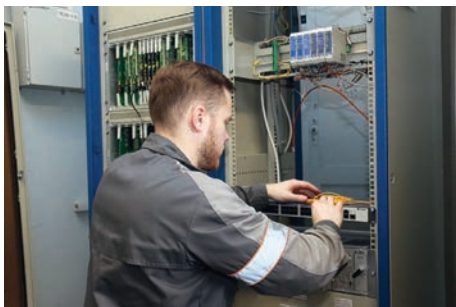
2



20



30



36



НАДЕЖНАЯ ОПОРА ДЛЯ РАБОТНИКОВ

2025 год прошел под знаком 120-летия РОСПРОФЖЕЛ. Российский профессиональный союз железнодорожников и транспортных строителей – один из старейших и крупнейших в профсоюзном движении страны. За это время менялись лидеры и названия организации, но неизменной оставалась главная задача профсоюза – защита прав и социальных гарантий всех его членов.

■ Важным итогом прошлого года стало подписание коллективного договора ОАО «РЖД» на 2026–2028 гг. – флагмана среди всех коллективных договоров, заключаемых первичными профсоюзными организациями РОСПРОФЖЕЛ, как по охвату работников, неработающих пенсионеров, членов их семей (распространяется почти на 2 млн чел.), так и по наполняемости гарантиями, компенсациями и льготами.

«Безусловно, это основополагающий документ, который определяет всю социальную политику ОАО «РЖД». Он проведен с полным соблюдением юридической процедуры, предусмотренной трудовым законодательством. Впервые на комиссию представлен документ, сформированный рабочей группой без единого разногласия», – отметил председатель РОСПРОФЖЕЛ Д.С. Шаханов.

В документе сохранены все действующие гарантии, льготы и меры поддержки работников, проиндексированы социальные выплаты.

По сравнению с предыдущим документом в новый внесено 78 дополнений и редакционных изменений, уточняющих предоставление гарантий и льгот, в том числе в связи с изменениями законодательства РФ.

Введено новое понятие «работник – участник специальной военной операции». Таким работникам и членам их семей будут предоставляться дополнительные гарантии и льготы, большая часть которых предусмотрена в отдельных локальных нормативных актах компании.

Сделан акцент на сохранение и укрепление традиционных ценностей в семьях железнодорожников и развитие активной гражданской позиции, обеспечение условий для реализации наставничества и осуществление дополнитель-

ных выплат за эту деятельность, поддержку мероприятий, направленных на формирование и укрепление патриотических чувств, гордости за достижения страны, уважение к истории и культуре России.

Кроме того, установлена выплата заработной платы работнику за первую половину месяца в размере 50 % месячной тарифной ставки (оклада) с учетом постоянных доплат и надбавок.

Преимущественное право оставления на работе при сокращении численности штата получили работники, имеющие стаж работы не менее пяти лет в качестве уполномоченного (доверенного) лица по охране труда профсоюза и (или) общественного инспектора по безопасности движения.

Работодатель теперь обязан приостанавливать использование рабочих мест, если условия труда на них по результатам специальной оценки отнесены к опасным, до устранения оснований, послуживших установлению опасного класса условий труда.

Дети работников, погибших в результате несчастного случая на производстве, будут получать дополнительные выплаты по 10 тыс. руб. ко Дню защиты детей (1 июня)

и Дню знаний (1 сентября) сверх ежемесячной выплаты в размере 10 тыс. руб.

Право на бесплатный проезд теперь имеют дети неработающих пенсионеров в возрасте от 18 до 24 лет, обучающиеся очно в учебных заведениях теперь не только железнодорожного, но и иного профиля, в случае заключения договоров о целевом обучении с целью последующего трудоустройства (при отказе от бесплатного проезда самих неработающих пенсионеров).

Заключены Отраслевые соглашения по организациям железнодорожного транспорта и по учреждениям образования, подведомственным Федеральному агентству железнодорожного транспорта, на 2026–2028 гг. Документы не только сохранили, но и расширили социальные гарантии.

Профсоюз проводит системный анализ динамики номинальной и реальной заработной платы работников и направляет предложения по внесению улучшающих для работников изменений и дополнений в системы оплаты труда и премирования в организации железнодорожного транспорта.

В прошлом году ОАО «РЖД» трижды проиндексировало зара-



Подписание коллективного договора ОАО «РЖД»

ботную плату работников. Ее суммарный размер составил 8,98 %.

Считая вопросы вознаграждения работников за труд в ОАО «РЖД» ключевыми, профсоюзный комитет участвовал совместно с работодателем и его представителями в принятии новых мотивационных локальных нормативных актов.

Так, с 1 января 2025 г. минимальный размер материальной помощи к отпуску для всех работников повышен с 25 до 30 %.

В большей части сохранены размеры зональных надбавок работникам функциональных филиалов, а отдельным категориям работников они установлены впервые или увеличены.

Проиндексированы размеры суточных, выплачиваемые работникам ОАО «РЖД» при нахождении в служебных командировках.

Всем работникам, занимающимся наставничеством, установлена ежемесячная надбавка в размере 5 % оклада (месячной тарифной ставки) за одного наставляемого, а по итогам завершения программы наставничества – дополнительно выплачивается денежное вознаграждение в размере 5 % оклада.

В марте прошлого года в соответствии с условиями нового Положения о единовременном вознаграждении работников структурных подразделений филиалов ОАО «РЖД» за обеспечение безопасности движения и вклад в культуру безопасности по итогам

работы за 2024 г. была произведена выплата единовременного вознаграждения 242,4 тыс. работников.

С 1 сентября 2025 г. вступили в действие изменения в Положение о корпоративной системе премирования работников филиалов ОАО «РЖД». Согласно им снижение размера премии работнику в связи с применением к нему дисциплинарного взыскания или допущением им производственного упущения не может приводить к уменьшению размера его месячной заработной платы более чем на 20 %. Внесение данных изменений направлено на защиту трудовых прав работников, ранее таких ограничений установлено не было.

Правовая инспекция труда РОСПРОФЖЕЛ выявила и устранила более 5 тыс. нарушений. С октября 2025 г. на четырех железных дорогах осуществляется пилотный проект по применению риск-ориентированного подхода в профсоюзном контроле.

По результатам проверок хозяйственные организации и их структурные подразделения распределяются в план профсоюзного контроля по определенным категориям риска причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям. Соответственно, чем выше риск, тем больше проверок будет проводиться в данном подразделении или организации. В этом году будут подведены итоги пилота, оценена эффективность

данного подхода и принято решение о целесообразности его распространения на деятельность всех правовых инспекторов.

Техническая инспекция труда РОСПРОФЖЕЛ следит за выполнением требований охраны и условий труда, безопасности на рабочих местах. Техническими инспекторами труда выявлено более 24,8 тыс. нарушений, выдано более 3 тыс. представлений об их устранении. Работодателям направлено 19 требований о привлечении к дисциплинарной ответственности, 638 требований о приостановке работ, в результате сохранены жизнь и здоровье более 6,9 тыс. работников.

Одно из направлений работы технической инспекции – нормотворческая деятельность. Инспекция труда активно рассматривает техническую документацию, участвует в работе комиссий по приемке и постановке на производство новых серий подвижного состава. По мнению профсоюза, на серийных магистральных локомотивах нового поколения должны устанавливаться санитарные узлы модульного типа, включающие умывальник и туалет, с гарантией его работоспособности в период между плановыми видами технического обслуживания.

Мотивация представителей общественного контроля имеет немаловажное значение и проводится как со стороны работодателей, так и профсоюзных организаций всех уровней.



Экскурсия в рамках проекта «Узнай свою страну»

Наиболее активные уполномоченные по охране труда получили дополнительную премию, профсоюзные награды. Ежегодно проводится конкурс «Лучший уполномоченный по охране труда».

В программе II Чемпионата профессионалов ОАО «РЖД» в Екатеринбурге дебютировала конкурсная площадка «Общественный контроль за охраной труда», организованная РОСПРОФЖЕЛ. Участники показали мастерство в формировании личных планов работы, обеспечении пожарной безопасности, расследовании несчастных случаев, поиске нарушений, использовании средств защиты и даже в практическом спасении пострадавших.

Все профсоюзные программы нацелены на создание условий для повышения качества жизни и работы членов РОСПРОФЖЕЛ и их семей. Этим целям служат организация детского отдыха, семейное санаторно-курортное лечение, занятия спортом, пропаганда здорового образа жизни.

Теперь работники полигонов Забайкальской, Дальневосточной дорог и участков БАМа могут получить компенсацию стоимости проезда поездом до удобного им аэропорта вылета (раньше – только до ближайшего). Продлена возможность замены бесплатного проезда по личным надобностям поездом на авиаперелет для сотрудников Калининградской дороги. Исключено ограничение срока действия распоряжения о порядке компенсации многодетным работникам ОАО «РЖД» расходов на оплату стоимости проезда и провоза багажа к месту проведения отпуска на курортах юга России и обратно.

Организациями профсоюза было проведено почти 1,4 тыс. спортивных мероприятий на всех железнодорожных узлах.

Масштабным велопробегом «Две Победы», прошедшим через всю страну, отметили члены профсоюза 80-летие Победы над фашистской Германией и милитаристской Японией, а также 120-летие РОСПРОФЖЕЛ.

Его участниками стали более 7,5 тыс. работников магистралей и их дети, ветераны транспортной отрасли. За 120 дней они проехали более 15 тыс. км.

Велосипедисты проезжали через знаковые места, связанные с военной историей. По пути они



На велопробеге «Две Победы»

побывали в 152 населенных пунктах и провели более 70 торжественных митингов, акций памяти у мемориалов героям, концертов и флешмобов.

В Кисловодске прошел финал IV Железнодорожных игр РОСПРОФЖЕЛ «Мы вместе». На узлом и дорожном уровнях игр участвовало более 13 тыс. спортсменов и 12 тыс. членов их семей. Кроме того, состоялся Кубок по хоккею с шайбой ОАО «РЖД» и РОСПРОФЖЕЛ, онлайн-марафон и многое другое.

По профсоюзным путевкам отдохнуло более 15 тыс. его членов, 38 % из них вместе со своими семьями. В экскурсионно-туристических поездках на зимний Байкал, в Великий Устюг, на Камчатку и другие места приняли участие 25 тыс. железнодорожников.

В прошлом году РОСПРОФЖЕЛ организовал сопровождение в детские оздоровительные лагеря 23,8 тыс. детей. Более 1,5 тыс. ребят приняли участие в новогодней программе «Узнай свою страну» в Москве, Санкт-Петербурге и Сочи.

Актуализирована Концепция молодежной политики РОСПРОФЖЕЛ, действует программа «Время молодых», на участие в которой подано свыше 11 тыс. заявок через личный кабинет члена профсоюза.

Более 32 тыс. человек стали участниками ежеквартальных Дней единых действий, посвященных помощи волонтерам, участвующим в очистке береговой линии Черного моря, благодарности коллегам, истории профсоюза, культурным особенностям и обычаям регионов России.



Участники программы «Время молодых»



Во время семинара «Женщины РОСПРОФЖЕЛ»

По итогам 2025 г. Молодежный совет РОСПРОФЖЕЛ стал лучшим молодежным советом среди отраслевых профсоюзов страны.

В дорожных и территориальных организациях РОСПРОФЖЕЛ ведется активная волонтерская деятельность. В прошлом году проведено более 8 тыс. акций и мероприятий, в том числе профсоюзные активисты приняли участие в организации акции «Бессмертный полк» и сопровождали ветеранов на Параде Победы на Красной площади.

Профсоюзом была оказана поддержка в конкурсе «Проводники хороших дел» 14 проектам-победителям в номинации «микрогранты» на общую сумму более 1,4 млн руб.

Девять штатных и выборных работников РОСПРОФЖЕЛ стали

участниками VI Форума волонтеров ОАО «РЖД». Четырем из них был вручен нагрудный бронзовый знак «Волонтер РЖД».

На сегодняшний день РОСПРОФЖЕЛ занимает лидирующие позиции по уровню развития цифровых сервисов, став первым профсоюзом России, внедрившим полноценный электронный сервис для своих членов – личный кабинет члена профсоюза.

Функционал личного кабинета постоянно развивается. В нем представлен широкий спектр услуг: получение скидок в рамках программы лояльности, оплата профсоюзных путевок и экскурсий, расчет стоимости страхования от потери профпригодности, консультации по вопросам защиты трудовых прав и получения социальных льгот и гарантий и др.

В ноябре прошлого года прошло пилотное тестирование системы учета и поощрения активностей членов профсоюза. Участникам пилота в личном кабинете «ПрофАктив Банк», появилась возможность получать профсоюзные очки (ПрофОчки) за разные активности. Все накопленные очки можно обменять на товары и услуги из каталога поощрений.

Продолжается развитие программы лояльности РОСПРОФЖЕЛ, которая дает возможность членам профсоюза получать скидки и преференции на товары и услуги, предоставляемые компаниями – партнерами программы.

Продолжен социальный проект «Женщины РОСПРОФЖЕЛ» для председателей профсоюзных организаций, впервые избранных на выборную должность. На обучающем семинаре 84 женщины – председатели ППО изучили нюансы правозащитной деятельности и охраны труда, работы в системе «1С Документооборот», взаимодействия с работодателем.

Международная деятельность РОСПРОФЖЕЛ в прошлом году была направлена на развитие сотрудничества с членами Международной Конфедерации профсоюзов железнодорожников (МКПЖ), реализацию Меморандумов о приграничном взаимодействии и сотрудничестве.

Совет по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества на 82 заседании в Душанбе одобрил инициативу РОСПРОФЖЕЛ по созданию постоянной действующей Комиссии по кадрово-социальной политике и гуманитарному сотрудничеству.

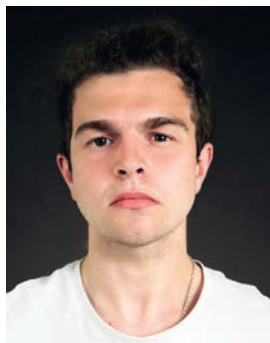
У комиссии широкий спектр задач: совершенствование и развитие механизмов сотрудничества участников Совета в области кадровой и социальной политики, коллективно-договорного регулирования трудовых отношений, культуры, образования, науки, информации и массовых коммуникаций; проведение совместных конкурсов профессионального мастерства.

Подготовлено по материалам Информационного центра РОСПРОФЖЕЛ НАУМОВОЙ Д.В.

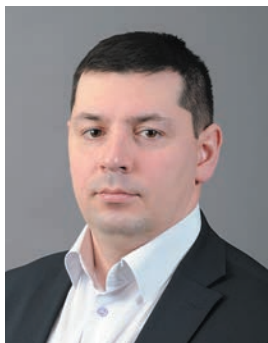


Заккрытие IV Железнодорожных спортивных игр «Мы вместе»

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SFN В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СЕТЯХ LTE-1800 TDD



ЛОБЕЕВ
Дмитрий Петрович,
Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I,
кафедра «Электрическая
связь», аспирант,
Санкт-Петербург, Россия



ИВАНОВ
Виктор Геннадьевич,
Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I,
кафедра «Электрическая
связь», старший преподаватель,
Санкт-Петербург, Россия



ТАРАНЕНКО
Артём Юрьевич,
Гипотрансигналсвязь –
филиал АО «Росжелдорпроект»,
главный инженер проекта,
Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: LTE-1800 TDD, железнодорожный транспорт, SFN, радиосвязь, проектирование радиосетей

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения одночастотных сетей (SFN) на базе LTE-1800 TDD для железнодорожного транспорта. Оцениваются преимущества и ограничения SFN при использовании на высокоскоростных магистралях. Методика включает аналитическое моделирование многолучевого канала (4 ответвления), анализ требований стандартов 3GPP и архитектурных сценариев оборудования BBU/RRU. Показано, что SFN повышает отношение сигнал/шум в зоне перекрытия, сглаживает «границы сот» для широко-вещательных сервисов, но жестко ограничен длиной циклического префикса и др. Установлено, что в LTE работоспособная SFN практически реализуема в пределах одного BBU.

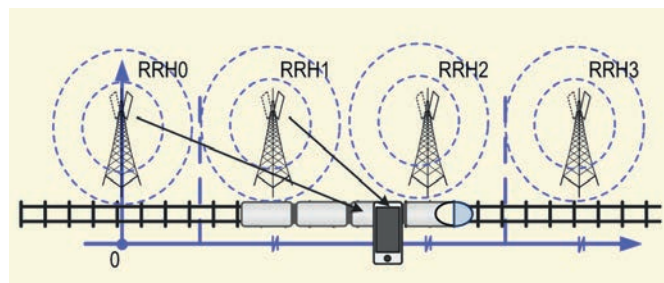
■ Обеспечение устойчивой и надежной связи при движении высокоскоростных поездов – сложная техническая задача. Одну из проблем представляет частый хэндовер (передача обслуживания) между базовыми станциями (БС), который может приводить к обрывам связи. Эффективным решением данной проблемы для групповых и широко-вещательных сервисов является технология одночастотной сети SFN (Single Frequency Network).

SFN – это архитектура, при которой несколько географически разнесенных базовых станций (eNodeB) синхронно передают идентичный сигнал на одной и той же несущей частоте, т.е. это интеллектуальная технология, которая превращает потенциальную интерференцию в полезный когерентный сигнал. В отличие от простого повторного использования частоты в SFN передается один и тот же транспортный блок, синхронизированный по времени и фазе [1].

Основные принципы построения сети радиосвязи с применением технологии SFN на железнодорожном транспорте включают работу множества БС на одной

несущей частоте, строгую временную и фазовую синхронизации БС (через GPS или протокол точного времени PTP). Также они включают передачу идентичного потока данных (широковещательного трафика, служебной информации, голоса диспетчера и др.), когерентное сложение сигналов от разных БС в приемнике пользовательского оборудования (UE) благодаря чему увеличивается результирующая мощность сигнала.

Схема реализации технологии SFN на железнодорожном транспорте показана на рисунке. Здесь в



сценарии высокоскоростного объекта, работающего в одночастотном режиме, для основной полосы частот использован канал с четырьмя ответвлениями (четырьмя ближайшими радиостанциями) [2].

Главное преимущество SFN проявляется в зоне перекрытия сот. Традиционно сигналы от двух БС, работающих на одной частоте, интерферируют друг с другом, снижая соотношение сигнал/помеха (SINR) до критического уровня. В SFN эти сигналы, будучи идентичными и синхронными, комбинируются в приемнике. Для корректной обработки совмещенных сигналов с разными задержками используется OFDM-демодуляция с циклическим префиксом CP [3]. Циклический префикс CP предусматривает добавление части конца символа в начало следующего для устранения межсимвольной интерференции (ISI) и сохранения ортогональности поднесущих частот в каналах с многолучевым распространением. Таким образом, SFN превращает потенциальную интерференцию в полезный сигнал с улучшенным соотношением сигнал/помеха.

Внедрение SFN в инфраструктуру LTE-1800 TDD для железных дорог обеспечивает значимые преимущества, к которым относятся:

- устранение границ сот (отпадает необходимость в частом хэндовере для широкоэмитательных сервисов, критичном при высоких скоростях движения);

- обеспечение равномерного непрерывного покрытия в сложных зонах (тоннелях, удаленных местностях, на мостах и др.);

- улучшение SINR благодаря тому, что в зонах перекрытия сигналы от разных БС складываются, а не интерферируют, при этом повышается качество связи;

- снижение сигнальной нагрузки за счет освобождения сети от избыточной сигнализации, связанной с частыми хэндоверами;

- поддержка широкоэмитательных сервисов (информации о расписании, аварийных сообщений и др.);

- легкое расширение для многоадресной рассылки, совместимость с MBSFN (Multicast-Broadcast SFN) – технологией, используемой для одновременного распределения цифрового контента между множеством пользователей.

Однако вместе с преимуществами, технология SFN имеет ограничения, которые важно учитывать при проектировании. Так, она предъявляет высокие требования к синхронизации по времени: все БС должны передавать сигнал с синхронизацией менее 1 мкс. Разница во времени прихода сигналов в UE не должна превышать длину CP, иначе возникает деструктивная межсимвольная интерференция.

Кроме того, эта технология имеет ограниченную длину SFN-сегмента из-за CP, создает ограничение максимального расстояния между БС в одном SFN-сегменте. Причем сеть можно строить только на коротких/средних участках (например, 3–5 БС на 10 км), иначе нужна ее перестройка.

Поскольку SFN ориентирована на широкоэмитательный трафик, она не применима для индивидуальных соединений, таких как голосовые вызовы машиниста. Для них между БС по-прежнему требуется хэндовер. При этом все БС должны передавать один и тот же трафик в одинаковые слоты, что требует централизованного управления планированием, нет возможности гибкого использования ресурсов под локальную нагрузку.

Эта технология имеет низкую отказоустойчивость. Выход из строя одной БС в SFN приводит к ухудшению SINR во всей зоне перекрытия, создавая «дыры» в покрытии, поскольку резервирование в SFN отсутствует. Следует отметить, что при сложной многолучевой обстановке (например, в тоннелях, между вагонами) SFN не гарантирует стабильное покрытие. Возможна деструктивная интерференция, когда два сигнала приходят в противофазе и происходит глубокое замирание. Это особенно критично для высокоскоростного движения.

Для корректной работы SFN необходимо обеспечивать точную синхронизацию по времени, фазовую и частотную синхронизации, а также правильный выбор длины CP. Например, на участке располагаются две БС на расстоянии 8 км друг от друга, абонентские станции (AC) находятся в середине участка. В этот момент обе базовые станции передают один и тот же широкоэмитательный сигнал с задержкой между ними 27 мкс. Поскольку расширенного циклического префикса в этом случае недостаточно, нужно увеличивать CP или уменьшать расстояние между БС. При этом, если CP достаточен, то UE принимает оба сигнала, демодулирует их как многолучевой канал. SINR улучшается на 3 дБ за счет разнесенного приема.

Резервирование по радиопокрытию – это ситуация, когда две (или более) БС покрывают одну и ту же зону, но при отказе одной другая берет на себя нагрузку, в результате чего связь не прерывается. В классической сети резервирование реализуется через хэндовер и двойное радиопокрытие. В SFN все БС передают один и тот же сигнал, поэтому при отказе одной БС покрытие хотя и ухудшается, но не исчезает полностью, остальные БС продолжают передачу. Однако при этом ухудшается SINR и возможны «провалы» в приеме.

Резервирование при SFN возможно несколькими способами. Среди них:

- гибридная схема через SFN и индивидуальный хэндовер*, при которой диспетчерская связь организуется через SFN, а индивидуальные вызовы – через хэндовер (частичное резервирование);

- применение нескольких стандартов*: например, основной канал на LTE, резервный DMR;

- двойное соединение технологии Dual Connectivity (DC) или CoMP (Coordinated Multi-Point – координированная передача/прием) в 5G*: UE одновременно получает данные от двух БС, при отказе одной БС другая продолжает передачу.

Существует и резервирование за счет двойного комплекта оборудования (1+1). В этом случае при выходе из строя одного комплекта второй автоматически подключается к действующей сети и тем самым потери подключения составляют доли секунды. Однако такой способ резервирования является весьма дорогостоящим (за счет двойного комплекта оборудования каждой площадки). Кроме того, до сих пор не изучено влияние резервного комплекта оборудования на работающую сеть: возможно резервный комплект будет вносить существенные помехи, ошибочные подключения в безаварийных ситуациях, а также удаленные подключения и др. В связи с этим, наиболее перспективной будет реализация резервирования за счет двойного радиопокрытия.

Таким образом, реализация SFN требует жесткой координации между передающими точками. Она воз-

Таблица 1

Показатель	SFN-сеть	Классическая сеть
Покрывание в зоне перекрытия	Улучшается (сигналы складываются)	Ухудшается (интерференция)
Хендовер	Не нужен	Обязателен
Резервирование	Ограниченное (только через дублирование)	Полное (через хэндовер)
Синхронизация	Обязательна от единого BBU	РТР для работы TDD
Гибкость планирования	Низкая	Высокая
Поддержка unicast*	Нет	Да
* Передача данных от одного отправителя к одному получателю, которые идентифицируются по уникальным IP-адресам		

можно только в пределах одной системы обработки, т.е. одного модуля базовой станции BBU (Baseband Unit), который отвечает за цифровую обработку сигнала (модуляцию, кодирование, MIMO), управление ресурсами, обработку протоколов LTE (MAC, RLC, PDCP) и координацию передачи данных между удаленными радиоузлами RRH (Remote Radio Head)/RRU (Remote Radio Unit) – выносные радиомодули базовой станции, обеспечивающие связь между устройствами и сетью. Сравнение показателей SFN и классической сети приведено в табл. 1.

Гарантировать необходимую временную привязку OFDM-символов для всех подключенных к BBU узлов RRU может только общий модуль BBU. Когда RRU подключены к разным BBU, то требуется GPS-синхронизация, а также установка низкой и стабильной задержки при передаче данных по сети.

Планировщик в рамках одного BBU может одновременно назначать идентичные ресурсы для всех RRU.

Следует учитывать, что интерфейсы связи BBU-RRU изначально рассчитаны на топологию «точка-точка» или «точка-зона» в рамках одного управляющего блока. При этом частотно-временные блоки MBSFN (Multicast-Broadcast SFN) поддерживают стандартную функцию LTE в пределах одного eNB. В спецификациях 3GPP технология MBSFN поддерживается внутри одной логической базовой станции (eNodeB).

Физически eNodeB может состоять из одного BBU и нескольких RRU, а также кластера BBU в архитектуре C-RAN (Centralized RAN) с общей панелью управления. Однако между разными eNodeB (разными BBU), не объединенными в один логический узел, MBSFN не работает.

Возможность применения одночастотных сетей SFN между BBU показана в табл. 2.

Таблица 2

Условие	Реализация
Централизованное управление	BBU объединены в единый кластер (облачную RAN) с общим планировщиком
Синхронизация времени и частоты	GPS/PTP на всех BBU, погрешность < 1 мкс
Детерминированная сеть	Сеть передачи данных (например, TSN – Time-Sensitive Networking) с гарантированной задержкой
Общая область MBSFN (MBSFN Area)	Несколько eNodeB объявлены частью одной зоны MBSFN

Таким образом, для технологических сетей железнодорожной радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD рекомендуется архитектура C-RAN, где централизованный BBU управляет множеством RRU, распределенных вдоль железнодорожных путей. Попытки организовать SFN между независимыми BBU без детерминированной сети и общего планировщика приводят к тому, что SFN превращается в источник мощной интерференции.

Относительно рекомендации для железнодорожных сетей можно отметить, что в LTE возможно организовать SFN только в пределах одного BBU. Между разными BBU реализация SFN невозможна, потому что в этом случае требуется жесткая координация между передающими точками, которая допустима только в пределах одной системы обработки, т.е. одного BBU.

Как уже отмечалось, в архитектуре C-RAN реализован централизованный BBU, который может обслуживать множество удаленных радиоузлов RRH. Они распределены вдоль железнодорожных путей, подключены к BBU по волоконно-оптическому кабелю (CPRI или eCPRI).

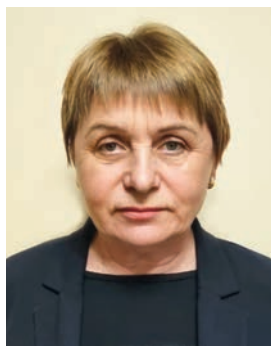
В стандарте 5G-R (будущей системе мобильной связи на железных дорогах – FRMCS) использование технологии SFN будет еще активнее. В ней предусматривается поддержка сервисов многоадресной рассылки, формирование луча для фокусировки сигнала на пути следования, малая задержка для критически важных приложений, а также поддержка CoMP и др.

В заключение следует подчеркнуть, что одночастотные сети представляют собой мощный инструмент для оптимизации радиопокрытия в технологических сетях железнодорожной радиосвязи. Превращая интерференцию в зонах перекрытия в полезный сигнал, SFN позволяет достичь бесшовности для критически важных групповых сервисов. Однако успешная реализация этой технологии в LTE жестко зависит от централизованной архитектуры на основе одного BBU. Переход к стандарту FRMCS и его продвинутым сетевым архитектурам позволит преодолеть многие из существующих ограничений и вывести надежность и эффективность железнодорожной радиосвязи на новый уровень.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лобеев Д.П., Билятинов К.З. О результатах исследования эффекта Доплера в интересах обеспечения устойчивой радиосвязи с высокоскоростными объектами // Современное состояние и перспективы развития инфокоммуникационных сетей специального назначения : сборник IV Межвузовская научно-практическая конференция. СПб.: Военная академия связи им. С.М. Буденного, 2025. С. 245–249. EDN: OKOQSY.
2. TS 138 134- V16.04.00. 5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 16.4.0 Release 16). France, ETSI, 2020. 307 p.
3. Лобеев Д.П. Методика использования частотного ресурса при проектировании железнодорожной радиосвязи стандарта LTE-1800 TDD // Первая миля. 2025. № 4. С. 58–68. EDN: DWTRYB.
4. Скрынников В.Г. Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика: учебное пособие. М.: Спорт и культура, 2012. 864 с., ил. EDN: QMXKHV.
5. Ходаковский В.А., Коротченко В.Д. Синтез ортогонального базиса на конечном временном интервале для цифровой обработки сигналов с ограниченным спектром // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2025. № 2 (42). С. 71–82. EDN: NJQEBP.

СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА БАЗЕ АТМОСФЕРНЫХ ИК-КАНАЛОВ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ



ЖУРАВЛЁВА
Любовь Михайловна,
Российский университет
транспорта (МИИТ), кафедра
«Автоматика, телемеханика
и связь на железнодорожном
транспорте», профессор,
д-р техн. наук, Москва, Россия



ГОРЕЛИК
Александр Владимирович,
Российский университет
транспорта (МИИТ), заведу-
ющий кафедры «Системы
управления транспортной
инфраструктурой», профес-
сор, д-р техн. наук, директор
ИТТСУ, Москва, Россия



ЛЕГКИЙ
Николай Михайлович,
Российский университет
транспорта (МИИТ), кафедра
«Управление транспортными
процессами» (РОАТ), профес-
сор, д-р техн. наук, Москва,
Россия



БОРОЗДИН
Артем Александрович,
Российский университет
транспорта (МИИТ), кафедра
«Автоматика, телемеханика
и связь на железнодорожном
транспорте», аспирант,
Москва, Россия

Ключевые слова: атмосферная оптическая связь, беспилотные летательные аппараты, оптическая фазированная антенная решетка, «радиомаяки»

Аннотация. В современных условиях развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) особую актуальность приобретает решение проблемы обеспечения надежной высокоскоростной связи, устойчивой к различным видам помех. Традиционные методы с использованием радиоканалов обладают ограничениями по пропускной способности в условиях сложной электромагнитной обстановки и преднамеренных помех. Решение задачи заключается в переходе на атмосферную оптическую связь (АОС) в инфракрасном (ИК) диапазоне, с помощью которой можно организовать двусторонние каналы. Для этого предложен вариант приема-передающей аппаратуры АОС на основе оптических фазированных антенных решеток (ОФАР), приемников GPS, искусственных нейросетей (ИНС) и каналов «радиомаяков».

■ Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в последние годы стали активно применяться в различных сферах деятельности. В телекоммуникационных системах они используются в качестве базовых станций мобильных сетей связи, а также ретрансляторов сигналов [1]. При этом эффективность выполнения возложенных на них задач во многом зависит от надежной связи между БПЛА и пунктом управления.

Организовать надежные беспроводные каналы с беспилотниками, некоторые из которых перемещаются в пределах сотен километров со скоростью 100 км/ч, – сложная задача. Поэтому для достижения требуемых параметров связи (дальности, качества,

доступности и др.) применяются радиоканалы, например в диапазонах УВЧ и СВЧ [2, 3]. Однако организация таких радиоканалов может быть сопряжена с определенными трудностями, вызванными сложной электромагнитной обстановкой, дефицитом частот и преднамеренными помехами.

Кардинальным способом исключения влияния электромагнитных помех является переход на оптические длины волн. Наиболее перспективным оптическим диапазоном с точки зрения элементной базы приема-передающих устройств может быть инфракрасный (ИК) диапазон. Оптические беспроводные (атмосферные) каналы в ИК-диапазоне сегодня широко применяются в качестве «мостов»

между различными сооружениями [4], а также для межспутниковой связи.

К основным преимуществам атмосферной оптической связи относятся: неподверженность электромагнитным помехам, совместимость с радиосистемами, возможность использования в телекоммуникационных сетях и организация высокоскоростной передачи информации. Вместе с тем АОС имеет и некоторые существенные недостатки, в том числе: большие потери в процессе распространения в атмосфере (затухание за счет поглощения и рэлеевского рассеяния света), зависимость от турбулентности (нестабильного движения воздушных масс), мерцание (случайные изменения показателя преломления), возможное воздействие солнечной засветки. Эти явления зависят от многих факторов, включая погодные условия, время года и суток, координаты местности, рельеф и др. Потери от них необходимо отслеживать и компенсировать [5, 6].

Главная особенность АОС заключается в распространении света в виде светового конуса от лазерного излучателя, оптическая ось которого должна попасть на фотоматрицу (ФМ) фотоприемника (ФП). Однако механические вибрации аппаратуры АОС, проявляющиеся в виде эффекта «беганье пучка» по апертуре приемника, а также негативное влияние погоды могут привести к срыву связи. Поэтому в приемо-передатчиках имеются системы захвата и сопровождения оптической оси канала, а также подстройки оптических балансов. Учитывая, что БПЛА – это подвижные объекты, указанные недостатки АОС могут быть существенным препятствием для организации беспроводных каналов связи в ИК-диапазоне.

В связи с этим для создания телекоммуникационной сети на базе БПЛА и АОС необходима разработка системы двусторонней оптической связи с подвижными объектами. Такая система должна учитывать особенности распространения сигнала в ИК-диапазоне, включая необходимость сопровождения оптических конусов света во время движения беспилотных объектов. Эти операции могут выполняться с помощью оптической фазированной антенной решетки (ОФАР), аналогичной ФАР, применяемой в радиосвязи, например, в абонентских устройствах спутниковой связи Starlink.

Поскольку длина волны в АОС измеряется в нанометрах, устройство ОФАР должно создаваться на элементной базе наноэлектроники, что сопряжено с некоторыми технологическими трудностями. Проблемы в создании ОФАР можно преодолеть благодаря определенным конструктивным решениям, учитывающим принципы формирования конуса света. При этом применение АОС в ИК-диапазоне в телекоммуникационных системах с БПЛА позволит передавать данные со скоростью в несколько десятков Гбит/с, а также строить гибкую сеть без возведения вышек базовых станций.

Ограниченная дальность оптических атмосферных каналов (несколько км) может быть устранена с помощью ретрансляторов на базе БПЛА. Один из возможных вариантов системы двусторонней оптической связи между БПЛА, позволяющей отслеживать перемещения беспилотников и противостоять турбулентности, приведен на рис.1.

На схеме представлены: атмосферный оптический канал LOS (прямой видимости) в ИК-диапазоне для передачи основной информации (например, от видеокамер) с оптическими приемо-передатчиками, включая ОФАР; канал «радиомаяков» для обмена координатами между БПЛА и подстройки оптических осей по координатам БПЛА (с помощью ОФАР); приемники GPS для приема сигналов от спутниковой навигационной группировки и расчета собственных координат БПЛА.

Решение основано на принципе формирования конуса света передающим БПЛА с помощью ОФАР, осуществляемого с учетом координат принимающего БПЛА, и восстановления проекции конуса света (в виде эллипса на ФМ) с помощью искусственной нейросети (ИНС). Это означает, что помимо основного канала связи в ИК-диапазоне, система АОС должна включать навигационные каналы спутниковой связи (в виде приемников GPS), а также канал «радиомаяков» [7] для обмена координатами между БПЛА, входящими в сеть связи.

Предложенный вариант с GPS-навигацией и «радиомаяками» работоспособен только при отсутствии электромагнитных помех от средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). В противном случае приемники GPS, обеспечивающие в настоящее время наилучшие показатели по точности оценки координат, а также модемы радиомаяков будут работать неэффективно. В этом случае перспективным является разработка алгоритмов и устройств оценки координат БПЛА по информации от проекции конуса света на ФМ [8].

Если функционирование систем АОС происходит в условиях, территориально не достигаемых для средств РЭБ, то рассмотренный вариант [8]

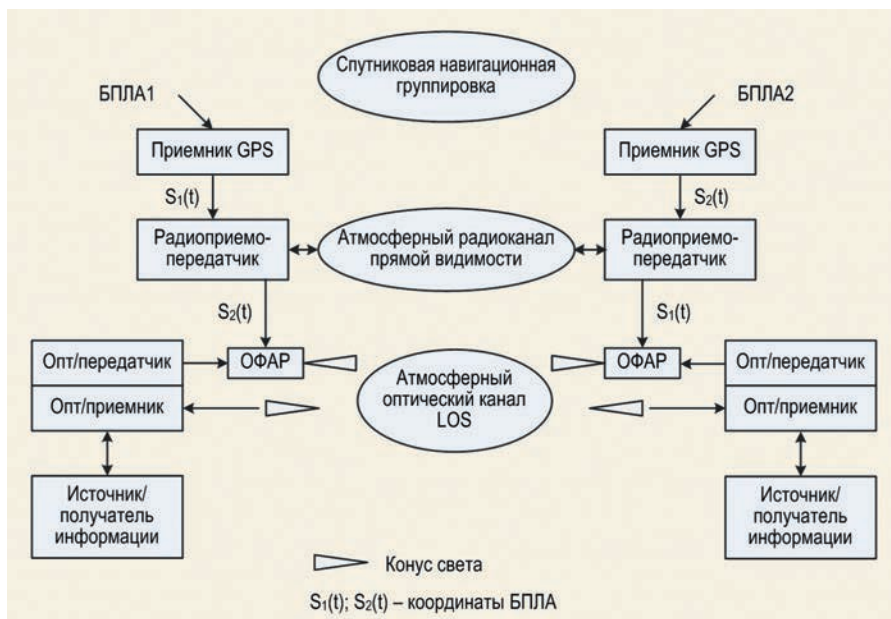


РИС. 1

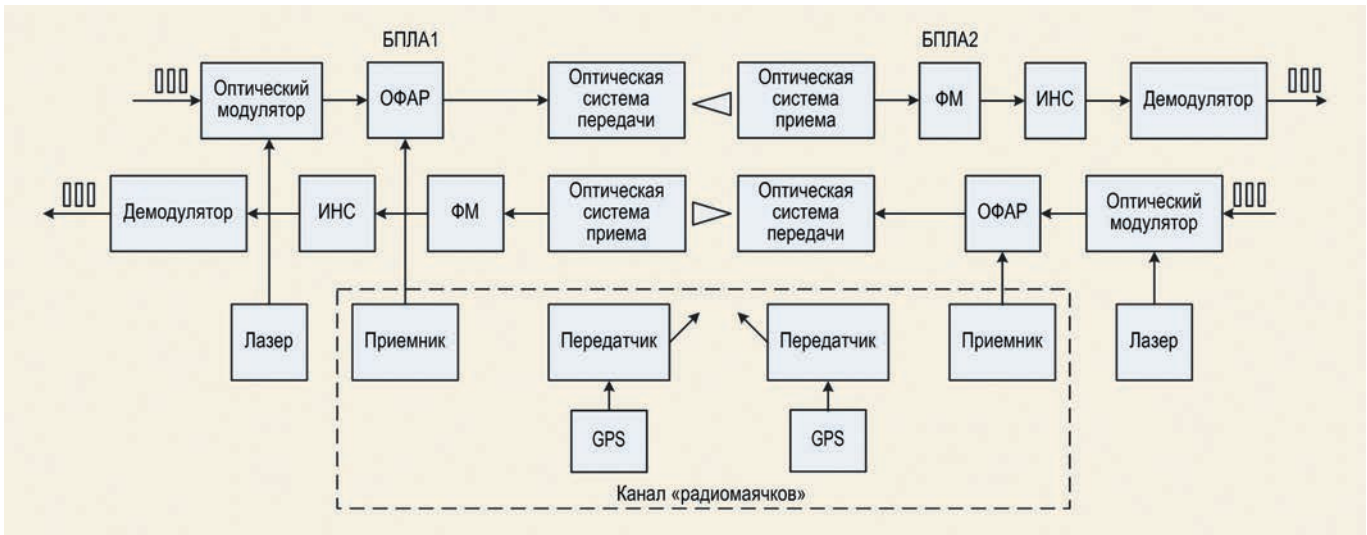


РИС. 2

реализует основное преимущество АОС: высокую пропускную способность и возможность построения гибкой сети связи на базе БПЛА. Кроме этого, обеспечивается высокий уровень безопасности передачи информации; простота установки и возможность использования диапазона частот, не требующего лицензирования.

В стационарных объектах подстройка и сопровождение оптических осей конусов в двустороннем канале АОС осуществляется с помощью дополнительного оптического канала обратной связи [9]. Аналогично для передачи координат БПЛА вместо «радиомаячков» также может применяться атмосферный ИК-канал связи. Однако в этом случае в процессе инсталляции АОС между БПЛА могут возникнуть осложнения из-за того, что для установления связи с подвижным объектом сначала требуется информация о координатах, после чего происходит подстройка лазерного передатчика.

Таким образом, в зависимости от условий работы и поставленных задач возможны разные варианты организации АОС. Для надежной связи целесообразно задействовать две физические среды (оптическую и радио), работающие параллельно. Возможны варианты объединения и трансформации функций каналов, например, сочетание радио- и оптоволоконного каналов; применение автономных навигационных систем; совершенствование алгоритмов инсталляции

и настройки АОС и др. Главное – это поддержание работоспособности АОС и предотвращение срывов связи из-за недостоверности навигационной информации и воздействия опасных явлений в атмосфере.

В предлагаемой схеме организации АОС (см. рис. 1) достоверность навигационных данных БПЛА от приемника GPS зависит не только от выбранной системы спутниковой навигации, но и помехозащищенности модема канала «радиомаячков» (вероятности ошибки). Для восстановления проекции конуса света (эллипса) на ФМ, которую разрушает турбулентность, целесообразно применять искусственную нейросеть (ИНС). При этом точность позиционирования БПЛА должна быть достаточно высокой, чтобы не выйти за пределы ФМ с апертурой в несколько сантиметров.

Таким образом, в каждом БПЛА, способном отследить световой конус подвижного объекта, должны быть предусмотрены: оптический приемо-передатчик ИК-диапазона, имеющий ОФАР для сопровождения оптических конусов света с помощью систем управления и формирования направления излучения лазера; модем «радиомаячков» (поисковых по назначению); приемник GPS с точностью позиционирования не менее 1 см [10]; ИНС для восстановления проекции конуса света на ФМ.

При этом передатчик АОС включает в себя оптический модулятор и «антенную систему», состоящую из ОФАР и коллимирующих линз. Приемник АОС

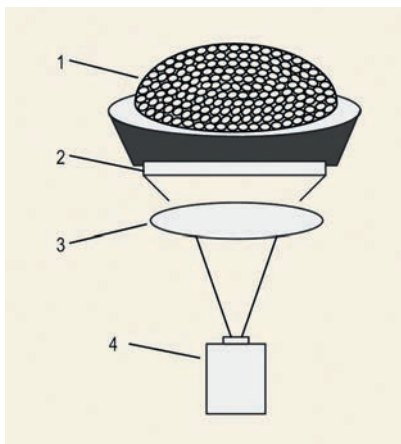


РИС. 3

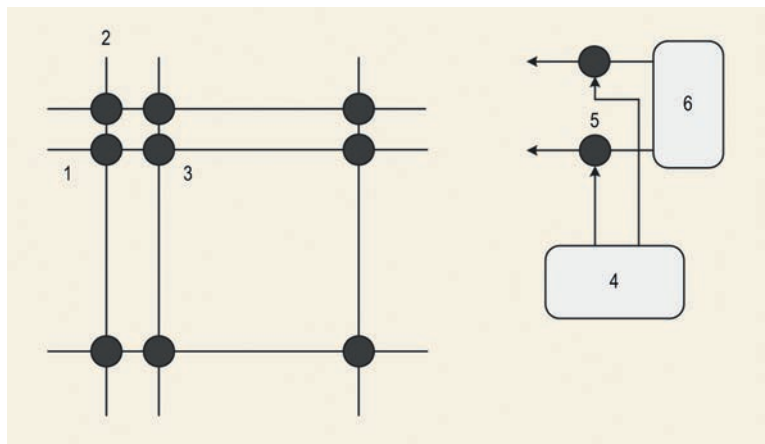


РИС. 4

состоит из оптической системы, фокусирующей излучение на ФМ, которое после восстановления эллипса с помощью ИНС поступает на оптический демодулятор. Применение искусственной нейросети позволит подстраивать проекции конуса света под апертуру ФП путем вычисления положения центра эллипса на ФМ.

По структурной схеме приемо-передатчиков БПЛА (рис. 2) можно проследить алгоритм подстройки оптической оси конуса света от лазерного излучателя. Так, согласно координатам БПЛА2, переданным по каналу «радиомаяков» на БПЛА1, с помощью оптоэлектронной системы управления ОФАР (рис. 3, рис. 4) формируется необходимый угол излучения лазера БПЛА1. В свою очередь, координаты от GPS-приемника БПЛА1 передаются по каналу «радиомаяков» на БПЛА2, где выполняется аналогичная процедура подстройки оптической оси лазера по координатам БПЛА1. Таким образом система, состоящая из приемника GPS и ОФАР, формирующая конус света от источника излучения передающего беспилотника, будет отслеживать положение фотоприемника (ФМ) принимающего БПЛА согласно его координатам, полученным по каналу «радиомаяков».

С помощью ИНС не только устраняются искажения проекции конуса света на ФМ, возникающие за счет воздействия турбулентности, но и осуществляется подстройка конуса света передатчика АОС путем вычисления погрешности в оценке координат на ФМ приемника АОС и корректировки работы ОФАР. Это особенно актуально для высокоскоростной передачи информации, при которой приемная апертура тем меньше, чем выше скорость передачи сигналов.

Сопровождение оптических осей конусов света при изменении положения БПЛА устройством ОФАР происходит, как уже отмечалось, посредством применения специальной оптоэлектронной системы (рис. 3). Она состоит из световодов (1) из фотонно-кристаллического волокна (ФКВ), равномерно расположенных относительно друг друга в виде полусферы и заполненных в нижней части нематитами (жидкими кристаллами), управляемой с помощью специальной матрицы (2), оптической системы линз (3) для равномерного распределения излучения лазера по полусфере, а также лазерного диода (4). При этом волокно подвергается изгибу по длине, что не влияет на параметры распространения света благодаря уникальным свойствам ФКВ.

Режимы работы световодов ОФАР управляются с помощью двумерной матрицы (рис. 4) в виде координатной сетки, состоящей из плат (1) для установки оснований ФКВ на пересечении вертикальных (2) и горизонтальных (3) шин. По шинам пропускается электрический ток, изменяющий режимы работы световодов (ФКВ).

Формирование направления оптического луча на передающем устройстве БПЛА при известном угловом положении фотоприемника происходит путем «зажигания» одного из световодов на полусфере. Световод пропускает свет от лазера (включается)

при условии подачи электрического тока в соответствующие шины управляющей матрицы. При этом «открывается заглушка» из нематита в нижней части ФКВ и волокно становится прозрачным. Подача управляющих сигналов (4) на электронные ключи (5), открывающие горизонтальную и вертикальную шины для пропускания электрического тока от источника питания (6), происходит в соответствии с координатами принимающего БПЛА. На пересечении горизонтальной и вертикальной шин создается необходимое электрическое поле для перехода нематита в режим «пропускания» света ИК-диапазона. Далее свет от лазера проходит через прозрачное плато и световод в нужном направлении.

Использование приемников GPS и ОФАР в каждом БПЛА, отслеживающих взаимное положение беспилотников с помощью приемо-передатчиков («радиомаяков»), позволит создать надежную атмосферную оптическую связь в ИК-диапазоне. Качество канала «радиомаяков» в варианте организации связи (см. рис. 1) во многом определяет характеристики надежности (вероятность ошибки $P_{ош}$, коэффициенты доступности, живучести) функционирования АОС.

При этом качество радиоканала ($P_{ош}$) при передаче навигационных сигналов (координат БПЛА) зависит от отношения мощностей сигнал/шум α^2 на входе приемника, типа модуляции и диапазона радиоволн. Известно, что значение α^2 определяется мощностью на выходе передатчика, затуханием в линии, мощностью шума приемника. Величина α^2 является аргументом функции вероятности ошибки $P_{ош} = f(\alpha^2)$. Для практического применения АОС важна зависимость вероятности ошибки от дальности радиоканала R (км). Такую зависимость можно построить для разных видов модуляции и графиков затухания сигнала g (дБм) от дальности R (км) радиоканала [2].

Для модуляции КАМ-4 и $g = f(R)$ для диапазонов 2,4 и 0,433 ГГц построены графики зависимости $P_{ош} = f(R)$ (рис. 5). В основе оценки вероятности ошибки лежит выражение для расчета энергетического бюджета радиоканала:

$$P_{пр} = (P_{пер} - g); \quad P_{пр} \geq (P_{чув} + \rho),$$

где $P_{пер}$, $P_{пр}$ – уровни мощности сигнала соответственно на выходе передатчика и на входе приемника;

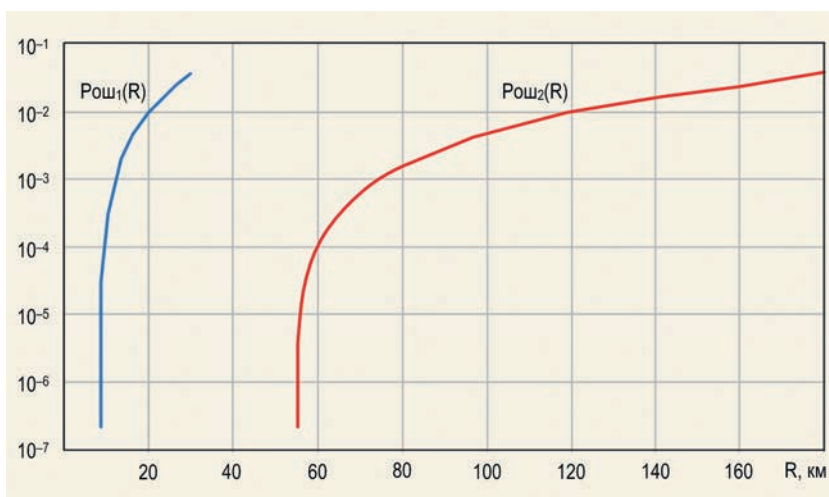


РИС. 5

$P_{\text{чув}}$ – уровень мощности шума (чувствительность) приемника;

ρ – энергетический запас.

Чем больше дальность R , тем больше затухание g в радиолинии и тем меньше уровень мощности на входе приемника. Значение параметра α^2 рассчитывается как разность между уровнем сигнала на входе приемника и чувствительностью приемника, величина затухания g в зависимости от расстояния определяется по графику $g = f(R)$ [2].

Построенные функции $P_{\text{ощ}} = f(R)$ показывают дальность радиосвязи, лимитирующую протяженность сети с БПЛА на базе АОС в зависимости от выбранного диапазона несущих частот канала «радиомаяков» (синяя линия – 2,4 ГГц; красная линия – 0,433 ГГц).

Из графиков видно, что для одной и той же вероятности $P_{\text{ощ}} = 10^{-6}$ диапазон 0,433 ГГц гарантирует более чем в пять раз большую дальность канала по сравнению с частотой 2,4 ГГц. Однако дециметровый диапазон обеспечивает большую скорость передачи сигналов. Кроме того, в этом варианте расстояние радиоканала почти в 10 км является более чем достаточным для беспроводного инфракрасного канала связи, соединяющего два БПЛА.

Однако дециметровый диапазон имеет недостаток в виде явления многолучевого распространения, что вызывает замирания сигнала и ухудшение качества связи в случае наличия препятствий на пути распространения радиоволн. Учитывая, что объем навигационной информации о координатах БПЛА не требует большой пропускной способности канала, можно рекомендовать более низкие значения частоты. Так, частоты в метровом диапазоне дадут возможность организовать сеть АОС с помощью «радиомаяков» в радиусе более 60 км. Это важно, так как беспроводная сеть АОС может состоять из сотни беспилотников, образующих сложную структуру с ячеистой топологией mesh.

Управляемые с помощью искусственного интеллекта беспилотные объекты соединяются друг с другом по принципу «каждый с каждым» на площади с радиусом, равным дальности радиоканала. Примером таких структур могут служить уже реализованные на практике сети, каждая из которых состоит из множества относительно небольших БПЛА, выпускаемых более крупным «материнским» БПЛА, доставляющим беспилотники до места наблюдения.

В заключение следует отметить, что применение беспроводных инфракрасных каналов связи АОС в телекоммуникационных сетях на базе БПЛА – перспективное направление повышения пропускной способности, гибкости сети и устойчивости к электромагнитным помехам. Организация атмосферных ИК-каналов для связи с подвижными объектами требует разработки надежных систем АОС, в которых приемо-передатчики способны отслеживать оптические конусы света на ФМ.

Особое значение имеет точность спутниковой навигации, которая должна соответствовать размерам апертуры ФМ. Такую систему наведения и сопровождения оптических сигналов, основанную на принципе «обратной связи», предлагается реализовать с помощью каналов «радиомаяков», ОФАР и ИНС. Искусственные нейросети на приемной стороне позволяют подстраивать конусы света передающего БПЛА путем вычисления погрешности оценки координат

принимающего БПЛА по смещению центра эллипса на ФМ. Система «обратной связи» даст возможность не только уточнять координаты БПЛА, но и противостоять влиянию турбулентности и другим опасным явлениям в атмосфере. Это значительно уменьшит вероятность срыва связи и улучшит качество приема оптических сигналов.

Возможны различные варианты реализации устройств системы наведения и сопровождения конусов света АОС. Однако первостепенное значение имеет технический уровень элементной базы. При этом применение нанозлектроники повысит эффективность работы канала АОС в условиях турбулентности, мерцания, солнечной засветки и других опасных явлений.

Совершенствование конструкций и алгоритмов работы приемо-передающей аппаратуры АОС для обмена информацией и управления беспилотными объектами расширит сферы применения беспроводных ИК-каналов связи не только в атмосфере, но и на земле. Изложенные принципы организации сети АОС особенно актуальны для создания высокоскоростных телекоммуникационных систем, а также сетей связи, требующих координации большого количества БПЛА, выполняющих общую задачу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Полтавский А.В. Телекоммуникация систем связи и управления на платформах беспилотных воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2021. Т. 24, № 2. С. 58–69. EDN: SGIZFV.
2. Боев Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2021. № 2 (42). С. 86–91. EDN: PBYXTR.
3. Основные направления создания высоконадежной системы связи и управления БПЛА / И.Н. Пантелеймонов, А.В. Белозерцев, А.А. Монастыренко, В.В. Боцва, А.В. Наумкин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2020. № 6 (723). С. 78–88. EDN: EXQUET.
4. Атмосферная оптическая связь. Области применения / А.А. Антонов, Л.М. Журавлёва, С.С. Алиев, Д.Х. Чьонг // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 10. С. 13–26. DOI:10.62994/AT.2024.10.10.005. EDN: NHOQVL.
5. Антонов А.А. Перспективы беспроводного оптического канала связи / А.А. Антонов, Л.М. Журавлёва, С.С. Алиев, Д.Х. Чьонг // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 9. С. 17–20. DOI: 10.34649/AT.2023.9.9.004. EDN: LEDOXI.
6. Бушуев Э.Ю., Пчелкин Н.В., Строгонова Е.П. Атмосферный оптический канал связи с беспилотными летательными аппаратами в условиях турбулентности атмосферы // Электросвязь. 2025. № 4. С. 32–36. DOI: 10.34832/ELSV.2025.66.4.004. EDN: CUMLMD.
7. Радиомаяк – Рувики: Интернет-энциклопедия. URL: ru.wikipedia.org/wiki/Радиомаяк. (дата обращения: 11.11.2025).
8. Патент 2841515 РФ, H04B 10/11. Система двустороннего беспроводного оптического канала связи с беспилотным летательным аппаратом / Журавлёва Л.М., Нилов М.А., Чьонг Д.Х., Алиев С.С.; патентообладатель РУТ (МИИТ). № 2024121948; заявл. 01.08.2024; опубл. 09.06.2025; Бюл. № 16.
9. Патент 2750237 РФ, H04B 10/00. Система двусторонней беспроводной оптической связи / Журавлёва Л.М., Лошкарев В.Л., Ивашевский М.Р., Левшунов В.В., Нилов М.А.; патентообладатель РУТ (МИИТ). № 2020130839; заявл. 18.09.20; опубл. 24.06.2021; Бюл. № 18.
10. Частоты GPS/ГЛОНАСС в России и мире // GSM-Репитеры.ру : сайт. URL: <https://gsm-repiteri.ru/chastoty-gps-glonass-v-rossii-i-mire> (дата обращения: 20.02.2025).

УДК 004.93
DOI: 10.62994/AT.2026.2.2.003

ИНВАРИАНТНЫЕ КЛАССИФИКАТОРЫ СОСТОЯНИЙ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ



ТАРАСОВ Евгений Михайлович, Приволжский государственный университет путей сообщения, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», профессор, д-р техн. наук, г. Самара, Россия



ТАРАСОВА Анна Евгеньевна, Приволжский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», доцент, канд. техн. наук, г. Самара, Россия

Ключевые слова: рельсовые цепи, инвариантные классификаторы, полиномиальные решающие функции, машинное обучение, самонастройка, микропроцессорный классификатор, железнодорожная автоматика

Аннотация. В статье рассматривается проблема классификации состояний рельсовых линий с использованием традиционных рельсовых цепей, которые разделяют состояния на два класса: свободное/исправное и занятое/поврежденное. Основные недостатки существующих систем включают невозможность отдельной классификации контрольного режима и высокую чувствительность к изменениям параметров рельсовых линий (сопротивления, проводимости изоляции). Для решения этих проблем предложен инвариантный параметрический классификатор, основанный на полиномиальных решающих функциях (включая полином Колмогорова-Габора) и методах машинного обучения. Разработанная модель позволяет разделять состояния на три класса: нормальный, шунтовой и контрольный режимы, обеспечивая инвариантность к изменениям проводимости изоляции (0,02–4 См/км) и сопротивления рельсовой линии (до +50 %). Результаты экспериментов демонстрируют эффективность самонастраивающихся алгоритмов (включая нейросетевые), улучшающих разделение классов при вариациях параметров. Предложенный подход повышает надежность систем железнодорожной автоматики за счет достоверной классификации и адаптации к возмущающим воздействиям.

■ Рельсовые цепи выполняют функции первичного преобразователя информации о состоянии рельсовых линий (РЛ), а также классификатора состояний рельсовых путей. В настоящее время рельсовые цепи по своему функциональному назначению относятся к классу датчиков состояний.

В соответствии со структурной схемой, рельсовые цепи являются нормально-замкнутыми системами с активным решающим устройством, в качестве которого используются электромагнитные реле. Эффективность применения нормально-замкнутых рельсовых цепей для контроля рельсовых линий подтверждена историей использования с 1872 г., когда была внедрена первая рельсовая цепь. Она содержала источник опроса рельсовых линий в виде путевой аккумуляторной батареи, подключенной к рельсовой линии на одном конце, и электромагнитного реле, подключенного на другом конце к рельсовой линии.

При таком построении схемы рельсовой цепи (в свободном состоянии рельсовых линий и исправной аппаратуре) электромагнитное реле включено, а при вступлении поезда, изломе или изъятии рельса электромагнитное реле выключено. Следовательно, рельсовые цепи классифицируют состояния рельсовых линий на два класса: класс свободного и исправного состояния, класс занятой поездом рельсовой линии, а также излома рельса или ее изъятия.

В эксплуатируемых в настоящее время рельсовых цепях в качестве информативного признака, характеризующего состояние РЛ, используются напряжение или ток опроса рельсовой линии. По сигналу опроса они являются однопараметральными, а по формированию решающего правила – двухпозиционными.

Решающее правило двухпозиционного классификатора релейного типа, использующего напряжение в качестве информационного признака, позволяет

классифицировать на два класса, а именно, если напряжение на входе классификатора больше заранее определенной величины, то классифицируется нормальный режим, если меньше – шунтовой или контрольный режимы.

Основным недостатком однопараметральной двухпозиционной классификации состояний рельсовых линий является отсутствие возможности отдельной классификации контрольного режима, что вызывает противоречие в алгоритме принятия решения о движении поездов. Согласно п.87 приложения № 6 Правил технической эксплуатации железных дорог РФ (ПТЭ) [1]: «...После остановки поезда перед проходным светофором с красным огнем, а также с непонятным показанием или погасшим, если машинист видит или знает, что впередилежащий блок-участок занят поездом или имеется иное препятствие для движения, запрещается продолжать движение до тех пор, пока блок-участок не освободится. Если машинист не знает о нахождении на впередилежащем блок-участке поезда (иного препятствия), он должен после остановки отпустить автотормоза и, если за это время на светофоре не появится разрешающего огня, вести поезд до следующего светофора со скоростью не более 20 км/ч...». В то же время при неисправной рельсовой линии движение поезда не может осуществляться из-за угрозы схода вагонов или локомотива по причине излома рельса.

Следующей проблемой классификаторов с единственным информативным признаком является высокая чувствительность к изменению первичных параметров схемы, особенно, чувствительного элемента датчика – рельсовой линии. Так, при обрыве стыковых соединителей происходит увеличение полного продольного сопротивления рельсовой линии, а при уменьшении сопротивления балласта увеличивается полная поперечная проводимость изоляции, состоящая из проводимости изоляции и междуурельсовой емкости.

Изменение первичных параметров рельсовых цепей приводит к уменьшению передаточной функции рельсовой цепи по напряжению или току в зависимости от типа классификатора (в настоящее время электромагнитного реле), и, соответствен-

но, к уменьшению напряжения или тока на выходе рельсовой линии или на входе классификатора [2]. Уменьшение напряжения или тока происходит по экспоненциальному закону, так как уравнения, связывающие напряжения и токи в начале и в конце рельсовой линии, описываются гиперболическими функциями, и особенно это сказывается в зоне пониженного сопротивления изоляции, что приводит к «ложной занятости».

В связи с этим возникает задача разработки параметрического классификатора состояний (на микропроцессорной элементной базе), обладающего свойством инвариантности (нечувствительности) к изменению проводимости изоляции и изменению продольного сопротивления рельсовой линии в определенных пределах, и в то же время классифицирующего состояния рельсовой линии на три отдельных класса-режима.

Чувствительным элементом первичного датчика являются рельсовые линии, в общем случае представляющие линии с равномерно распределенными параметрами, а выходной функцией датчика – напряжения и токи [3] в начале и в конце рельсовой линии, используемые при распознавании и классификации состояний (режимов) рельсовых линий.

В микропроцессорном классификаторе применяются решающие функции в виде полиномов, которые являются цифровой моделью классификации состояния рельсовой линии, используемые для распознавания классов состояний. Для этого первоначально проводится машинное обучение классификатора известными методами, например, методом многомерной аппроксимации [4, 5], и определяются коэффициенты полиномов.

Рассмотрим результаты синтеза классификатора состояния рельсовых цепей, отдельно классифицирующего состояние рельсовых линий на классы нормального, шунтового и контрольного режимов и обеспечивающего инвариантность к изменению проводимости изоляции в диапазоне от $g_{\min} = 0,02 \text{ См/км}$ ($50 \text{ Ом} \cdot \text{км}$) до $g = 0,4 \text{ См/км}$ ($0,25 \text{ Ом} \cdot \text{км}$) при длине рельсовой линии 2,5 км и частоте тока опроса рельсовой линии (сигнального тока) $f_{\text{СТ}} = 25 \text{ Гц}$.

В результате машинного обучения получена цифровая модель классификатора (решающая функция), используемая в микропроцессорном классификаторе, а результат классификации в графическом виде представлен на рис. 1. Из рисунка следует, что границы классов составляют:

нормального режима: $d_{N\min} = 4,471$; $d_{N\max} = 5,556$;
шунтового режима: $d_{S\min} = 3,132$; $d_{S\max} = 2,873$;
контрольного режима: $d_{K\min} = 1,234$; $d_{K\max} = 0,812$.

Согласно условиям, представленным в [6], выполнение классификации режимов считается удовлетворительным, если шунтовой от нормального и контрольный от шунтового режимов отделяется не менее чем на 20 %. Если рассматривать результаты классификации инвариантным обученным классификатором (см. рис. 1), то следует, что шунтовой от нормального отделяется на 43 %, а контрольный от шунтового на 138 %, т.е. классификация осуществляется безошибочно с большим запасом.

При увеличении продольного сопротивления рельсовой линии на 50 %, например, при обрыве стыковых соединителей, и использовании предварительно обученной решающей функции, классы

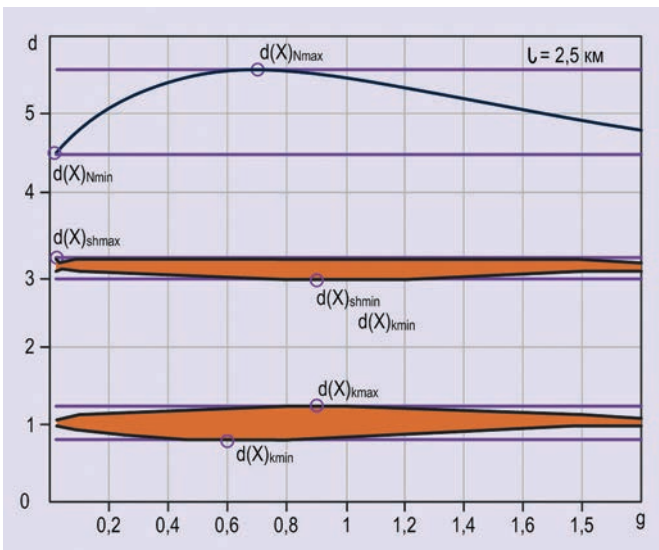


РИС. 1

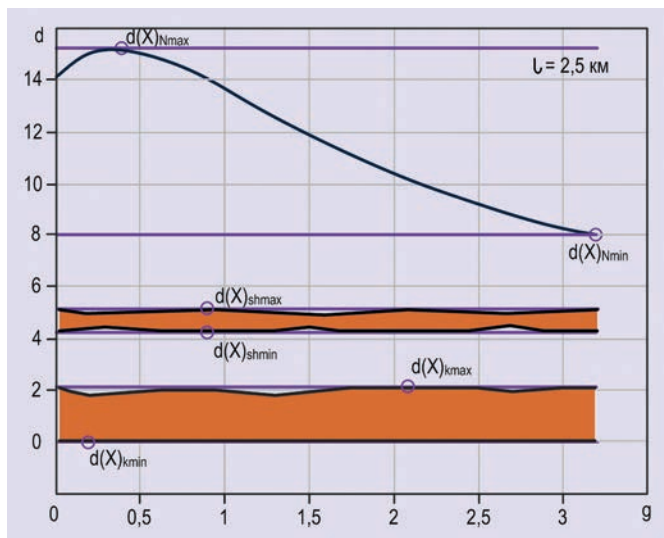


РИС. 2

нормального и шунтового режимов пересеклись, и потребовалась корректировка решающей функции по условию выполнения всех режимов. Достоинством классификации режимов полиномом решающей функции является возможность достаточно простой реализации самонастройки при невыполнении условий разделения классов. Авторами разработана и осуществлена самонастройка решающей функции нейросетевым алгоритмом и получена модифицированная цифровая модель классификатора.

Графики классификации пространства состояний рельсовой линии, адаптивно самонастроенной цифровой моделью, представлены на рис. 2. Результаты исследований показывают, что условия классификации выполняются, и вместе с тем динамический диапазон пространства классов увеличился. Это

связано с вариативностью двух мешающих воздействий: проводимости изоляции и сопротивления рельсовых линий.

Таким образом, представленный инвариантно распознающий принцип классификации пространства состояний РЛ обеспечивает достоверную классификацию режимов при инвариантности изменения проводимости изоляции от 0,02 до 4 См/км, и одновременно сопротивления рельсовой линии до 50 % при длине рельсовой линии 2,5 км. При этом принцип может обеспечить инвариантность к изменениям и других мешающих параметров рельсовой цепи самонастройкой решающей функции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ Министерства транспорта РФ от 23.06.2022 № 250.
2. Аркатов В.С., Кравцов Ю.А., Степенский Б.М. Рельсовые цепи. Анализ и техническое обслуживание. М.: Транспорт, 1990. 295 с.
3. Тарасова А.Е., Тарасов Е.М. Принцип инвариантных измерений первичных информационных признаков // Вестник современных исследований. 2019. № 1.13 (28). С. 159–162. EDN: YWUDUD.
4. Обеспечение инвариантности к возмущающим воздействиям в рельсовых линиях / Е.М. Тарасов, Д.В. Железнов, Н.Н. Васин, А.Е. Тарасова // Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29, № 2. С. 152–168. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201902.152-168. EDN: AMVOYU.
5. Tarasov E.M., Tarasova A.E., Nadezhkin V.A. The principle of construction of an automated system for monitoring and diagnostics of wayside devices of railroad automation and telemechanics // Russian Electrical Engineering. 2023. Vol. 94, No. 10. P. 712–715. DOI: 10.3103/s1068371223100115. EDN: YPXFE0.
6. Брылеев А.М., Кравцов Ю.А., Шишляков А.В. Теория, устройство и работа рельсовых цепей. 2 изд., перераб. и доп.. М.: Транспорт, 1978. 344 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСЛУГИ

ИНФОРМАЦИЯ

В МИРЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ИЦК «ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА» УДОСТОЕН ПРЕМИИ ФОНДА РАЗВИТИЯ ИНТЕРНЕТ-ИНИЦИАТИВ

Премия «Спринт в будущее – код успеха!» Фонд развития интернет-инициатив проводит совместно с Минцифры РФ. Она объединяет выпускников крупнейшей государственной программы ускоренного развития технологий «Спринт 2.0» (проводится в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» нацпрограммы «Цифровая экономика Российской Федерации»).

В прошедшем году лучшие ИТ-проекты были выбраны в девяти основных номинациях – от «Инновационного контента» (лучшее решение для создания контента и организации массовых коммуникаций) до «Кибер помощника» (лучшее решение для развития человека). Кроме того, была представлена специальная номинация «Самый активный индустриальный центр компетенций»,

победу в которой одержал ИЦК «Железнодорожный транспорт и логистика».

Железнодорожный ИЦК возглавляет генеральный директор – председатель правления ОАО «РЖД» О.В. Белозёров. В состав центра входят 12 компаний. Уже завершено шесть проектов «первой волны», на финальном этапе – еще два проекта.

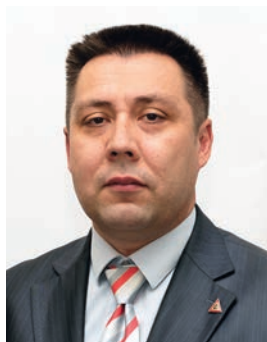
«В рамках ИЦК мы не ограничиваемся реализацией особо значимых проектов. Рассматриваем решения, которые есть у других членов ИЦК, на рынке, у стартапов. Активно обмениваемся экспертизой, обсуждаем вопросы импортозамещения и реализации проектов. Безусловно, сбавлять набранные темпы не планируем. И звание самого активного индустриального центра компетенций будем подтверждать делами и результатами своей работы», – отметил заместитель генерального директора ОАО «РЖД» Е.И. Чаркин.

<https://rzdigital.ru/>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИМПЕДАНСА РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ШУНТА



ХОДКЕВИЧ
Антон Геннадьевич,
Омский государственный университет путей сообщения, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика», канд. техн. наук, г. Омск, Россия



СОКОЛОВ
Максим Михайлович,
Омский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика и телемеханика», доцент, канд. техн. наук, г. Омск, Россия



РЫБИНА
Людмила Андреевна,
Омский государственный университет путей сообщения, кафедра «Автоматика и телемеханика», преподаватель, г. Омск, Россия

Ключевые слова: подвижная единица, рельсовая линия, местоположение, точность, железнодорожная автоматика, движение поездов, рельсовая цепь

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по измерению значения комплексного входного сопротивления рельсовой линии на действующей инфраструктуре Детской железной дороги города Новосибирска – структурного подразделения Западно-Сибирской дороги. Приведены зависимости модуля, фазы, активной и реактивной составляющих входного сопротивления от места наложения нормативного шунта, полученные в ходе измерений.

■ Одним из критериев определения местоположения состава и состояния рельсовой линии является измерение ее электрических характеристик, в том числе комплексного значения входного сопротивления (импеданса) [1–3].

Были проведены исследования [4–5] зависимости входного импеданса от местоположения шунта и излома рельса в разных ситуациях, в том числе для различных частот. В то же время для проверки адекватности полученных результатов возникла задача проведения экспериментальных исследований на реальной инфраструктуре.

Проведение исследований на инфраструктуре транспорта общего пользования проблематично вследствие непрерывности процесса движения поездов и ограничениями с недопустимостью вмешательства в работу устройств. В связи с этим

в качестве объекта исследований была выбрана инфраструктура Детской железной дороги города Новосибирска.

Данные исследования проводились в сентябре прошлого года

в условиях отсутствия движения поездов в соответствии с программой экспериментальных исследований определения координаты подвижной единицы на рельсовой линии (рис. 1).



РИС. 1

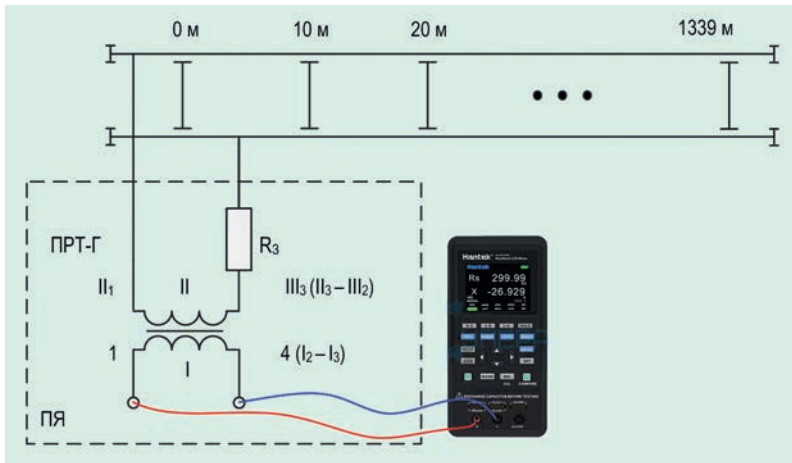


РИС. 2

Перед измерениями была отключена вся аппаратура от рельсовой линии (аппаратура релейного конца исследуемой рельсовой цепи, питающего конца до точки измерения, рельсовых цепей железнодорожного переезда).

В ходе эксперимента измерялись и фиксировались значения модуля ($|Z_{вх}|$, Ом) и угла (φ , °) комплексного значения входного сопротивления относительно точки подключения для различных частот (100, 120, 400, 1000, 4000, 10000 Гц). Сопротивление измерялось прибором LCR Hantek 1832C непосредственно у рельсовой линии на питающем конце рельсовой цепи 1ГПП длиной 1339 м путем подключения к первичной обмотке трансформатора ПРТ-Г в путевом ящике (рис. 2).

Измерения выполняли в двух режимах работы: при свободной и исправной рельсовой линии (шунт отсутствует) и внесении поперечного сопротивления значением 0,06 Ом (нормативный шунт). Шунтирование выполнялось последовательно с точки подключения аппаратуры наложением нормативного шунта с интервалом 10 м по длине всей рельсовой линии (см. рис. 1). Расстояния до места наложения шунта измерялись лазерным дальномером SNDWAY SW-1000A. Для повышения точности измерений перед наложением шунта обеспечивалась механическая очистка места наложения от ржавчины и загрязнения.

Пример измерения комплексного значения входного сопротивления рельсовой линии показан на рис. 3.

В ходе исследований было выполнено более 800 измерений

комплексного значений входного сопротивления в различных ситуациях.

По полученным результатам построены графики зависимости изменения модуля (рис. 4) и угла входного комплексного сопротивления 1ГПП (рис. 5) в зависимости от места внесения поперечного сопротивления на рельсовой линии.



РИС. 3

В результате на питающем конце рельсовой линии 1ГПП были рассчитаны значения активной и реактивной составляющих входного комплексного сопротивления. Графики зависимостей этих составляющих от места положения шунта приведены на рис. 6 и рис. 7. На графиках рис. 4–7 по оси абсцисс показаны значения, соответ-

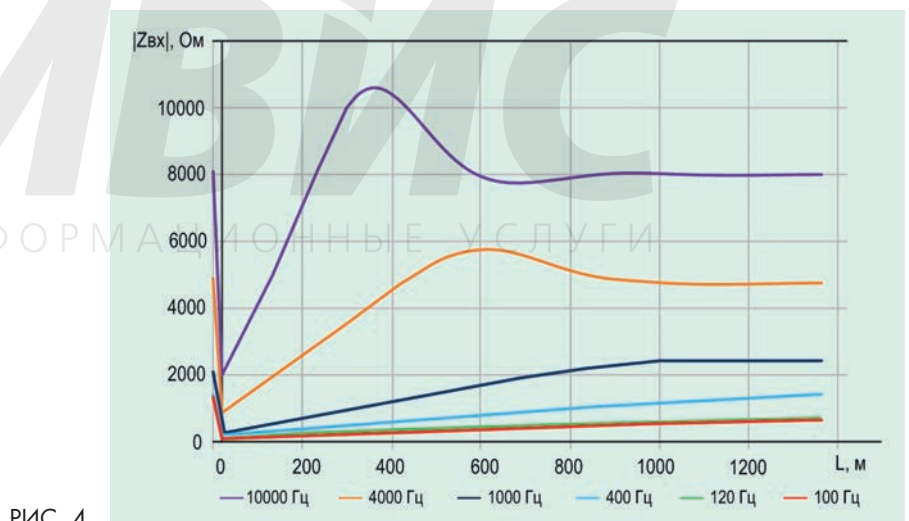


РИС. 4

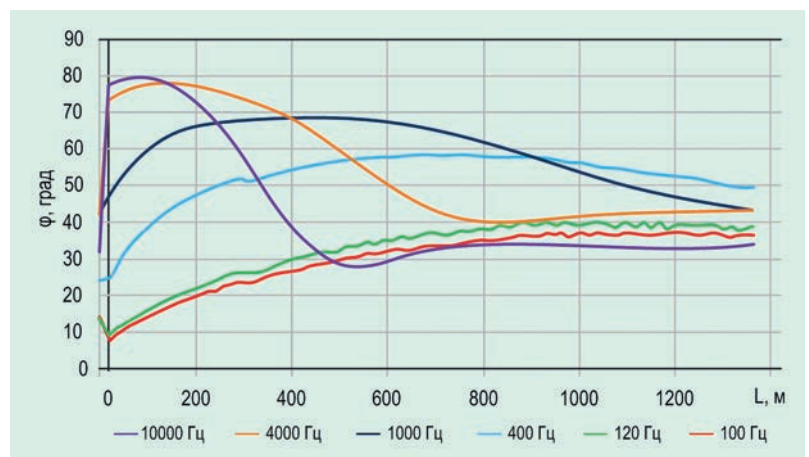


РИС. 5

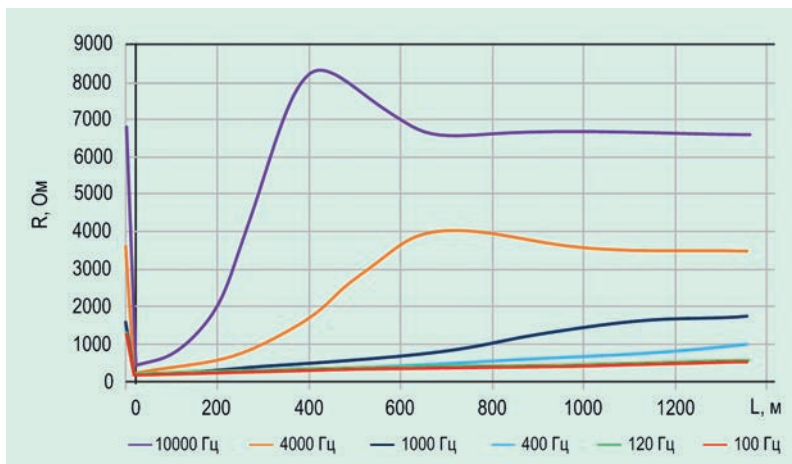


РИС. 6

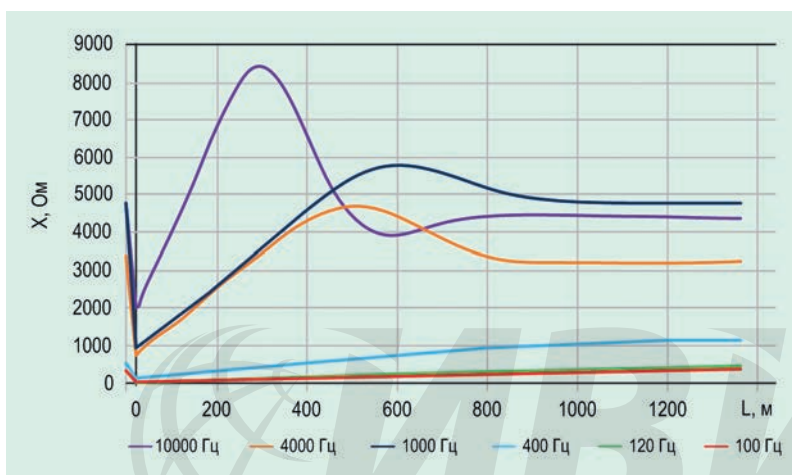


РИС. 7

ствующие свободному состоянию участка рельсовой линии.

Импеданс рельсов имеет индуктивный характер и зависит от частоты измерительного сигнала. Сопротивление изоляции рельсовой линии имеет емкостной характер и также зависит от частоты этого сигнала. Одной из задач экспериментальных исследований было установление наилучшего диапазона частот измерительного сигнала. С ростом частоты сначала комплексное сопротивление рельсовой линии сильно зависит от длины участка, но в дальнейшем эта зависимость слабеет из-за влияния емкостной составляющей сопротивления изоляции.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили правильность выбора тонального диапазона частот (400–1000 Гц) для измерения комплексного значения входного сопротивления [4–5]. По результатам измерений выявлено, что на частоте 400 Гц на каждые 10 м рельсовой линии значение модуля входного сопротивления уве-

личивается примерно на 10 Ом в диапазоне до длины в 900 м, а на частоте 1000 Гц на каждые 10 м рельсовой линии значение модуля входного сопротивления увеличивается примерно на 25 Ом в диапазоне до длины в 600 м. На частотах 100–120 Гц различие в значениях входного сопротивления минимально вследствие небольшого значения удельного сопротивления рельсов. Для частот 4000 Гц и выше, наоборот, характерно большое затухание, что ограничивает возможную длину контролируемого участка.

В классических рельсовых цепях емкостным характером сопротивления балласта пренебрегают, поэтому в литературе и нормативных документах ОАО «РЖД» отсутствуют данные о зависимости комплексного сопротивления балласта от конструкции верхнего строения пути. Для дальнейшего развития представленной технологии определения местоположения подвижного состава необходимо провести дополнительные исследования данной зависимости.

Результаты экспериментальных исследований не противоречат теории работы рельсовых цепей и подтверждают возможность определения координаты подвижной единицы на рельсовой линии по значениям комплексного значения входного сопротивления.

В продолжение работы требуется провести сравнение результатов работы имитационной модели рельсовой цепи [6] с результатами эксперимента, для чего необходимо решить задачу определения электрических параметров рельсовой линии и аппаратуры на различных частотах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соколов М.М., Ходкевич А. Г. Использование входного сопротивления путевого участка для позиционирования подвижной единицы // Автоматика, связь, информатика. 2025. № 9. С. 15–17. DOI: 10.62994/AT.2025.9.9.001. EDN: NIWJXU.
2. Terada T., Mochizuki H., Nakamura H., Development of new track circuits for energy conservation and signal control innovation // 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME). 2021. P. 1–5. DOI: 10.1109/ICECCME52200.2021.9591127.
3. Ходкевич А.Г., Соколов М.М. Эволюция рельсовых цепей от реле до искусственного интеллекта // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 12. С. 6–8. DOI: 10.34649/AT.2022.12.12.001. EDN: BHHGJA.
4. Sokolov M., Khodkevich A. Application of conformal mappings to determine the location of rolling stock on a section of a rail-wire line // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, 12–16 мая 2025 года. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2025. P. 935–939. DOI: 10.1109/ICIEAM65163.2025.11028456. EDN: CHHFJK.
5. Sokolov M., Khodkevich A. Application of conformal mappings to determine the location of a rail break // 2025 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, 07–13 сентября 2025 года. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2025. P. 153–158. DOI: 10.1109/RusAutoCon65989.2025.11177260.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025667760 Российская Федерация. Имитационная модель рельсовой цепи // М.М. Соколов, А.Г. Ходкевич, Д.А. Елизаров, А.И. Давыдов ; патентообладатель ОмГУПС ; заявл. 15.04.2025 ; опубл. 09.07.2025. EDN: DALFJD.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ НА ПОЛИГОНЕ АГРОТЕРМИНАЛА



ГОЛУБЕВ
Александр Сергеевич,
ООО «1520 Сигнал»,
заместитель генерального
директора, руководитель на-
правления промышленного
транспорта, Москва, Россия



СЕМЕНОВ
Степан Александрович,
ООО «1520 Сигнал», главный
инженер проекта департамен-
та промышленного транспорта,
Москва, Россия

На полигоне ООО «Курскагротерминал» (крупнейшего в Европе завода по переработке масличных культур), входящего в ГК «Содружество», завершена комплексная цифровизация управления железнодорожными перевозками. Расширение железнодорожной инфраструктуры терминала, связанное с запуском третьей очереди завода в 2025 г., потребовало принципиально нового подхода к управлению движением. Сегодня протяженность внутривозовских путей составляет 23 км с пропускной способностью до 330 вагонов.

■ Для обеспечения бесперебойной и точной координации такого масштабного хозяйства специалисты АО ГК «Нацпроектстрой» реализовали проект, который предусматривал не просто модернизацию, а создание нового стандарта безопасности, пропускной способности и всесезонной надежности для промышленного транспорта России. Цифровизация системы управления выполнена на основе микропроцессорной централизации (МПЦ-ЭЛ) собственной разработки и производства.

Система включает в себя централизованное управление 63 стрелочными переводами и 80 светофорами с минимальным использованием релейной аппаратуры, что позволяет повысить надежность и снизить затраты на будущее обслуживание.

Для контроля занятости путей и точного позиционирования вагонов на предприятии интегрирована система счета осей, подключенная к 103 датчикам. Это дает возможность эксплуатирующему персоналу контролировать ситу-

ацию в режиме реального времени: положение каждого состава и контроль занятости участков пути. Повышение скорости и безопасности выполнения маневров позволили увеличить пропускную способность терминала и ускорить оборот вагонов.

Стрелочные переводы оборудованы системой автоматического электрообогрева, что упрощает обслуживание объекта в снегопады.

Микропроцессорная система управления обогревом стрелочных переводов СУЭСМ (разработка



Модульный комплекс



Железнодорожные пути «Курскагротерминала»



Шкаф ШУЭС-ЭЛ-32

и производство Дивизиона ЖАТ ГК «НПС») – интеллектуальный комплекс, предназначенный для исключения обледенения элементов стрелочного перевода и налипания снега на них, препятствующих его нормальной работе. СУЭСМ обеспечивает обогрев в периодическом режиме при помощи электронагревателей. Система может использоваться на стрелочных переводах с любой маркой крестовины, расположенных в зонах, где климатические условия предполагают возможность образования наледи на них.



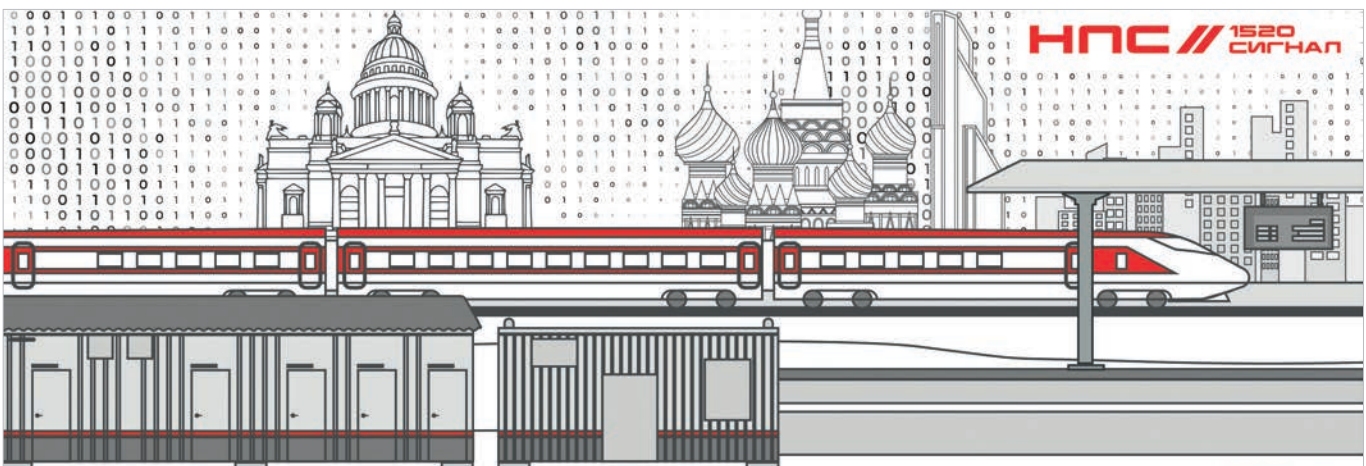
Шкаф объектных контроллеров

СУЭСМ включает в себя шкаф управления электрообогревом стрелочных переводов ШУЭС-ЭЛ-32, предназначенный для коммутации и подачи электропитания на ТЭН обогрева стрелочных переводов и розетки подключения ручного электроинструмента. Он оборудован защитной и коммутационной аппаратурой на вводе и отходящих линиях, силовым изолирующим трансформатором, блоком управления, прибором учета электроэнергии, датчиками контроля состояния шкафа, температуры окружающей среды и осадков. Кроме того, в

состав СУЭСМС входят: шкаф связевой ШС-ЭЛ (комплектно с автоматизированным рабочим местом АРМ), предназначенный для организации управления и связи с АРМ управления электрообогревом стрелочных переводов, метеостанция, шкафы ШУЭС-ЭЛ, системы СТДМ и ДЦ (опционально), а также дистанционное включение обогрева всех стрелочных переводов посредством органов управления шкафа. Также СУЭСМ включает датчики температуры рельса (ДТР) КТМЛ.405213.011, трубчатые электронагревательные элементы плоскоовального сечения с арматурой для их установки, защиты и подключения, кабельные сети электропитания, контроля и управления.

Благодаря системе СУЭСМ железнодорожный цех терминала работает стабильно в любую погоду, выполняя жесткий график отгрузок. Использование системы обогрева стрелочных переводов планируется на ВСЖМ Москва – Санкт-Петербург.

Транспортная доступность комплекса позволит оптимизировать отгрузку продукции как внутри России, так и за границу – в страны СНГ, Китай, на Ближний Восток и Африку. При строительстве первой очереди завода было цифровизировано управление движением на станции Касторная-Новая Юго-Восточной дороги, через которую пути «Курсагротерминала» соединяются с общей сетью железных дорог.



НПС // 1520 СИГНАЛ

Москва, ул. Лётчика Бабушкина, вл. 1, стр. 2
Тел.: +7 (495) 901-15-20
www.1520signal.ru

Создаем Цифровое Будущее



ТРАНСПОРТНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ МЕХАНИЗМА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ



ЧУВЕРИНА
Ольга Геннадьевна,
Российский университет
транспорта РУТ (МИИТ),
Институт экономики и финан-
сов, кафедра «Экономика и
управление на транспорте»,
заведующий кабинетом, канд.
экон. наук, Москва, Россия



ЛИТОВЧЕНКО
Вероника Борисовна,
Приволжский государствен-
ный университет путей сооб-
щения, кафедра «Экономика
и менеджмент», доцент, канд.
экон. наук., г. Самара, Россия

Ключевые слова: цифровизация, железнодорожный транспорт, транспортные экосистемы

Аннотация. В статье представлены результаты анализа транспортных экосистем как механизма устойчивого развития на примере железнодорожного транспорта. Проведен сравнительный анализ транспортных экосистем Германии, Китая, Японии и США. Выявлены возможности развития транспортных систем России в разрезе цифровизации железнодорожного транспорта, мультимодальных перевозок, модернизации инфраструктуры, либерализации рынка, электрификации железнодорожных линий и их интеграции с городской инфраструктурой.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСЛУГИ

■ Транспортные системы страны напрямую влияют на экономическое развитие, экологическую безопасность и социальное благополучие общества. Особую актуальность как инструмент механизма устойчивого развития приобретает концепция транспортных экосистем.

Транспортные экосистемы – это сложные системы, включающие различные виды транспорта, инфраструктуру, информационные технологии, регуляторные органы, операторов и пользователей, взаимодействующих между собой для обеспечения эффективного и устойчивого транспортного обслуживания [1]. В условиях цифровизации экономики транспортные экосистемы становятся все более интегрированными и взаимосвязанными, что открывает новые возможности для повышения их устойчивости. При этом развитие транспортных экосистем в разных странах замедляется недостаточ-

ной интеграцией с другими видами транспорта, низким уровнем цифровизации, инфраструктурными ограничениями и недостаточной экологической эффективностью. В России эти проблемы так же проявляются в условиях глобальных трансформаций и необходимости перехода к цифровой экономике.

В рамках Программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной в 2017 г., определены основные цели ее реализации, уровни цифровой экономики (рынки и отрасли экономики, платформы и технологии, среда, которая создает условия для развития платформ и технологий), социально-экономические условия, система управления цифровой экономикой и ее базовые направления развития в РФ и др.

В ОАО «РЖД» реализуется Стратегия цифровой трансформации, проект «Цифровая железная дорога» [2]. Однако цифровизация отрасли сдерживается высокой

стоимостью внедрения цифровых технологий, ростом операционной нагрузки на сотрудников, отсутствием комплексных ИТ-решений, повышенными требованиями к обеспечению безопасности данных и др. [2].

Авторами проанализированы транспортные экосистемы в аспекте инструмента механизма устойчивого развития с акцентом на железнодорожный транспорт России в международном контексте.

Методологическая основа исследования включает системный и сравнительный анализ, анализ данных из открытых источников и моделирование с использованием системной динамики. Работа опирается на данные Росстата, Евростата, Всемирного банка, отчетов МАГАТЭ, а также на анализ конкретных проектов и практик в области железнодорожного транспорта [3].

В рамках системного анализа были выделены ключевые компо-

ненты транспортной экосистемы и определено их взаимодействие. Сравнительный анализ позволил сопоставить состояние транспортных экосистем в России с международным опытом. В качестве бенчмарка выбраны страны с наиболее развитыми железнодорожными системами: Германия, Китай, Япония и США. Для сравнения использовались следующие показатели: объем перевозок, энергоэффективность, уровень цифровизации, интеграция с другими видами транспорта, экологические показатели и экономическая эффективность. Глубина данных составила 10 лет, что позволило выявить динамику развития транспортных экосистем и определить ключевые тренды. Кроме того, проанализированы некоторые автоматизированные системы ОАО «РЖД» [4]. Они служат ключевыми элементами транспортной экосистемы, обеспечивая интеграцию различных процессов и повышая эффективность управления.

Для количественной оценки состояния транспортных экосистем использован статистический анализ данных о перевозках, энергопотреблении, выбросах, а также инвестициях в инфраструктуру и др. Для выявления взаимосвязей между различными параметрами применены методы корреляционного и регрессионного анализа. Среди ключевых показателей устойчивости транспортных экосистем выбраны экологические (выбросы, энергопотребление), экономические (эффективность, конкурентоспособность), социальные (доступность, безопасность).

Анализ состояния транспортных экосистем в России позволил выявить ключевые аспекты.

Инфраструктурные показатели. По данным Росстата, протяженность железнодорожных путей в России составляет 85,6 тыс. км, из которых 42,5 тыс. км электрифицированы [5]. Это делает Россию одной из стран с самой обширной железнодорожной сетью в мире. Вместе с тем инфраструктура в значительной степени устарела: средний возраст железнодорожных путей составляет 35–40 лет, рельсов – 25–30 лет [5]. Это приводит к высокому уровню их износа и необходимости постоянного ремонта. При этом в Германии

средний возраст железнодорожных путей составляет 25 лет, а в Японии – 20 лет [6].

Эксплуатационные показатели. В 2022 г. объем грузовых перевозок железнодорожным транспортом в России достиг 1,2 млрд т (около 40 % от общего объема грузовых перевозок в стране). Объем пассажирских перевозок – 1,1 млрд пассажиров (около 10 % от общего числа пассажирских перевозок) [5]. В Европе доля грузовых перевозок железнодорожным транспортом в общем объеме составляет около 18 %, а пассажирских – около 7 % [3]. В Китае по железным дорогам перевозится около 25 % всех грузов, а доля пассажирских перевозок составляет 15 % от их общего числа [7].

Энергоэффективность и экологические показатели. Железнодорожный транспорт в России демонстрирует высокую энергоэффективность. Так, по данным МАГАТЭ, энергопотребление на тонно-километр грузовых перевозок составляет 0,03–0,05 МДж/т·км, что в 5–10 раз ниже, чем у автомобильного транспорта [2]. Это делает железнодорожный транспорт одним из самых экологически эффективных. Однако уровень выбросов парниковых газов остается значительным. Так, в 2022 г. выбросы CO₂ составили 35 млн т [2] и связано с тем, что около 30 % локомотивов работают на дизельном топливе [5].

Уровень цифровизации. В России наблюдается активное внедрение цифровых технологий в железнодорожный транспорт. В ОАО «РЖД» активно используется система ЕК АСУФР, которая позволяет управлять финансовыми ресурсами и расчетами с контрагентами [4]. Также применяются системы SAP R/3 для управления логистикой закупок и продаж. В целом уровень цифровизации в России остается ниже, чем в передовых странах. По данным Всемирного банка, Россия занимает 55-е место в рейтинге готовности к цифровой экономике из 140 стран [1], тогда как Германия, Китай и Япония находятся в первой 20-ке рейтинга [3]. При этом отрицательное влияние на развитие данной сферы оказали санкционные ограничения, вызвавшие проблемы с поставками импортных комплектующих, оборудования, программного обеспечения.

Интеграция с другими видами транспорта. В России прослеживается недостаточная интеграция железных дорог с другими видами транспорта. По данным Росстата, только 15 % грузовых перевозок в стране осуществляются мультимодальным способом [5]. В Европе этот показатель составляет около 35 %, а в Китае – 25 % [6].

Инвестиции в инфраструктуру. Инвестиции в инфраструктуру российских железных дорог в 2022 г. составили 1,2 трлн руб. [5], что соответствует 0,8 % от ВВП страны. Для сравнения в Германии инвестиции в железнодорожную инфраструктуру составляют 1,5 % ВВП, в Китае – 2,5 % ВВП, в Японии – 1,8 % ВВП [8].

Организационные аспекты. Железнодорожный транспорт в России регулируется ОАО «РЖД», которое является монополистом на рынке железнодорожных перевозок. Это создает определенные ограничения для развития конкуренции и инноваций. В Европе железнодорожный транспорт либерализован, а на рынке действуют несколько операторов [9]. В Китае железные дороги регулируются государством, но существует конкуренция между различными операторами [10].

Сравнительный анализ международного опыта внедрения транспортных экосистем представлен в таблице.

Германия является одним из лидеров в развитии транспортных экосистем. В стране реализуется проект «Trans-European Transport Network» (TEN-T), направленный на создание интегрированной транспортной сети [3]. Китай активно развивает высокоскоростную железнодорожную сеть, которая становится ключевым элементом национальной транспортной экосистемы. Мировым лидером в области высокоскоростного железнодорожного транспорта выступает Япония. Ее система «Синкансэн» служит примером успешной транспортной экосистемы [10]. В США железнодорожный транспорт преимущественно используется для грузовых перевозок [11].

Сравнение с международным опытом показывает, что наиболее успешные страны (Германия, Китай, Япония) имеют общие черты, которые продемонстрированы на рис. 1.

Страна	Особенности транспортной экосистемы
Германия	<p>Высокая интеграция железнодорожного транспорта с другими видами транспорта: около 35 % грузовых перевозок осуществляются мультимодальными способами.</p> <p>Активное использование цифровых технологий: внедрение систем управления движением поездов на основе ИИ, систем мониторинга состояния инфраструктуры, систем управления запасами.</p> <p>Высокая энергоэффективность: железнодорожный транспорт обеспечивает 25 % грузовых перевозок и 15 % пассажирских перевозок, при этом энергопотребление составляет 0,02 МДж/т · км.</p> <p>Либерализация рынка: на железнодорожном рынке действуют несколько операторов, что способствует развитию конкуренции и инноваций.</p> <p>Экологическая политика: активно внедряется электрификация железнодорожных линий, что позволяет снизить выбросы CO₂ на 70 % по сравнению с тепловозами</p>
Китай	<p>Масштабное развитие высокоскоростной железнодорожной сети: протяженность высокоскоростных линий составляет 40 тыс. км, что является самой большой в мире.</p> <p>Активное использование цифровых технологий: внедрение систем управления движением поездов на основе ИИ, систем мониторинга состояния инфраструктуры, систем управления запасами.</p> <p>Высокая интеграция с другими видами транспорта: около 25 % грузовых перевозок осуществляются мультимодальными способами.</p> <p>Экономическая эффективность: железнодорожный транспорт обеспечивает 25 % грузовых перевозок и 15 % пассажирских, при этом энергопотребление составляет 0,025 МДж/т · км.</p> <p>Государственная поддержка: активное финансирование и поддержка со стороны государства позволяет быстро развивать инфраструктуру и внедрять инновации</p>
Япония	<p>Высокая надежность и безопасность: среднее опоздание поездов «Синкансэн» составляет менее 1 мин в год.</p> <p>Высокая интеграция с городской инфраструктурой: железнодорожные станции являются центрами городской инфраструктуры, включающими коммерческие площади, жилые комплексы и другие объекты.</p> <p>Высокая энергоэффективность: энергопотребление составляет 0,018 МДж/т · км, что является одним из самых низких в мире.</p> <p>Активное использование цифровых технологий: внедрение систем управления движением поездов на основе ИИ, систем мониторинга состояния инфраструктуры, систем управления запасами.</p> <p>Наличие конкуренции: на железнодорожном рынке действуют несколько операторов, что способствует развитию инноваций</p>
США	<p>Фокус на грузовые перевозки: железнодорожный транспорт обеспечивает около 40 % грузовых перевозок в стране.</p> <p>Активное использование цифровых технологий: внедрение систем управления движением поездов на основе ИИ, систем мониторинга состояния инфраструктуры, систем управления запасами.</p> <p>Высокая энергоэффективность: энергопотребление составляет 0,022 МДж/т · км.</p> <p>Либерализация рынка: на железнодорожном рынке действуют несколько операторов, что способствует развитию конкуренции и инноваций.</p> <p>Низкая интеграция с пассажирскими перевозками: железнодорожный транспорт в США преимущественно используется для грузовых перевозок, пассажирские перевозки развиты слабо</p>

Для этих стран характерно активное внедрение цифровых технологий, среди которых системы управления движением поездов на основе ИИ, мониторинга состояния инфраструктуры, управления ресурсами и др. Кроме того, железнодорожный транспорт активно интегрируется с автомобильным, авиационным и водным, тем самым развивая мультимодальные перевозки. Увеличиваются инвестиции в модернизацию и развитие инфраструктуры, а высокая конкуренция на железнодорожном рынке стимулирует инновации и повышает эффективность. Активное внедрение электрической тяги способствует снижению выбросов CO₂ и повышению энергоэффективности.

В России эти элементы представлены слабее, что ограничивает эффективность транспортных экосистем. При этом потенциал для их развития, особенно в контексте цифровой экономики, значительный. По результатам

исследования были выявлены возможности и рекомендации для развития транспортных экосистем в России (рис. 2).

Внедрение цифровых технологий, инвестирование в модернизацию инфраструктуры, включая строительство новых высокоскоростных линий, повысят эффективность и надежность железнодорожного транспор-

та. Создание интегрированных транспортных терминалов, где железнодорожный транспорт будет взаимосвязан с другими видами транспорта, позволит сделать грузовые перевозки более эффективными. Полный переход на электрическую тягу и другие экологические виды топлива снизит выбросы CO₂ на 70 %. Развитие конкуренции на

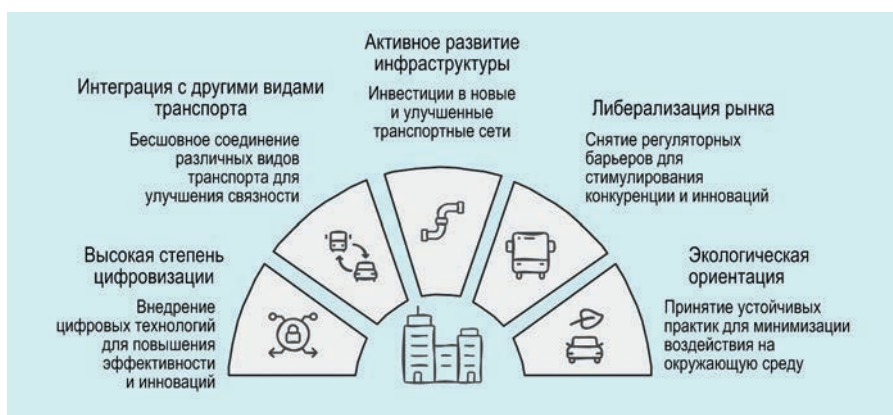


РИС. 1



РИС. 2

железнодорожном рынке путем создания условий для функционирования нескольких операторов даст возможность повысить инновационную активность и эффективность железнодорожного транспорта. Станции, интегрированные с городской инфраструктурой (коммерческими площадями, жилыми комплексами и другими объектами), будут способствовать увеличению привлекательности пассажирских перевозок.

В дальнейших исследованиях необходимо сосредоточиться на изучении влияния цифровых технологий на экологическую эффективность железнодорожного транспорта, анализе экономических эффектов развития транс-

портных экосистем, разработке методов оценки устойчивости транспортных экосистем и исследовании влияния транспортных экосистем на развитие регионов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. World Development Report 2020 : trading for development in the age of global value chains. Washington, DC, 2020. 293 p. URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2020>.
2. Energy Investment Report 2022 / International Energy Agency. 2022. 227 p. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022/overview-and-key-findings>.
3. European Commission. Rail Market Monitoring (RMMS). – 2025. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://transport.ec.europa.eu/document/download/49ed336c-86ea-461c-b20c-1397fab497f5_en?

filename=COM_2025_439_F1_REPORT_FROM_COMMISSION_EN_V2_P1_4191768.PDF

4. Бубнова Г.В., Бенин А.В., Ефремов А.В. Инструменты корпоративного управления деятельностью ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. Серия «Информационные технологии на железнодорожном транспорте». ЭИ/ЦНИИТЭИ. М., 2003. Вып. 4. С. 10–13.

5. Транспорт в России – 2022 : статистический сборник. М. : Росстат, 2022. 101 с. URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Transport_2022.pdf.

6. Integrated Report 2022 / Deutsche Bahn AG. Berlin, 2022. URL: <https://ibir.deutschebahn.com/2022/en/home/>.

7. Официальный сайт ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=23179>

8. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. (2022). Summary of the White Paper on Land, Infrastructure, Transport and Tourism in Japan, 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mlit.go.jp/en/statistics/content/001579732.pdf>

9. Transport in the EU: Current Trends and Issues. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2019-03/2019-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf>

10. Independent Regulators' Group – Rail. IRG-Rail (2024). Working group Market Monitoring. URL: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://irg-rail.eu/download/5/1079/202412IRG-Rail-GuidelinesonMarketmonitoring-Datacollection.pdf&ved=2ahUKEw-ja_dOPpu2QAxVCEBAIHfhVOyEQF-noECBsQAQ&usq=AOvVaw3TrpPKwi-AEZ-i1yhfrO2Td

11. Association of American Railroads. Annual Report 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://investor.unionpacific.com/static-files/43e87048-5884-481e-98bc-f056012b4066>

ЦИФРОВОЙ АРХИВ АСИ

А мы к вам с отличными новостями! Теперь у нашего журнала «Автоматика, связь, информатика» появился полноценный цифровой архив!

Все выпуски журнала за его столетнюю историю доступны по ссылке

<https://asi.npsrail.ru>



■ Ищите отдельные статьи или номера журналов с поиском по авторам, выпускам или годам

■ Скачивайте журналы

■ Расширяйте кругозор и пополняйте «копилку» знаний, читая наш журнал

Уникальная информация о развитии железнодорожной автоматике, связи и информатизации, изобретениях, интересных людях и событиях стала доступнее и ближе!

Благодарим за поддержку при создании архива ГК «Нацпроектстрой».

СОБЫТИЙНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ В ОБУЧЕНИИ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ



БУЛАВИН
Юрий Павлович,
Ростовский государственный
университет путей сообще-
ния, доцент, канд. техн. наук,
г. Ростов-на-Дону, Россия



ИГНАТЬЕВА
Олеся Владимировна,
Ростовский государственный
университет путей сообщения,
заведующий кафедрой «Вычис-
лительная техника и автомати-
зированные системы управле-
ния», доцент, канд. техн. наук,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Ключевые слова: станция, Марковский процесс принятия решений (MDP), алгоритм PPO, искусственная нейронная сеть

Аннотация. В статье рассмотрен событийно-ориентированный подход к моделированию среды для обучения с подкреплением DRL-агентов диспетчерского управления на железнодорожных станциях. Предложенный подход решает проблему неэффективного исследования пространства действий, присущую моделям с синхронным временем. На основе цифровой модели реального железнодорожного участка проведено обучение DRL-агентов для станций с различной операционной сложностью. Подтверждена работоспособность модели и проанализировано влияние гиперпараметров алгоритма PPO на качество итоговой политики, что закладывает основу для создания более робастных интеллектуальных систем управления.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСЛУГИ

■ Автоматизация управления перевозочным процессом – одна из стратегических задач для современных железнодорожных систем. Разработка интеллектуальных систем, способных в реальном времени принимать оптимальные диспетчерские решения, открывает возможности для повышения пропускной способности и энергоэффективности железных дорог [1–3].

ОАО «РЖД» планирует использовать искусственные нейронные сети (ИНС) в сочетании с цифровыми моделями работы станций и их компонентов. Причем ИНС будут обучаться не только на реальных данных из информационных систем перевозок, но и на данных из цифровых моделей.

Большое количество задач, в том числе близких к диспетчеризации движения поездов, решается с помощью обучения с подкреплением [4–6]. Глубокое обучение с подкреплением (DRL) часто требует разработки сложных сред обучения, что однозначно продемонстрировано в различных исследованиях. Например, в АО «ВНИИЖТ» ведутся работы по применению искусственного интеллекта (ИИ) в перевозочном процессе, построении энергооптимальных прогностных графиков, в том числе с применением алгоритмов обучения с подкреплением.

В Ростовском государственном университете путей сообщения проводятся исследования на базе

действующего учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» (ВЖД) по созданию цифровой модели железнодорожного участка Высочино – Тимашевская [7–9]. Разрабатываемая система предназначена для автоматического обеспечения приема, пропуска и отправления поездов на станциях в соответствии с нормативным графиком движения.

Успешное применение DRL напрямую зависит от архитектуры среды обучения. Использование стандартных сред с синхронной моделью времени, где агент принимает решение на каждом временном шаге, приводит к тому, что на большинстве шагов он выбирает действие «ожидание» [1]. Такое поведение вызывает дисбаланс классов в пространстве действий и значительно замедляет, а зачастую блокирует процесс обучения. Поэтому целесообразно создание асинхронных, событийно-ориентированных сред, в которых агент активируется только в моменты, требующие принятия управляющего решения.

В статье представлена модель такой среды, которая должна решить проблему разбалансировки действий. Кроме того, предлагается архитектура искусственной нейронной сети и рассматривается влияние некоторых гиперпараметров алгоритмов обучения с подкреплением на качество обучения.

Формально моделируемая среда, разработанная

для обучения агентов управления движением поездов, основана на парадигме Марковских процессов принятия решений (MDP) и включает описание инфраструктуры, поток событий, пространства состояний и динамики системы. В ее статическую структуру входят множества объектов станций; ребер графа, соответствующих перегонам и станционным путям; вершин графа, представляющих стрелочные переводы и точки примыкания; поездов, участвующих в симуляции.

Движение поездов в модели осуществляется согласно нормативному расписанию, которое служит основой для генерации событий в среде.

Расписание представляет собой набор записей для каждого поезда, описывающих плановые события на станциях: время прибытия и отправления, направление движения (четное, нечетное).

Основой динамики среды является поток событий, который определяет последовательность и время возникновения ключевых операционных моментов (прибытие, отправление).

Введем атом события (TrainEvent), который представляет собой кортеж, описывающий единичное событие в системе:

$$e := (u, n, q, b, h, \tau),$$

где $u \in U$ – станция события;

$n \in N$ – номер поезда;

$q \in \{0, 1\}$ – признак направления движения поезда;

$b \in \{0, 1\}$ – признак прибытия: $b = 1$, если $\tau = a_{n,u}$, иначе $b = 0$;

$h \in \{0, 1\}$ – признак остановки: $h = 1$, если $d_{n,u} - a_{n,u} > 0$, иначе $h = 0$;

$\tau \in R_{\geq 0}$ – модельное время наступления события.

Пространство всех возможных атомов событий обозначим как E .

Детерминированный поток событий E генерируется непосредственно из нормативного расписания T .

На основе расписания создается объединенное множество временных отметок T_{events} для всех событий прибытия и отправления.

После сортировки T_{events} по времени и удаления дубликатов формируется упорядоченная последовательность (поток) событий:

$$E = (e_1, e_2, \dots, e_{|E|}),$$

где $e_i \in E$ и $\tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_{|E|}$.

Для повышения робастности модели и адаптивности агента к реальным условиям эксплуатации вво-

дится стохастическое расширение потока событий, моделирующее случайные отклонения от расписания.

Фактические времена событий $\hat{a}_{n,u}, \hat{d}_{n,u}$ определяются как случайные величины с учетом независимых и одинаково распределенных случайных возмущений (временных шумов), взятых из нормального распределения с нулевым математическим ожиданием и заданным стандартным отклонением.

Физическая реализуемость возмущенного расписания \hat{T} достигается введением условия допустимости $C(\hat{T})$, которое гарантирует, что пиковое количество одновременно находящихся на станции поездов не превышает ее емкости. Стохастическое расписание генерируется путем сэмплинга из условного распределения $P(IC(\hat{T}) = 1)$. На практике это реализуется с помощью процедуры отбора с отклонением (rejection sampling): стохастическое расписание генерируется повторно до тех пор, пока не будет выполнено условие $C(\hat{T}) = 1$.

Стохастический поток событий \hat{E} строится аналогично детерминированному, но на основе возмущенных времен.

На каждом шаге симуляции среда оперирует очередью событий Q , которая инициализируется из потока E (или \hat{E}). Шаг потока формально определяется как операция извлечения первого элемента из очереди.

Механизм добавления новых событий выполняется как приоритетная вставка в голову очереди. Новые события формируются в ответ на действия агента, такие как прием или отправление поезда, которые могут инициировать последующие события (например, маневровые операции).

Задача управления движением поездов формулируется как Марковский процесс принятия решений (Markov Decision Process, MDP), который определяется кортежем (S, A, T, R, γ) .

Полное состояние системы $s_t \in S$ в момент времени t определяется как кортеж:

$$s_t = (\Xi_t, O_t, Q_t, \tau_t^{now}),$$

где Ξ_t – таблица «снимок» состояний всех поездов в системе (местоположение, статус);

$O_t \subseteq G$ – множество занятых участков инфраструктуры (путей, стрелок);

Q_t – текущая очередь событий;

$\tau_t^{now} \in R_{\geq 0}$ – текущее модельное время.

Агент получает состояние $o_t = \phi(s_t)$, представляющее собой векторизованную и нормированную на интервал $[0, 1]$ числовую репрезентацию состояния, пригодную для обработки нейронной сетью. В процессе наблюдения собирается информация о текущем событии, статусах поездов на станции, занятости инфраструктуры, которая может варьироваться в зависимости от конкретной реализации.

Пространство действий A дискретное, оно состоит из макрокоманд, соответствующих диспетчерским операциям, а также специального действия «ожидание»:

RECEPTION(n, p) – прием поезда n на станционный путь p ;

DEPARTURE(n, p) – отправление поезда n с пути p ;

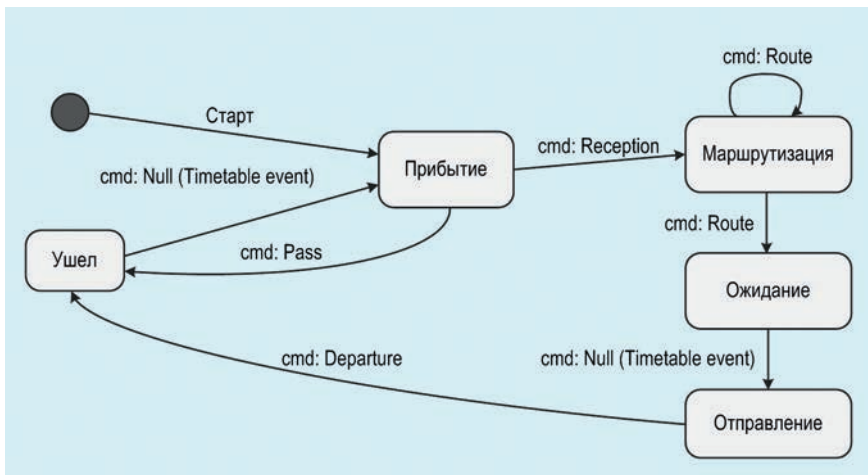


РИС. 1

$ROUTE(n, p_1, p_2)$ – внутристанционное перемещение поезда n с пути p_1 на путь p_2 ;

NULL – действие «ожидание», которое передает управление обработчику системных событий из очереди Q .

Динамика системы описывается обобщенной функцией перехода $T : S \times A \rightarrow S$, где A – пространство действий агента. Переход из состояния s_t в s_{t+1} зависит от действия агента a_t и может быть разбит на два процесса. Действиями агента могут быть как команды диспетчеризации, так и действие «ожидание» (NULL), при котором система обрабатывает следующее событие из очереди. Диаграмма состояний, иллюстрирующая жизненный цикл поезда в среде, представлена на рис. 1.

В данной работе используется пошаговая функция вознаграждения, которая определяется следующим образом:

$$R(s_t, a_t) = \begin{cases} -0.5, & \text{if } a_t = ROUTE, \\ -1.0, & \text{if action invalid or unsuccessful} \\ +1.0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Такая структура вознаграждения неявно поощряет сокращение лишних маневров и предотвращает выполнение недопустимых команд, направляя агента к поиску оптимальной последовательности действий.

Цель обучения – найти оптимальную стохастическую политику $\pi^* : S \rightarrow P(A)$, которая отображает состояния в распределении вероятностей над действиями для максимизации ожидаемого суммарного дисконтированного вознаграждения.

Рассмотрим архитектуру нейронной сети на основе многослойного перцептрона (Multi-Layer Perceptron, MLP) как начальную точку для сравнения с более сложными архитектурами в будущем. Схема архитектуры искусственной нейронной сети π^* на основе MLP представлена на рис. 2. Входной слой принимает векторизованное представление состояния среды, которое затем проходит через два скрытых слоя с активацией SiLU (Sigmoid Linear Unit) $SiLU(x) = x \cdot \sigma(x)$, где $\sigma(x)$ – сигмоидная функция [10]. Выходной слой формирует распределение вероятностей по действиям с помощью линейного слоя. Размерность скрытых слоев была установлена в 512 и 64 нейрона соответственно.

Движение поездов на участке задавалось согласно нормативному расписанию, которое предполагало прохождение 100 поездов в течение суток на участке Высокino – Тимашевская. Распределение прибывших и отправленных поездов представлено на рис. 3.

Обучение агента проводилось для каждой станции в отдельности. Для приема и отправки поездов в некоторых случаях требовалось выполнение команд по перемещению подвижного состава по станции (ROUTE). При этом из-за разного количества маневровых операций был проведен тюнинг гиперпараметров алгоритма обучения для станций Староминская (STM), которая соответствует 2 классу, и Орловка-Кубанская (ORL) – 4 классу. Для обучения

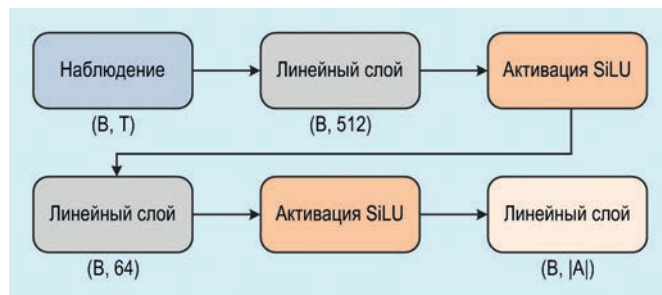


РИС. 2

использовались следующие признаки: состояние поезда; ребро графа, на котором находится поезд; признак транзитного поезда и команда, полученная на предыдущем шаге.

Кроме этого, исследовалось влияние таких гиперпараметров, как: количество эпох (Num Epochs): 1, 2, 4; коэффициент энтропии (Entropy Coefficient): 0, 0.1, 0.2; коэффициент потерь функции ценности (Value Function Loss Coefficient): 0.5, 1.0, 2.0; метод ограничения градиента (Gradient Clipping Method): значение («value»), норма («norm»), глобальная норма («global_norm»). Для обучения модели применялся алгоритм Proximal Policy Optimization (PPO) [11], реализованный в библиотеке Ray RLlib [12].

В результате исследования обнаружено, что вариация гиперпараметров оказывает слабое влияние для станции ORL, тогда как для станции STM влияние на качество обучения агента значительно.

Предложенная событийно-ориентированная модель, активирующая агента только в моменты принятия управляющего решения, позволяет преодолеть дисбаланс классов действий, характерный для синхронных подходов.

Выбранная архитектура на основе многослойного перцептрона (MLP), несмотря на свою структурную простоту, продемонстрировала достаточную эффективность для станций с преимущественно транзитным движением.

Для станций со сложной операционной логикой обучение показало чувствительность к выбору гиперпараметров. Это может свидетельствовать о недостаточной мощности стандартной MLP-архитектуры для аппроксимации сложной функции ценности в задачах с разветвленным пространством состояний-действий, что характерно для станций с интенсивными внутристанционными перемещениями.

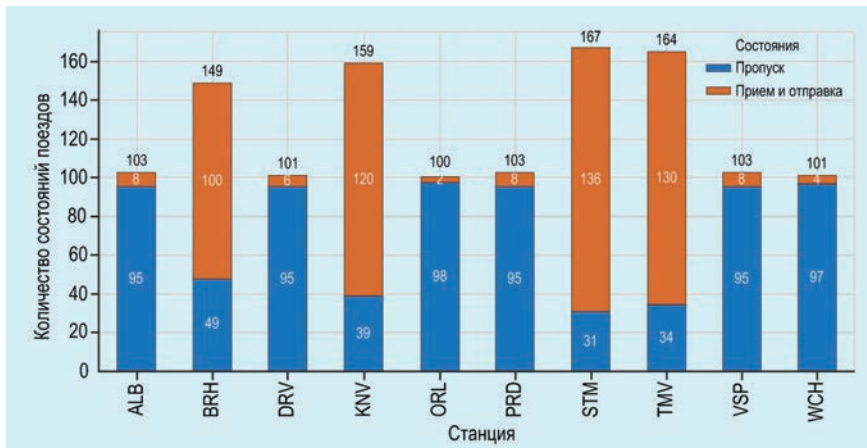


РИС. 3

Высокая волатильность процесса обучения в некоторых случаях и сильное влияние таких параметров, как коэффициент потерь функции ценности и метод ограничения градиента, свидетельствуют о наличии сложного, негладкого ландшафта оптимизационной задачи для станций с большой долей маневровых операций. Данный факт подчеркивает необходимость индивидуальной калибровки DRL-алгоритмов для гетерогенных объектов управления. Тем не менее, достижение максимальной награды, близкой к удвоенному числу событий, подтверждает способность модели формировать высокоэффективную политику при эффективной конфигурации гиперпараметров.

Для повышения адаптивности и обобщающей способности агента в дальнейшем целесообразен переход к более сложным нейросетевым архитектурам. Повысить устойчивость и ускорить сходимость можно путем предварительного предобучения каждого эксперта по классу станции, что фактически сделано в данной работе, или специализированным подзадачам с последующим объединением в общую смесь и совместным дообучением в контуре RL.

Полученные результаты закладывают основу для дальнейших исследований, направленных на разработку более робастных и масштабируемых решений, таких как архитектуры «Смесь экспертов» и многоагентные системы, способные к координации действий в масштабах всего железнодорожного полигона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. 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.

2. Neural network control of the transportation process in railway transport: problems and future tasks / E. Mamaev, Y.P. Bulavin, O. Ignatieva, E. Chebotareva // Proceedings of the Eighth International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'24). Vol. 1. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. P. 91–107. DOI:10.1007/978-3-031-77688-5_10.

3. Булавин Ю.П., Игнатьева О.В. Модели нейронных сетей для управления пропуском поездов // Автоматика, связь, информатика. 2025. № 2. С. 24–26. DOI: 10.62994/AT.2025.2.2.005. EDN: WKOQGT.

4. Veres M., Moussa M. Deep learning for intelligent transportation systems : a survey of emerging trends // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2020. Vol. 21, № 8. P. 3152–3168. DOI: 10.1109/TITS.2019.2929020.

5. A systematic survey on big data and artificial intelligence algorithms for intelligent transportation system / S. Abirami, M. Pethuraj, M. Uthayakumar, P. Chitra // Case Studies on Transport Policy. 2024. Vol. 17, N 9. Art N. 101247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101247>.

6. A literature review of artificial intelligence applications in railway systems / Tang R. etc. / Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. 2022. Vol. 140, N 7. Art N. 103679. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103679>.

7. Верескун В.Д. и др. Особенности построения методики деловых игр на виртуальной железной дороге при взаимодействии персонала дирекции управления движением и тяги / В.Д. Верескун, Д.В. Романова, Д.Е. Притыкин, Н.Н. Мусиенко // Вестник РГУПС. 2021. № 4 (84). С. 83–90. DOI: EDN: WQWWFK.


8. Принципы имитационного моделирования реального участка железной дороги с точки зрения разработки его топологической структуры и ее связи с цифровыми моделями объектов инфраструктуры / В.Д. Верескун, Д.Е. Притыкин, Б.Д. Дагдьян, Д.В. Романова // Вестник РГУПС. 2022. № 4(88). С. 177–183. EDN: FGKQRQ.

9. Разработка подсистемы имитации движения поездов в режиме исполнения нормативного графика движения в рамках учебно-лабораторного комплекса «Виртуальная железная дорога» / В.Д. Верескун, Д.Е. Притыкин, Б.Д. Дагдьян, А.В. Решетов, А.В. Мищенко // Вестник РГУПС. 2023. № 2(90). С. 231–239. EDN: LHOMFC.

10. Elfving S., Uchibe E., Doya K. Sigmoid-weighted linear units for neural network function approximation in reinforcement learning // Neural Networks. 2018. Vol. 107, N 11. P. 3-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.12.012>.

11. Proximal policy optimization algorithms / J. Schulman J. etc. // arXiv:1707.06347v2. 2017. 20 Jul.

12. RLlib Flow: distributed reinforcement learning is a dataflow problem / E. Liang etc // Conference on Neural Information Processing Systems : 35th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2021). 2021. (Advances in Neural Information Processing Systems; Vol. 34).



Подписка на бумажную версию журнала «АВТОМАТИКА, СВЯЗЬ, ИНФОРМАТИКА» на первое полугодие 2026 г.



Для оформления подписки через Почту России (можно на 1 месяц) достаточно перейти по ссылке <https://podpiska.pochta.ru/press/P5063>, заполнить заявку на получение журнала на домашний адрес, до востребования или через почтовый ящик и оплатить подписку онлайн. Стоимость одного номера 505,92 руб., за 4 мес. 2026 г. 2023,68 руб.



Оформить онлайн подписку также можно через наш сайт www.asi-journal-rzd.ru в разделе «Подписка».

Наши авторы и читатели могут также приобрести номера журналов по перечислению **с самовывозом** из Центра научно-технической информации и библиотек – филиала ОАО «РЖД» (ул. Новая Басманная, д. 4–6, стр. 2).

Стоимость одного экземпляра для физ. лиц 408,10 руб. с учетом НДС
для юр. лиц 674,30 руб. с учетом НДС

Для оформления счета для покупки журналов обращайтесь в ЦНТИБ по телефонам:
+7 (499) 262-81-58, +7 (499) 262-54-29

ОСВОЕНИЕ ЦИФРОВОГО ПРОСТРАНСТВА САХАЛИНА

С предложением модернизации существующей технологической сети передачи данных на острове Сахалин руководство Сахалинского регионального центра связи выступило два года назад. Их предложение было одобрено начальником ЦСС, рассмотрено и внесено в дорожную карту «Дальневосточная дорога – полигон опережающего развития». В статье рассказывается том, как проходила модернизация сети.

■ На предварительном этапе коллективом Сахалинского регионального центра была разработана схема будущей сети связи с учетом топологии железной дороги, проведен анализ занятости волокон и расчет необходимого количества оборудования. Для критичных узлов предусмотрена установка двух маршрутизаторов с целью обеспечения непрерывной работы критических сервисов.

На первом этапе строительства были организованы доставка и установка оборудования в узлах связи. Для настройки новых систем использовали специальный TFTP-сервер, предназначенный для реализации простого протокола передачи небольших файлов. Сервер основан на транспортном протоколе UDP и модели «клиент-сервер». Это позволило проводить одновременную настройку нескольких устройств, что значительно ускорило работу. Одновременно с настройкой оборудования ремонтно-восстановительные бригады устраняли «недочеты», обнаруженные на волоконно-оптических линиях связи. За период строительства в девяти местах была произведена сварка ВОК, благодаря чему характеристики кабельной трассы восстановлены до эксплуатационных значений.

Чтобы организовать электропитание нового оборудования была проведена ревизия потребителей, высвобождены и отключены малоиспользуемые электроустановки. Такая оптимизация дала возможность подключить новое оборудование без ущемления существующих комплектов гарантированного электроснабжения.

В ходе реализации проекта работники Сахалинского РЦС сталкивались с трудностями в доставке оборудования на остров с материка, а также с обеспечением материалами и топливом. Тем не менее за счет слаженного взаимодействия специалистов регионального центра и Хабаровской дирекции связи вопросы по логистике и материальному снабжению удавалось решать оперативно и практически без задержек.



Старший электромеханик В.А. Лопатин выполняет монтаж оборудования

Кроме того, проблемой для сахалинцев стало отсутствие специализированного опыта эксплуатации высокоскоростных цифровых сетей связи. Большую помощь в этом коллективу оказали работники Иркутского центра управления сетями связи. Они постоянно консультировали сахалинцев по вопросам настройки оборудования и формирования программных конфигураций и др.

Следует отметить, что ранее существовавшая сеть представляла собой частично сеть IP, а частично – SDH, в основе которых лежали разные технологии передачи трафика, работала на оборудовании Cisco. Она обеспечивала лишь 20 узлов и имела пропускную способность 2 Мбит/с, что было недостаточным для функционирования современных сервисов, таких как видеоконференция, видеонаблюдение, передача и обмен файлами, работа информационных систем и др. При построении новой сети удалось сделать ее единой, повысить надежность, увеличить пропускную способность и количество портов, что дало возможность подключения большего числа пользователей. При этом новая сеть стала более гибкой и простой с точки зрения масштабируемости, ее проще модернизировать для подключения новых абонентов.

Вновь построенная пакетная IP-сеть развернута на 36 узлах, скорость соединения составляет 1 Гбит/с, что в 500 раз выше прежней. Этого вполне достаточно для обеспечения качества видеосервисов уровня 4K и последующего развития IP-телефонии, как ОТС, так и ОбТС, перехода на IP-стандарт для коммутации радиостанций поездной радиосвязи, внедрения интеллектуальных систем мониторинга. Новая система является основой надежной цифровой инфраструктуры Сахалинского регионального центра связи с возможностью внедрения современных перспективных решений в области телеметрии и автоматизации транспортных процессов.

Для успешной реализации сложного проекта потребовались усилия многих профессионалов, каждый из которых внес значительный вклад в достижение общей цели. К таким профессионалам относятся: начальник участка производства А.А. Панфилов, старший электромеханик В.В. Саранчин, ведущий администратор телекоммуникационной сети Е.В. Федоренко, специалисты ЦТО О.В. Болтова и В.А. Бондарик и многие другие.

МАНЖОС Алексей Игоревич,

ОАО «РЖД», Центральная станция связи, инженерно-техническая служба, отдел развития и сопровождения систем управления сетями связи, ведущий технолог, Москва, Россия

АНТОШИН Роман Андреевич,

ОАО «РЖД», Центральная станция связи, Хабаровская дирекция связи, начальник Сахалинского РЦС, г. Южно-Сахалинск, Россия



КАЗМЕНКИНА

Светлана Леонидовна,

ОАО «РЖД», Центр организации труда и проектирования экономических нормативов (ЦОТЭН), ведущий инженер отдела организации труда в хозяйствах автоматики и телемеханики, корпоративной информатизации и телекоммуникации, Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА

Концепцией ОАО «РЖД» одной из основных стратегических целей развития железнодорожного транспорта определено внедрение новых технологий для достижения целевых экономических показателей, таких как снижение себестоимости транспортных услуг. В компании большое внимание уделяется внедрению в производственные процессы систем диагностики и мониторинга, дающих возможность сократить затраты на обслуживание инфраструктуры.

■ Отказы в работе систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) помимо негативного влияния на безопасность движения, приводят к увеличению трудозатрат на восстановление их работоспособности, а также дополнительных ресурсов на доставку персонала к месту работ.

Для соответствия целевым показателям в хозяйстве автоматики и телемеханики особое внимание уделяется развитию систем технической диагностики и мониторинга устройств. Такие системы помогают выявлять предотказные состояния оборудования, тем самым минимизируя риски отказов в их работе, которые могут привести к угрозе безопасности и сбою графика движения поездов. В хозяйстве применяется система технической диагностики и мониторинга (СТДМ).

Первый центр мониторинга был открыт 20 лет назад на Октябрьской дороге. За это время СТДМ активно тиражировалась на сети дорог, а также значительно расширились ее функциональные возможности.

В 2020 г. были завершены основные этапы по типизации функций и развитию общей информационной платформы СТДМ, а через год утверждено Типовое положение о центре технической диагностики и мониторинга.

На сегодняшний день создана единая функциональная модель СТДМ, которая может непрерывно осуществлять дистанционный контроль технического состояния объектов инфраструктуры в онлайн-режиме, накапливать информацию об их состоянии за определенный период времени, а также выполнять автоматизированный контроль параметров.

Использование в системе диагностики калиброванных измерительных каналов значительно повысило точность измерений параметров контролируемого оборудования. Их точность сопоставима с результатами, полученными с помощью эталонных измерительных приборов.

Применение СТДМ позволило изменить подход к техническому обслуживанию устройств, так как появилась возможность исключения ряда операций по измерению параметров устройств СЦБ на месте их установки. Это значительно сократило время выполнения ГТП, снизило трудозатраты, что сказалось на увеличении производительности труда.

Согласно требованиям Положения о системе нормирования труда в ОАО «РЖД», совершенствование или внедрение новой техники и технологий, обеспечивающих рост производительности труда, являются основанием для пересмотра его норм. При этом нормативная численность служит регулятором фактической численности персонала и не позволяет содержать его сверх технологической потребности, что во многом влияет на производительность труда.

Масштабное развитие СТДМ также вызвало потребность в пересмотре норм с учетом изменения трудозатрат на обслуживание устройств ЖАТ, подключенных к диагностической системе. В январе прошлого года были разработаны и утверждены «Изменения в Нормативы численности работников дистанций сигнализации, централизации и блокировки ОАО «РЖД». Изменениями предусмотрено, что при определении оперативной потребности в персонале, обслуживающем устройства ЖАТ, применяются дифференцированные нормы, учитывающие использование средств СТДМ.

Укомплектованность списочной численности работников к нормативной является одним из основных показателей соответствия численности к объему выполняемых работ, а также качества норм труда.

Применение детализированных норм обслуживания, учитывающих использование средств СТДМ на сети дорог, позволит обеспечить содержание оптимального количества производственного персонала.

В качестве примера выступает Октябрьская дорога, которая на данный момент имеет наибольший охват устройств, подключенных к системе мониторинга. Благодаря внедрению средств СТДМ укомплектованность основной производственной группы после расчета по новым нормативам выросла с 93,9 % до 98,07 % (исходя из объема работ 2024 г.).

Таким образом, внедрение современных диагностических средств ЖАТ совместно со своевременной актуализацией норм труда обеспечивает наиболее рациональное использование трудовых ресурсов, дает возможность принимать оптимальные управленческие решения по организации производственных процессов, а также оказывает положительное влияние на темп роста производительности труда.

В ПРИОРИТЕТЕ МУЛЬТИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ И ТИРАЖИРОВАНИЕ ЛУЧШИХ ИДЕЙ

В конце прошлого года в ОАО «РЖД» были подведены итоги внедрения технологий бережливого производства. В ходе заседания Центрального проектного офиса бережливого производства заместитель генерального директора – главный инженер ОАО «РЖД» В.Ф. Танаев вручил награды отличившимся коллективам за достижение высоких результатов в совершенствовании производственных процессов и внесших большой вклад в развитие бережливого производства.

■ Итоги подводились за проектный год, который начался в IV квартале 2024 г. и завершился в III квартале 2025 г. За это время в компании был реализован 1961 проект, улучшено 513 производственных процессов. Экономический эффект от внедрений превысил плановый показатель на 35 % и составил 2,8 млрд руб. В.Ф. Танаев отметил, что такой результат достигнут благодаря вкладу всех участников проектных офисов и рабочих групп, которые сопровождали каждый проект от идеи до внедрения на линейном и дорожном уровнях.

Эффект от мультифункциональных проектов (МФП) относительно предыдущего года увеличился в 1,3 раза. При этом наилучшие результаты показали Дирекция тяги (655 млн руб.), Управление пути и сооружений ЦДИ (595 млн руб.), Центральная дирекция моторвагонного подвижного состава (469 млн руб.), Центральная дирекция по ремонту пути (258 млн руб.), Управление вагонного хозяйства ЦДИ (213 млн руб.).

Среди мультифункциональных – лучшим признан проект «Изменение технологии работы пункта технического обслуживания станции Челябинск-Главный» Южно-Уральской дороги.

В номинации «Лучший функциональный проект» победила Тульская дистанция СЦБ Московской дирекции инфраструктуры с проектом «Ремонт систем электрической централизации в части функционала диагностики и мониторинга с применением материалов повторного использования».

Лучшей железной дорогой по внедрению бережливого производства стала Приволжская магистраль.

Кроме этого, были объявлены имена победителей по организации рабочего пространства. В номинации «Лучшая 5С – трансформация рабочего места» лидерами стали команды эксплуатационного локомотивного депо Новокузнецк Западно-Сибирской дирекции тяги, моторвагонного депо Отрожка Юго-Восточной дирекции моторвагонного подвижного состава, коллектив производственного участка Сольвычегодск Северной дирекции по ремонту тягового подвижного состава.

Центральным проектным офисом бережливого производства были определены задачи на 2026 г. В приоритете остаются мультифункциональные проекты, особое внимание будет уделено тиражированию положительного опыта, обучению сотрудников бережливому производству, созданию дополнительных условий для вовлечения работников в генерацию идей по совершенствованию технологических процессов.

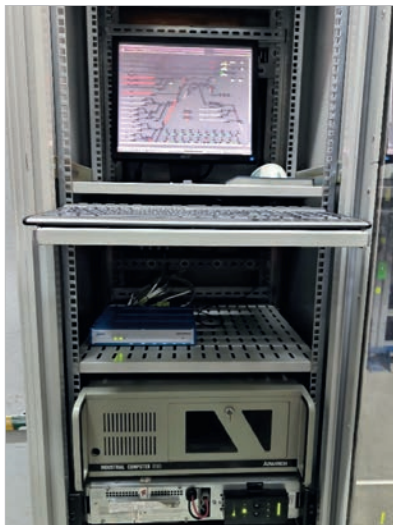
■ В Управлении автоматики и телемеханики ЦДИ ОАО «РЖД» внедрение бережливого производства является одним из актуальных способов повышения эффективности деятельности. Ведь в основе концепции бережливого производства лежит повышение эффективности путем выявления и устранения «скрытых» непроизводительных потерь на предприятии с помощью особых методов. Существующая в хозяйстве система инструментов бережливого производства обеспечивает постоянное улучшение операционной эффективности, не изменяя организационной структуры предприятия.

За годы внедрения принципов бережливого производства структурные подразделения хозяйства стабильно показывали положительные результаты, выполняя заданные компанией планы по экономии затрат. Только за последние пять лет удалось получить экономический эффект более 533 млн руб., реализовать 968 проектов с использованием новых технологий и тиражированием лучших практик.

В прошлом году в хозяйстве автоматики и телемеханики реализован 161 проект, из которых 81 % – тиражируемых, 19 % – новых, 12 % – мультифункциональных, 88 % – функциональных проектов. При этом участие в улучшениях приняли все 16 дирекций инфраструктуры. Экономический эффект от проектов бережливого производства составил 128 млн руб., что на 12 % выше запланированного результата.

Высокие достижения работников хозяйства по улучшению производственных процессов были не раз отмечены руководством ОАО «РЖД». В рамках конкурса по бережливому производству проекты дистанций СЦБ неоднократно занимали призовые места в различных номинациях. Так, в 2022 г. лучшим рабочим местом по системе 5С признано рабочее место электромеханика КИП Волховстроевской дистанции СЦБ Октябрьской дирекции инфраструктуры. В 2024 г. в номинации «Лучшее образцовое предприятие» вновь отличилась Волховстроевская дистанция СЦБ, заняв первое место. Не стал исключением 2025 г. В номинации «Лучший функциональный проект» победил проект Тульской дистанции СЦБ Московской дирекции инфраструктуры «Ремонт систем электрической централизации в части функционала диагностики и мониторинга с применением материалов повторного использования».

Цель проекта – сократить эксплуатационные расходы на приобретение новых материалов для ремонта систем электрической централизации



Восстановленное оборудование системы диагностики и мониторинга.
Проект Тульской дистанции СЦБ

при реализации функционала диагностики и мониторинга.

На железнодорожных станциях Берники, Тула-Вяземская и близлежащих перегонах отсутствовала возможность контролировать параметры работы систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Это не позволяло выявлять предотказные состояния, отслеживать выполнение графика технологического процесса, а также фиксировать открытия (закрытия) релейных помещений, что могло привести к нарушению безопасности движения поездов.

Было принято решение о внедрении проекта с применением материалов повторного использования, полученных в ходе капитального ремонта в границах Московского транспортного узла. Экономический эффект от реализации составил почти 10,4 млн руб.

В процессе реализации проекта произведена установка необходимого оборудования, корректировка ПО устройств связи, проверка и увязка их по потокам Е-1 с соседними станциями. Кроме этого, был организован линейный пункт в типовом шкафу ШДК, настроены контроллеры, выверены сигналы телесигнализации, проверены корректности измерений аналоговых сигналов питающих установок и рельсовых цепей.

Благодаря внедрению проекта бережливого производства появилась возможность диагностики и мониторинга на станциях Берники, Тула-Вяземская и близлежащих перегонах параметров работы систем и устройств ЖАТ, что значительно повысило надежность их работы.

■ В Центральной станции связи за прошедший год реализовано 119 проектов бережливого производства, среди которых 58 новых функциональных проектов и 61 – тиражируемый. При этом 76 проектов являются multifunctional. Внедрение улучшений в производственные процессы филиала позволило на 10 % увеличить запланированный показатель эффективности.

Наиболее высокие результаты добились проектные коллективы Московской, Октябрьской, Ростовской и Воронежской дирекций связи, получившие существенный экономический эффект.

Проектные офисы в дирекциях и оперативные рабочие группы в региональных центрах связи реализуют функциональные проекты в рамках предприятий, а также участвуют в multifunctional проектах. Например, только от реализации МФП экономическая эффективность для ЦСС в 2025 г. увеличилась на 8 % по сравнению с предыдущим годом.

Проектные команды и работники филиала принимают активное участие в ежегодном конкурсе ОАО «РЖД» по бережливому производству. За звание «Лучший функциональный проект» боролись все дирекции связи. Среди номинантов победителем стал проект Челябинского регионального центра связи Челябинской дирекции связи «Изменение схемы электропитания обогревательных элементов ОВЭЛ с даль-

нейшей оптимизацией размещения оборудования». Цель проекта – снижение энергоемкости помещения.

Система отопления радиорелейного пункта была выполнена из 122 электрических панелей типа ОВЭЛ. При существовавшем размещении технологического оборудования связи задействованная площадь помещений превышала 128 кв. м, для обогрева которой требовалось значительное количество электрической энергии. Работники центра, проанализировав возможность оптимизации размещения оборудования, высвободили малоотоплаиваемые площади за счет перемещения и уплотнения оборудования. После проведения технических мероприятий, исключающих из схемы отопления здания элементы ОВЭЛ, энергопотребление снизилось в четыре раза, что позволило получить хороший экономический эффект.

В номинации «Лучший multifunctional проект» приняли участие все дирекции связи. Среди номинантов победителем стал проект Калининградской дирекции «Организация сети передачи данных с использованием волоконно-оптической линии связи на Калининградской железной дороге». Цель проекта – повышение надежности работы линии связи, увеличение скорости и пропускной способности передачи данных между зданиями Калининградской дирекции по ремонту тягового подвижного состава и Калининградской дирекции моторвагонного подвижного состава станции Калининград-Пассажирский. Передача трафика между дирекциями была организована по медножильной кабельной линии через модемы. Эта линия связи физически устарела, неоднократно подвергалась ремонту и не отвечала современным требованиям по скорости и пропускной способности передачи данных.

Для повышения качества передачи трафика и оперативности работы информационных систем, а также исключения сбоев в предоставлении информации и увеличения пропускной способности был осуществлен перевод каналов связи в волоконно-оптический кабель. В результате реализации проекта значительно повысилось качество предоставления услуг связи. При этом был получен не только технологический, но и экономический эффект.

НАЗИМОВА С.А.

НИКОГДА НЕ ОСТАНАВЛИВАЙТЕСЬ НА ДОСТИГНУТОМ...

1 января исполнилось 75 лет одному из легендарных СЦБистов, профессионалу высочайшего уровня, талантливому руководителю, воспитавшему целую плеяду отличных специалистов и руководителей – Анатолию Николаевичу Шабалину.

■ Начав свою работу на Восточно-Сибирской дороге, Анатолий Николаевич прошел долгий и славный путь от электромонтера СЦБ до начальника службы автоматизации и телемеханики Октябрьской дороги.

В процессе трудовой деятельности он много раз находил решения, казалось бы, неразрешимых задач. В период работы на Восточно-Сибирской дороге на его долю выпала модернизация сложных участков Тайшет – Лена и Хребтовая – Усть-Илим протяженностью почти 950 км, а также уникальное по скорости (за 8 ч) переключение трехпутного участка Зима – Слюдянка протяженностью 440 км на электротягу переменного тока.

Став начальником службы автоматизации и телемеханики Октябрьской дороги, он активно участвовал в переводе на электротягу переменного тока участка Лоухи – Мурманск, электрификации участков Идель – Свирь и Волховстрой – Бабаево со строительством станции стыкования двух родов тягового тока, развитии подходов к портам в Усть-Луге, строительстве Ладожского вокзала в совокупности со вторыми путями от станции Дача Долгорукова до станции Горы, а также организации скоростного движения на участке Санкт-Петербург – Бусловская и высокоскоростного движения на главном имиджевом участке страны Санкт-Петербург – Москва.

Достигнув таких результатов за свою трудовую деятельность, он мог бы спокойно отдыхать на заслуженной пенсии. Однако девиз по жизни юбиляра «Никогда не останавливаться на достигнутом».

Анатолия Николаевича и сегодня можно часто встретить в службе, он внимательно следит



за всеми событиями в хозяйстве, дает мудрые советы руководителям как службы, так и Управления автоматизации и телемеханики. Его мнением, оценкой (иногда достаточно критичной) дорожат, к его рекомендациям прислушиваются и применяют их.

Мы встретились с Анатолием Николаевичем, чтобы поговорить и записать его напутствие нам, сегодняшним руководителям и специалистам родного хозяйства автоматизации и телемеханики.

Делом жизни считает Шабалин два своих самых важных проекта – создание первого в хозяйстве автоматизации и телемеханики Центра технической диагностики и мониторинга устройств ЖАТ и выделение ремонтной составляющей в хозяйстве.

В марте текущего года ЦТДМ ЖАТ на Октябрьской дороге исполнится 20 лет. Сегодня ни одно подразделение в хозяйстве не представляет обеспечения надежной и безопасной работы устройств ЖАТ без систем диагностики, централизованного контроля за состоянием устройств

и организацией своевременного устранения нарушений на стадии «предотказного» состояния.

А тогда, в 2006 г., чтобы доказать необходимость организации центра именно в службе автоматизации и телемеханики, пришлось немало преодолевать, убеждать, настаивать и держать удар, поднимать информацию о состоянии устройств с линейного уровня на уровень дороги. Но идея внедрения средств диагностики и обработки их информации на центральном уровне заключалась не только в мгновенном эффекте устранения нарушений на стадии «предотказа», что позволило снизить отказы с 20–30 в сутки до единичных случаев в течение года.

Анатолий Николаевич рассматривает СТДМ как первый шаг к изменению всей технологии обслуживания устройств. Уже сегодня 25 работ по техническому обслуживанию устройств ЖАТ выполняются посредством системы диагностики, реализован центральный уровень СТДМ, в том числе в системе АС ОПП.

Он считает, что сейчас настало время сделать следующий и очень ответственный шаг – перейти на обслуживание устройств ЖАТ «по состоянию». К тому же за 20 лет работы СТДМ накопилась огромная база знаний, где описаны «предотказы», их причины, характер изменения параметров устройств ЖАТ – то, что называется «большие данные». А.Н. Шабалин убежден, что использование искусственного интеллекта даст возможность прогнозировать состояние устройств ЖАТ для целевого планирования ресурсов программ повышения надежности. Кроме того, искусственный интеллект способен выдавать готовые решения о причинах и



В Псковской дистанции СЦБ (2010 г.)



Сетевое совещание в Санкт-Петербурге (2003 г.)

способах устранения инцидентов эксплуатационному штату.

«На пороге строительства и ввода в действие ВСМ, где скорости и интенсивность движения предъявляют свои высочайшие требования, будущее за СТДМ, за обслуживанием «по состоянию» и искусственным интеллектом», – подчеркивает Анатолий Николаевич.

Важнейшей частью перехода на обслуживание «по состоянию» он видит выделение ремонтной составляющей в хозяйстве автоматики и телемеханики. В 2009 г. на Октябрьской дороге в Пскове была организована первая ремонтная дистанция СЦБ. Руководил ею верный соратник А.Н. Шабалина Ю.П. Комляков. На территории дистанции были созданы специализированные цеха, установлены станки, подобрано оборудование и инструменты. Этим вопросом в те годы «болела» вся служба. Была проработана технология, подготовлены, защищены и подписаны регламенты работы дистанции.

Сегодня в ЦДИ организованы 33 ремонтных дистанции, в том числе в Октябрьской ДИ шесть. При этом все эксплуатационные дистанции обслуживаются ремонтными. Далее, считает Анатолий Николаевич, необходимо выработать единые подходы к порядку организации работ ремонтных дистанций во всех ДИ. Для этого необходимо на уровне служб и Управления создать вертикаль управления этим направлением в хозяйстве. Тогда можно будет получить максимальный эффект от разделения процессов ремонта и эксплуатации.

Мы спросили у Анатолия Николаевича, как в таком напряженном ритме работы начальника службы одной из самых сложных дорог, он мог найти время для создания прорывных технологий в работе хозяйства? «Все очень просто. У меня был замечательный, надежный, слаженный коллектив. Каждого сотрудника я знал и видел, понимал его возможности и стремления. Руководитель должен быть лидером, должен вести за собой, быть вовлечен, всесторонне информирован, уметь оценивать последствия и риски. И главное – принимать взвешенные решения и нести за них ответственность», – рассказывает А.Н. Шабалин.

Стоит отметить, что благодаря знаниям и настойчивости Анатолий Николаевич умел убеждать в правоте своих идей как руководителей Управления, так и дороги. Ему доверяли в вопросах технических решений, технологии обслуживания, качества изготавливаемой продукции. За этим доверием стоял напряженный и ответственный труд, а принятие решений предшествовало открытое обсуждение вопросов с разработчиками, заводчанами, специалистами проектного института. Создание ЦТДМ является одним из примеров глубокой и всесторонней проработки вопроса, а затем настойчивости в убеждении его необходимости.

Анатолий Николаевич отмечает, что внедрение новых технологий, изменение структуры службы были бы невозможны без поддержки руководителей Управления и Ок-

тябрьской дороги В.М. Кайнова, В.И. Зиннера, Г.П. Комарова. А реализация амбициозных проектов не состоялась бы без вовлеченности и участия членов его коллектива, среди которых были Г.Ф. Насонов, П.С. Ракул, В.С. Скипюк, А.С. Берсенев, Ю.П. Комляков, П.А. Капуста, О.А. Миронова, Н.А. Кудрявцева, А.А. Иванов, М.В. Долгов, С.А. Куренков.

Будучи сотрудником службы автоматики и телемеханики, работавшим под его руководством, могу сказать – Анатолий Николаевич был очень требовательным руководителем, но работа с ним – это работа в команде, где все шло за своим надежным и грамотным лидером. Он не скупился на похвалы несмотря на то, что и критика его была достаточно жесткой. Мы, служба, понимали стоящие перед нами цели и видели пути, по которым к ним двигались. Многие из нас используют школу Шабалина и в сегодняшней работе со своими коллективами.

От имени работников службы автоматики и телемеханики Октябрьской дирекции инфраструктуры (бывших и нынешних) от всей души поздравляем Вас, Анатолий Николаевич, с 75-летием! Желаем Вам долгих лет жизни и крепкого здоровья. Мы всегда ждем Ваших советов и очень дорожим Вашей оценкой наших сегодняшних результатов. И мы знаем и помним, что никогда нельзя останавливаться на достигнутом. А Вы, дорогой наш руководитель, и по сей день являетесь примером постоянного движения вперед!

МОСКВИНА Е.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Прошедший год был богат на интересные и значимые события в отечественной железнодорожной отрасли. В статье подробнее рассмотрим некоторые из них.

■ В 2025 г. с вокзалов и станций сети ОАО «РЖД» отправилось более 1,3 млрд пассажиров – это максимум с 2006 г.

■ Теперь оформление билетов на детей – граждан РФ до 14 лет для выезда за пределы России на поездах, отправляющихся с 20 января 2026 г., будет осуществляться только по заграничному паспорту. Билеты на поездки по территории России по-прежнему можно приобретать по свидетельству о рождении.

■ Холдинг «РЖД» запустил телеграм-бот «Электрички РЖД» для покупки билетов на пригородные электропоезда. С помощью «электронного кассира» можно оформить: билеты без указания мест; льготные проездные документы для школьников и студентов; квитанции на провоз животных, багажа и велосипедов.

■ Фирменный пассажирский поезд «Курский соловей» сообщением Курск – Москва возобновил курсирование после 12-летнего перерыва. Кроме того, в его вагоне СВ реализован проект «Таланты Курского края». В каждом купе – уникальное оформление, посвященное одному из известных людей, прославивших регион – художнику Александру Дейнеке, поэту Афанасию Фету, писателю Аркадию Гайдару и др.

■ Двухэтажный скоростной поезд «Буревестник» начал курсировать между Москвой и Нижним Новгородом. Для удобства пассажиров поезд отправляется три раза в день. Интересно, что в вагонах с местами для сидения в потолок встроена подсветка «звездное небо»; в вагонах СВ пассажирам предлагается воспользоваться уникальным сервисом, произведенным специально для поезда, а в меню вагона-бистро, помимо обычных блюд, включены старинные блюда русской кухни.

■ По просьбе АО «НК «Казахстан темир жолы» (КТЖ) холдинг «РЖД» возобновил прямое железнодорожное сообщение между Москвой и Алматы (Республика Казахстан).

На маршруте через день будут курсировать два беспересадочных вагона (купейный и плацкартный). Из Алматы они отправляются в составе поезда № 7/8 Алматы – Саратов, а из Москвы – в составе поезда № 85/86 Москва – Дербент. Время в пути составляет около 3,5 суток.

■ Возобновилось курсирование международных беспересадочных вагонов между Пхеньяном (КНДР) и Москвой. Путь длиной свыше 10 тыс. км является самым протяженным в мире беспересадочным железнодорожным маршрутом.

Согласно договоренности с Министерством железных дорог КНДР, поезда из Пхеньяна будут отправляться 3-го и 17-го числа каждого месяца и прибывать в российскую столицу 11-го и 25-го числа. Из Москвы поезда будут стартовать на следующий день – 12-го и 26-го числа соответственно – и приезжать в столицу Северной Кореи 20-го и 4-го числа (следующего месяца).

Железнодорожное сообщение между РФ и КНДР было приостановлено в феврале 2020 г. из-за пандемии коронавируса.

■ Первые двухсистемные электропоезда «Финист» начали курсировать по маршруту Екатеринбург – Красноуфимск в Свердловской области. Это первый полностью отечественный электропоезд двойного питания, предназначенный для эксплуатации на электрифицированных линиях постоянного и переменного тока.

■ ОАО «РЖД» и Почта России запустили грузовой экспресс из Китая. Первый международный контейнерный сервис «Грузовой экспресс» начал курсировать по маршруту Хуньчунь (КНР) – Камышовая – Уссурийск – Москва.

Поезд предназначен для перевозки почтовых отправлений, товаров народного потребления и электронной коммерции. Срок доставки из Китая до подмосковного терминально-логистического центра «Белый Раст» составляет 12 дней.

В ближайшей перспективе планируется дополнить





сервис опцией выгрузки контейнеров в городах по маршруту следования поезда.

■ МЦД-4 стал первой цифровой диаметральной линией, полностью оборудованной системой интервального регулирования движения поездов. Исходя из расстояния между двумя составами система позволяет установить меньшие межпоездные интервалы без потери безопасности движения. Кроме того, система устойчива к кибератакам.

Бесперебойную работу технологии интервального регулирования поездов обеспечивает система МПЦ-ЭЛ – полностью российская разработка, внедрение которой завершилось минувшей осенью.

Перевод на инновационную систему управления движением позволит увеличить пропускную способность диаметра. В перспективе электрички смогут курсировать по МЦД-4 с минимально возможным интервалом в тактовом режиме.

■ Программа лояльности «РЖД Бонус» кардинально обновилась. Вместо двух уровней участия появились сразу четыре со своими привилегиями. Кроме того, появилась возможность частичной оплаты стоимости билетов баллами.

Все ранее действовавшие акции сохранены. Начисление приветственных баллов при регистрации, баллов за перевозку транспортных средств в вагонах-автомобилевозах и подарочных баллов ко дню рождения будет продолжено.

■ ОАО «РЖД» запустило новый функционал, позволяющий пассажирам автоматически покупать билеты на поезда дальнего следования по заявке в «Листе ожидания». Он избавляет пассажиров от необходимости отслеживать появление уведомлений от этого сервиса с предложением оплатить билеты в течение двух часов.

Оставляя заявку на билеты, пассажиры теперь могут в личном кабинете на сайте привязать банковскую карту и указать лимит суммы, которую готовы потратить на желаемую поездку. Как только в поезде появится свободное место, система сама спишет средства и оформит билет без участия человека по заранее заданным параметрам.

■ Постельное белье больше не входит в стоимость билета в плацкарт на поезда внутрироссийского сообщения. Опцию его покупки при оформлении билета онлайн теперь нужно выбирать вручную. При оформлении билетов на сайте РЖД или через мобильное приложение пассажиры информируются о возможности его покупки в качестве дополнительной услуги. В кассе их об этом информирует кассир.

■ Стал известен точный маршрут первой в России высокоскоростной магистрали. Предполагается, что на ней будет 14 остановок. Дорога пройдет через Московскую, Тверскую, Новгородскую и Ленинградскую области.

■ ОАО «РЖД» начало предварительные (заводские) испытания стрелочного перевода на безбалластном железобетонном основании для первого этапа ВСМ Москва – Санкт-Петербург. Опытный образец смонтирован на Муромском стрелочном заводе. Над созданием этого сложного узла работали более 60 предприятий страны.

Полная длина стрелочного перевода составляет 118 м. Управление им будет осуществляться аппаратно-программным комплексом, специально разработанным для новой стрелки и пока не имеющим аналогов на сети железных дорог страны. Он не только управляет движущимися элементами, но и ведет их непрерывную диагностику. Все оборудование комплекса размещается в специальном шкафу.

■ Теперь во всех поездах дальнего следования перед отправлением и прибытием на конечную станцию будет звучать мелодия в исполнении Государственного симфонического оркестра «Новая Россия» под управлением Юрия Башмета. Она получила название «Путешествие начинается!».

■ Сайт ОАО «РЖД» и мобильное приложение «РЖД Пассажирам» попали в расширенный «белый список» интернет-сайтов, которые будут открываться даже при отключениях мобильного интернета.

■ На участке Россошь – Лихая Юго-Восточной и Северо-Кавказской дорог завершились испытания «Виртуальной сцепки» (ВСЦ) в реальных условиях пассажирского движения. По результатам испытаний межпоездной интервал сокращается до 3–6 мин.

Специалисты проверили работу систем автоведения, цифровой связи между локомотивами и алгоритмов безопасного сближения поездов. Во время испытаний фиксировались параметры работы бортовых и путевых систем и моделировались ситуации, возможные в реальной эксплуатации, в том числе проход ВСЦ-поездов через занятые блок-участки, прием и отправление пар поездов при запрещающих показаниях светофоров, перекрытие светофора перед поездом.

■ Тестовые заезды электропоезда «Ласточка» с комплексом систем автоматизации уровня GoA4 прошли на Московском центральном кольце (МЦК). В ходе тест-драйва была продемонстрирована работа перспективных систем автоматического управления, систем технического зрения и искусственного интеллекта, способных распознавать и реагировать на сложные и нестандартные ситуации на путях, такие как появление препятствия в виде человека с коляской. Участие человека минимизировано для повышения безопасности и эффективности перевозок.

■ Компания «РЖД Логистика» (дочернее предприятие ОАО «РЖД») впервые в своей истории перевезла уникальный негабаритный груз весом 155 т на рекордное расстояние 11 тыс. км. Так, статор для турбогенератора из Санкт-Петербурга отправили в Приморский край, а затем передали на пути необщего пользования к месту назначения – Партизанской ГРЭС.

НАУМОВА Д.В.

НОВОСТИ

БЕЛАРУСЬ

■ Минск и Национальный аэропорт свяжет скоростная железная дорога. Она пройдет по маршруту Минск – Городище – Великий камень – Национальный аэропорт Минск.

Будет построено около 18 км новых железнодорожных путей в направлении аэропорта. Общая протяженность маршрута составит 41,8 км, а время в пути займет менее 30 мин. Реализовать проект планируется в 2028–2029 гг.

Источник: www.mlyn.by

КАЗАХСТАН

■ В Астане начались эксплуатационные испытания надземной линии легкого метро (LRT) с уровнем автоматизации GoA4 с целью проверки технической готовности инфраструктуры, системы управления и беспилотных поездов, поставляемых китайской корпорацией CRRC.



На первом этапе пробные поездки выполняются на перегоне между двумя станциями со скоростью до 10 км/ч, в дальнейшем скорость будет увеличиваться и возрастет число участков испытаний. На этом этапе планируется проверить кабельную сеть, габариты подвижного состава и инфраструктуры, подачу питания в контактные рельсы и др.

На втором этапе предусмотрено тестирование системы обеспечения безопасности и управления движением, включая передачу данных по радиоканалу, работу платформенных дверей, автоматического прибытия и отправления поездов со станций. На этом этапе будут отработываться различные эксплуатационные сценарии.

Линия LRT длиной 22,4 км с 18 станциями соединит аэропорт Астаны с расположенным в центральной части города новым железнодорожным вокзалом Нурлы Жол. По ней будут курсировать 18 четырехвагонных поездов.

Источник: www.rzd-partner.ru

КИТАЙ

■ В китайском Циндао состоялась презентация самого быстрого в мире беспилотного поезда (GoA4), способного развивать скорость до 200 км/ч.

Несмотря на высший уровень автоматизации в поезде сохранена кабина машиниста. Интеллектуаль-



ная система технического обслуживания на основе технологии цифровых двойников и ИИ-алгоритмов позволяет прогнозировать неисправности и оптимизировать процесс ремонта.

В конструкцию поезда вошел высокоточный резервный сенсорный комплекс с более чем 2900 датчиками мониторинга, что позволяет в реальном времени отслеживать состояние ходовой части, тяговой установки и тормозной системы и реагировать на неисправности в течение миллисекунд.

Также внедрены новые противоударные элементы и многоточечные энергопоглощающие конструкции, удвоившие способность поезда выдерживать столкновения. Переменное сечение воздухопроводов снижает сопротивление, а дополнительные защитные кожухи ходовой части уменьшают завихрения.

В поезде унифицированы более 200 типов запасных частей и расходников, а интеллектуальные системы диагностики позволяют оптимизировать график обслуживания и сократить стоимость жизненного цикла.

Поезд предназначен для междугороднего маршрута Пекин – Сюньань длиной 92 км.

Источник: www.news.cn

■ Компания CRRC запустила новый туристический поезд YINLV. Он состоит из 18 вагонов, в том числе 13 спальных, одного многофункционального и вагона-ресторана. Поезд может перевозить до 528 пассажиров.



Каждый спальный вагон имеет 10 четырехместных купе, оснащенных эргономичными лестницами. Полоток вагона расположен выше, чем в стандартных

вагонах, чтобы увеличить пространство для пассажиров на верхних полках. Нижние полки приподняты для более удобного размещения багажа под ними.

Многофункциональный вагон имеет «уголок для чтения», где установлены книжный шкаф, диван и экран. В вагоне также предусмотрено интерактивное пространство для досуга до 20 человек, где можно петь, делать физические упражнения и массаж.

Поезд также оборудован медицинским кабинетом, который предлагает пассажирам воспользоваться устройством физиотерапии для позвоночника и сканером с ИИ.

Источник: www.techzd.ru

■ Подразделение Китайских железных дорог в городе Наньнин и компания CRRC ввели в эксплуатацию совместно разработанную систему цифровой автоцепки электровозов для кратной тяги.

Систему установили на 148 локомотивах HXD1C. Ожидается, что нововведение увеличит объем грузоперевозок по железной дороге из центральной части Китая в южные порты.

Ранее сдвигание электровозов, необходимое для преодоления больших уклонов на маршруте Наньнин – Куньмин, производилось вручную, как и их расцепка. Теперь процесс соединения занимает 5 с.

Источник: www.techzd.ru

ШВЕЙЦАРИЯ

■ Швейцарские компании Stadler Rail и MGBahn представили совместно разработанную тормозную систему «v+» для поездов высокогорных зубчатых железных дорог. Система позволяет поездам двигаться

под гору в полтора раза быстрее чем было возможно ранее – со скоростью 30 км/ч против 21 км/ч.

Такие результаты продемонстрировала эксплуатация первого трехсекционного поезда с реечной передачей для зубчатых железных дорог Stadler ORION, оснащенного тормозной системой «v+», на линии Андерматт – Гёшенен с уклоном 181 ‰. Внедрение новой тормозной системы позволило сократить количество поездов на линии с двух до одного.

Оборудование поездов этой системой начнется в 2026 г.

Источник: www.railwaypro.com

ФРАНЦИЯ

■ Французская компания SNCF Voyageurs заказала у Alstom 30 двухэтажных поездов Avelia Horizon. После получения первых поездов в 2031 г. и их ввода в эксплуатацию они станут первым двухэтажным высокоскоростным подвижным составом, курсирующим через Евротоннель под проливом Ла-Манш.

Помимо двух моторных (головного и хвостового) вагонов, в поездах будут девять промежуточных вагонов, что обеспечит пассажироместимость более чем в 1000 человек при максимальной скорости 320 км/ч.

Поезда Avelia Horizon потребляют на 20 % меньше энергии, чем их высокоскоростные двухэтажные предшественники Avelia Euroduplex. Это стало возможно за счет изменения аэродинамических параметров конструкции, а также улучшения тяговой системы. Кроме того, удалось добиться снижения стоимости обслуживания модели на 30 %.

Источник: www.techzd.ru

ABSTRACTS

Application of SFN technology in LTE-1800 TDD technology networks

DMITRY P. LOBEEV, Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, Department of Electrical Communications, postgraduate student, St. Petersburg, Russia, lobeev1@mail.ru

VIKTOR G. IVANOV, Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I, Department of Electrical Communications, Senior Lecturer, St. Petersburg, Russia, ait@pgups.ru

ARTYOM Y. TARANENKO, Giprottranssignalsvyaz Design Institute – branch of Roszheldorproekt JSC, Chief Engineer of the project, Saint Petersburg, Russia, TaranenkoAU@rzdpr.ru

Keywords: LTE-1800 TDD, railway transport, SFN, radio communications, radio network design

Abstract. The article considers the possibility of using single-frequency networks (SFN) based on LTE-1800 TDD for railway transport. The advantages and limitations of SFN when used on high-speed highways are evaluated. The methodology includes analytical modeling of a multipath channel (4 branches), analysis of the requirements of 3GPP standards and architectural scenarios of BBU/RRU equipment. It is shown that SFN increases the signal-to-noise ratio in the overlap zone, smoothes the «cell boundaries» for broadcast services, but is strictly limited by the length of the cyclic prefix, etc. It has been established that in LTE, a workable SFN is practically feasible within a single BBU.

Communication Systems Based on Atmospheric IR Channels and Unmanned Aerial Vehicles

LYUBOV M. ZHURAVLEVA, Russian University of Transport (MIIT), Professor of the Department of Automation, Telemechanics and Communications in Railway Transport, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow, Russia, zhubov@mail.ru

ALEXANDER V. GORELIK, Russian University of Transport (MIIT), Professor, Head of the Department of Transport Infrastructure Management Systems, Director of ITTSU (RUT MIIT), Doctor of Technical Sciences, Moscow, Russia, agorelik@yandex.ru

NIKOLAY M. LEGKIY, Russian University of Transport (MIIT), Department of «Automation, Telemechanics and Communications in Railway Transport», Professor, Doctor of Technical Sciences, Moscow, Russia, 5162436@rambler.ru

ARTYOM A. BOROZDIN, Russian University of Transport (MIIT), Department of «Automation, Telemechanics and Communications in Railway Transport», Postgraduate Student, Moscow, Russia, artyom.borozdin@yandex.ru

Keywords: atmospheric optical communication, unmanned aerial vehicles, optical phased antenna array, «radio beacons»

Abstract. In modern conditions of unmanned aerial vehicle (UAV) development, the problem of providing reliable high-speed communication resistant to various types of interference is of particular relevance. Traditional methods using radio channels have limitations in bandwidth under complex electromagnetic conditions and intentional interference. The solution to the problem lies in transitioning to atmospheric optical communication (AOC) in the infrared (IR) range, which can be used to organize bidirectional channels. For this purpose, a variant of AOC transceiver equipment based on optical phased antenna arrays (OPAA), GPS receivers, artificial neural networks (ANNs), and «radio beacon» channels is proposed.

Invariant classifiers of rail line states

EVGENY M. TARASOV, Volga state transport university (SSTU), head of the department «Automation, telemechanics and communication on railway transport», DSc in Engineering, professor, Samara, Russia, e.tarasov@samgups.ru, SPIN-код: 9458-4793

ANNA E. TARASOVA, Volga state transport university (SSTU), associate professor of the department «Automation, telemechanics and communication on railway transport», PhD in Engineering, Samara, Russia, a.tarasova@samgups.ru, SPIN-код: 9018-6970

Keywords: track circuits, invariant classifiers, polynomial decisive functions, machine learning, self-tuning, microprocessor classifier, railway automation

Abstract. The article deals with the problem of classifying rail line states using traditional track circuits, which divide the states into

two classes: free/serviceable and occupied/damaged. The main disadvantages of existing systems include the inability to classify the control mode separately and the high sensitivity to changes in rail line parameters (resistance, insulation conductivity). To solve these problems, an invariant parametric classifier based on polynomial decisive functions (including the Kolmogorov-Gabor polynomial) and machine learning methods are proposed. The developed model allows to divide states into three classes: normal, shunt and control modes, ensuring invariance to changes in insulation conductivity (0.02–4 S/km) and rail line resistance (up to +50 %). The experimental results demonstrate the effectiveness of self-tuning algorithms (including neural network algorithms) that improve class separation with parameter variations. The proposed approach increases the reliability of railway automation systems due to reliable classification and adaptation to disturbing influences.

Determination of the dependence of the impedance of the rail line on the position of the shunt

ANTON G. KHODKEVICH, Omsk State University of Railway Transport, Head of the Department of Automation and Telemechanics, Candidate of Technical Sciences, Omsk, Russia, hodkevichag@mail.ru, SPIN-код: 2578-2914

MAXIM M. SOKOLOV, Omsk State University of Railway Transport, Department of Automation and Telemechanics, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Omsk, Russia, sokolovmm@mail.ru, SPIN-код: 8759-8855

LYUDMILA A. RYBINA, Omsk State University of Railway Transport, Lecturer at the Department of Automation and Telemechanics, Omsk, Russia, ludmila-rybina-cf@mail.ru

Keywords: moving unit, rail line, location, accuracy, railway automation, train movement, rail chain

Abstract. The article presents the results of experimental studies on measuring the value of the integrated input resistance of a rail line on the existing infrastructure of the Novosibirsk Children's railway, a structural subdivision of the West Siberian Railway. The dependences of the module, phase, active and reactive components of the input resistance on the location of the standard shunt, obtained during measurements, are given.

Transport ecosystems as a tool of the mechanism of sustainable development

OLGA G. CHUVERINA, Russian university of transport, Institute of economics and finance, economics and transport management department, head of the department's office, lecturer, Ph.D. in economic science, Moscow, Russia, chuverina@gmail.com, SPIN-код: 1725-9797

VERONIKA B. LITOVCHENKO, Volga state university of railway transport, department of economics and management, associate professor, Ph.D. in economic science, Samara, Russia, litovchenko.veranika@yandex.ru, SPIN-код: 4864-1340

Keywords: digitalization, railway transport, transport ecosystems

Abstract. The purpose of this study was to analyze transport ecosystems as a tool for the mechanism of sustainable development using the example of railway transport. The authors conducted a comparative analysis of the transport ecosystems of Germany, China, Japan and the USA. The authors identify opportunities for the development of transport systems in Russia in the context of digitalization of railway transport, development of multimodal transportation, infrastructure modernization, market liberalization, electrification of railway lines and integration with urban infrastructure.

Event-driven model in reinforcement learning

YURI P. BULAVIN, Rostov State Transport University (RSTU), associate professor, PhD in Engineering sciences, Rostov-on-Don, Russia, i@ibulavin.ru, SPIN-код: 5233-0901

OLESYA V. IGNATIEVA, Rostov State Transport University (RSTU), head of department, associate professor, PhD in Engineering sciences, Rostov-on-Don, Russia, lesjaignateva@rambler.ru, SPIN-код: 9321-1520

Keywords: reinforcement learning, event-driven model, dispatching control, railway station, Markov Decision Process (MDP), PPO algorithm, artificial neural network

Abstract. This paper discusses an event-driven approach to environment modeling for training Deep Reinforcement Learning (DRL) agents for railway station dispatching. The proposed approach addresses the issue of inefficient action space exploration inherent in time-synchronous models. DRL agents were trained for stations of varying operational complexity using a digital model of a real-world railway section. The viability of the model is confirmed, and the impact of PPO algorithm hyperparameters on the quality of the resulting policy is analyzed, laying the groundwork for the development of more robust intelligent control systems.



Главный редактор: Филюшкина Т.А.

Редакционная коллегия:

Аношкин В.В.; Безродный Б.Ф., д-р техн. наук;
Воронин В.А.; Вохмянин В.Э.; Долгий А.И., канд. техн. наук;
Кайнов В.М., канд. техн. наук; Канаев А.К., д-р техн. наук;
Кобзев С.А.; Назимова С.А.; Насонов Г.Ф.;
Никитин А.Б., д-р техн. наук; Орехов Э.Г.; Перотина Г.А.;
Розенберг Е.Н., д-р техн. наук;
Розенберг И.Н., д-р техн. наук; Семион К.В.; Сиделев П.С.;
Танаев В.Ф.; Трясов М.С., канд. техн. наук;
Хромушкин К.Д., канд. техн. наук; Чаркин Е.И.

Редакционный совет:

Балакирев В.В.; Бубнов В.Ю.;
Гершвальд А.С., д-р техн. наук; Гоман Е.А.;
Горбунов А.Е., канд. техн. наук;
Горелик А.В., д-р техн. наук; Ефанов Д.В., д-р техн. наук;
Журавлёва Л.М., д-р техн. наук; Лисин С.Ю.; Петренко Ф.В.;
Петров А.И.; Поменков Д.М., канд. техн. наук;
Сансызбаев М.А.; Сергеечев Н.А.; Солдатенков Е.Г.;
Талалаев В.И., канд. техн. наук; Ушакова А.С.;
Черномазов А.В.; Шабельников А.Н., д-р техн. наук;
Шаманов В.И., д-р техн. наук;
Шубинский И.Б., д-р техн. наук

Журнал включен в базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, а также в актуальную версию Единого государственного перечня научных изданий – «Белый список»

Решением Президиума ВАК Минобрнауки России от 27 января 2016 г. журнал «Автоматика, связь, информатика» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий

Использование и любое воспроизведение на страницах интернет-сайтов, печатных изданий материалов, опубликованных в журнале, разрешается только с письменного согласия редакции

Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-21833 от 07.09.05

Адрес редакции: 107174, Москва, ул. Новая Басманная, д. 4–6, стр. 2

E-mail: asi-rzd@mail.ru, www.asi-journal-rzd.ru

Телефоны: +7 (985) 774-07-31; +7 (499) 262-54-29;
+7 (499) 262-16-44; +7 (499) 262-77-50.

Подписано в печать 31.01.2026. Формат 60x88 1/8.
Усл. печ. л. 6,84. Усл. кр.-отт. 8,00. Уч.-изд. л. 10,1.
Зак. 26013

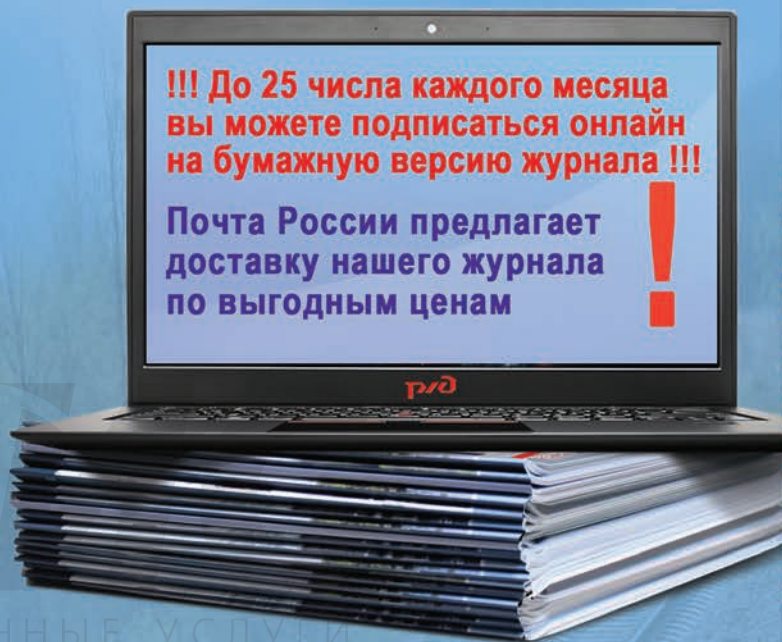
Отпечатано в типографии ЗАО «Алгоритм+»
420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36

© Москва «Автоматика, связь, информатика», 2026

ЖУРНАЛ «АСИ» приглашает к сотрудничеству!

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Журнал «Автоматика, связь, информатика» более 100 лет является единственным источником полезной информации в области железнодорожной автоматики, телемеханики, связи, вычислительной техники, информатизации транспорта.



Свидетельством его высокого научно-технического уровня является то, что он входит в перечень ведущих периодических изданий, публикация в которых учитывается при защите докторской и кандидатской диссертаций Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Министерства образования и науки РФ, а также в базу данных «Russian Science Citation Index» (RSCI), доступ к которой осуществляется через платформу Web of Science. Журнал включен в актуальную версию Единого государственного перечня научных изданий – «Белый список»

Адрес редакции:
107174, Москва,
ул. Новая Басманная,
д. 4-6, стр. 2

Телефоны:
+7 (985) 774-07-31
+7 (499) 262-16-44
+7 (499) 262-77-50



Для оформления онлайн-подписки достаточно перейти по ссылке <https://podpiska.pochta.ru/press/П5063>, заполнить заявку на получение журнала на домашний адрес, до востребования или через почтовый ящик и оплатить ее

Оформить онлайн-подписку также можно через наш сайт www.asi-journal-rzd.ru в разделе «Подписка»



Электронную версию отдельных статей журнала можно приобрести на сайте Научной электронной библиотеки http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7655

Оформить подписку на электронную версию журнала можно на сайте ООО «Агентство «Книга-Сервис» http://akc.ru/itm/avtomatika-svy_az-informatika/



Рекламно-информационное сотрудничество – эффективная поддержка в продвижении вашего бизнеса



Наши отраслевые журналы ориентированы на широкий круг читателей – от руководителей и специалистов до студентов и учащихся железнодорожных учебных заведений.

- Журнал «**Железнодорожный транспорт**» издается с 1826 г.
- Журнал «**Путь и путевое хозяйство**» издается с января 1957 г.
- Журнал «**Локомотив**» издается с 1957 г.
- Журнал «**Вагоны и вагонное хозяйство**» издается с 2005 г.
- Журнал «**Железные дороги мира**» издается с 1961 г.
- Журнал «**Автоматика, связь, информатика**» издается с 1923 г.

Нас читают во всех регионах России, в десятках стран ближнего и дальнего зарубежья, на предприятиях магистрального и промышленного железнодорожного транспорта.

Наше сотрудничество будет полезным для налаживания взаимовыгодных контактов, деловых партнерских отношений.

**По вопросам размещения рекламы
обращаться в ЦНТИБ ОАО «РЖД»**

Телефон: (499) 262-54-29

E-mail: berezinazhv@center.rzd.ru

Почтовый адрес: 107078, г. Москва, Новая Басманная, д. 4-6, стр. 2



ИНФОРМАЦ