

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЖУРНАЛ О НАУКЕ, ЭКОНОМИКЕ, ПРАКТИКЕ



Цифровизация
транспортной отрасли

Подписка

Подписка на журнал «Транспорт Российской Федерации» оформляется в любом отделении почтовой связи

- по объединенному каталогу **«Пресса России»**,
подписной индекс 15094,
- по электронному каталогу **«Почта России»**,
подписной индекс П1719

Подписаться на журнал через редакцию можно в течение года с любого месяца,

- выслав заявку по факсу: **(812) 310-40-97**;
- выслав заявку по электронной почте: **rt@rostransport.com**;
- или заполнив заявку на сайте **www.rostransport.com**, раздел **«Подписка»**.



Подписку также можно оформить в агентствах:

«Книга-Сервис»

Тел.: (495) 680-90-88

<http://akc.ru>

«Урал-Пресс»

Тел.: (495) 789-86-36

«Почта России»

Тел.: (495) 956-20-67

<http://russianpost.ru>

Содержание

**ГОСУДАРСТВО И ТРАНСПОРТ**

Жанказиев С. В., Воробьев А. И., Гаврилюк М. В.
Принципы формирования государственной системы
сертификации элементов ИТС в Российской Федерации 3

Семенов С. А.
Защита акваторий морских портов. Группы быстрого
реагирования – обязанность или излишество? 7

ЭКОНОМИКА

Гулый И. М.
Подход к экономической оценке инвестиционных
проектов развития железнодорожной инфраструктуры 12

ЛОГИСТИКА

Дунаев О. Н., Гуц А. В.
Мобильность в организации мультимодальных
пассажирских перевозок 15

Левин Д. Ю.
Логистика перевозочного процесса железных дорог ... 21

ВСМ

Киселёв И. П., Китунин А. А.
Высокоскоростные грузовые железнодорожные
перевозки: проблема дисгармонии технологий 28

Вакуленко С. П., Роменский Д. Ю., Калинин К. А.
Метод прогнозирования пассажиропотоков при
организации высокоскоростных перевозок 34

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ

Ефанов Д. В., Осадчий Г. В.
Радиоцентрализация с распределенными
вычислительными ресурсами и развитыми
функциями самодиагностирования 40

Постолит А. В.
Автоматизация учета поездок пассажиров
на городском общественном транспорте 46

**Попов В. В., Иванов А. Н., Смутин А. В.,
Романова А. А., Зимакова М. В.**
Мониторинг технического состояния грузовых вагонов
на ходу поезда 52

КАДРЫ

Журавлев П. В., Каргина Л. А., Лебедева С. Л.
Профессиональная переподготовка кадров на транспорте
в условиях цифровизации экономики России 57

ЭКОЛОГИЯ

Радченко П. М., Крашенин В. Е., Макаев М. А.
Адаптивное регулирование подачи наддувочного воздуха
судового дизель-генератора в переходных режимах ... 61

ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

**Мячин В. Н., Флячинский В. А., Шуляев В. В.,
Кондрашкин М. Г.**
Методика оценки уровня обслуживания
велосипедного движения 68

**Коссов В. С., Протопопов А. Л., Волохов Г. М.,
Оганьян Э. С.**
Численная оценка остаточных напряжений
в длинномерных рельсах после дифференцированной
закалки и механической правки 71

Дудкин Е. П., Гмыря К. А., Султанов Н. Н.
Требования к шумо- и виброизоляции
в современных конструкциях трамвайного пути 75

Аннотации 78

Abstracts 79

Транспорт Российской Федерации

Журнал о науке, экономике, практике

Учредители

Петербургский государственный университет путей сообщения,
ООО «Издательский дом Т-ПРЕССА»,
Российская академия транспорта

Издатель

ООО «Издательский дом Т-ПРЕССА»

При поддержке
Объединенного научного совета по междисциплинарным
проблемам транспортных систем РАН

Генеральный директор

Людмила Карпичева

Главный редактор

Олег Тимофеев

Заместитель главного редактора

Игорь Киселев

Научный редактор

Дмитрий Ефанов

Руководитель проекта

Марина Леонова

Арт-директор

Сергей Тюрин

Литературный редактор

Екатерина Наумова

Корректор

Евгения Локтионова

Референт

Людмила Филиппова

Переводчик

Дмитрий Иванов

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС77- 34452 от 03.12.2008

выдано Федеральной службой по надзору
в сфере связи и массовых коммуникаций.

Журнал включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных
журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные
научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук».

При перепечатке опубликованных материалов ссылка на журнал
«Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, экономике, практике»
обязательна.

Адрес редакции:

190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9
Тел./факс: (812) 310-40-97
rt@rostransport.com
www.rostransport.com

Редакция журнала не несет ответственности
за содержание рекламных материалов.

Установочный тираж 7 000 экз.

Подписано в печать 30.04.2021

Отпечатано:

ООО «АКЦЕНТ Типография»
(Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 60, лит. И)

Заказ №

Редакционный совет

Олерский В. А. — председатель редакционного совета
журнала

Нерадько А. В. — руководитель Федерального агентства воздуш-
ного транспорта

Ефимов В. Б. — президент Союза транспортников России

Мишарин А. С. — президент Российской академии транспорта

Гапанович В. А. — президент НП «ОПЖТ»

Тимофеев О. Я. — главный редактор журнала «Транспорт РФ»

Редакционная коллегия

Тимофеев О. Я. — председатель редакционной коллегии,
главный редактор

Сапожников В. В. — заместитель председателя редакционной
коллегии, профессор ПГУПС

Ефанов Д. В. — заместитель ген. директора по научно-иссле-
довательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мони-
торинга», профессор Высшей школы транспорта Института
машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургско-
го политехнического университета Петра Великого, профессор
кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорож-
ном транспорте» Российского университета транспорта

Белозеров В. Л. — представитель РОСПРОФЖЕЛ
в Северо-Западном федеральном округе, профессор кафедры
«Экономика транспорта» ПГУПС

Белый О. В. — директор по науке СПбНЦ РАН, председатель
Объединенного научного совета по междисциплинарным
проблемам транспортных систем РАН

Бороненко Ю. П. — заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное
хозяйство» ПГУПС, генеральный директор АО «НВЦ «Вагоны»

Дунаев О. Н. — председатель подкомитета по транспорту и
логистике комитета РСНП по международному сотрудничеству,
директор Центра стратегического развития логистики

Дудкин Е. П. — руководитель НОЦ ПГУПС «Промышленный
и городской транспорт»

Журавлева Н. А. — заведующая кафедрой «Экономика
транспорта» ПГУПС, директор ИПЭБУ ПГУПС

Киселев И. П. — профессор кафедры «Строительство дорог транс-
портного комплекса» и кафедры «История, философия, политоло-
гия и социология» ПГУПС

Клештик Томаш — профессор, заведующий кафедрой
«Экономика» факультета эксплуатации и экономики транспорта
и коммуникаций Жилинского университета, Словакия

Костылев И. И. — заведующий кафедрой «Теплотехника,
судовые котлы и вспомогательные установки»
ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова

Кравченко П. А. — научный руководитель Института
безопасности дорожного движения СПбГАСУ

Куклев Е. А. — директор Центра экспертизы и научного
сопровождения проектов при Санкт-Петербургском
государственном университете гражданской авиации (СПбГУГА)

Мачерет Д. А. — заведующий кафедрой «Экономика
транспортной инфраструктуры и управление строительным
бизнесом» РУТ (МИИТ), первый заместитель председателя
объединенного ученого совета ОАО «РЖД»

Панычев А. Ю. — ректор ПГУПС

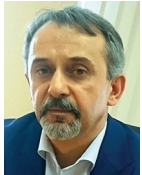
Пимоненко М. М. — доцент кафедры «Логистика
и коммерческая работа» ПГУПС

Смулов М. Ю. — заведующий кафедрой «Коммерческая
деятельность» СПбГУГА

Соколов А. М. — вице-президент Союза «Объединение
вагоностроителей»

Шнайдер Экхард — профессор Фраун-Гоферовского
института неразрушающего контроля, Германия

Принципы формирования государственной системы сертификации элементов ИТС в Российской Федерации



С. В. Жанказиев,
д.т.н., профессор,
заведующий кафедрой
«Организация
и безопасность
движения» МАДИ



А. И. Воробьев,
к.т.н., доцент
кафедры
«Организация
и безопасность
движения» МАДИ



М. В. Гаврилюк,
старший преподаватель
кафедры «Организация
и безопасность
движения» МАДИ

Система выдачи сертификатов безопасности элементов обеспечит необходимый уровень информационной и кибербезопасности интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и интеллектуальной дорожной инфраструктуры, в том числе в вопросах обезличивания персональных данных пользователей.

Развитие научно-технологического прогресса ведет к значительным изменениям в организации и управлении транспортными комплексами городов, регионов и агломераций. Рост числа сервисов кооперативных ИТС, внедрение на дороги общего пользования транспортных средств различного уровня автоматизации приводит к необходимости формирования новых требований к производителям и системным интеграторам, контролю качества внедряемой продукции на государственном уровне.

Обеспечение мобильности пользователей, в том числе при внутрироссийских и международных коммерческих грузоперевозках, ведет к необходимости реализации ИТС по принципу совместимости с ИТС других стран, включая и бесшовное функционирование сервисов.

Национальная сеть ИТС обеспечивает информационную поддержку разрозненным локальным проектам ИТС (ЛПИ ИТС),

внедряемым в городах и регионах Российской Федерации, с учетом климатических и иных особенностей.

Разработка национальной сети решает следующие задачи:

- объединение и контроль корректности работы ИТС;
- унификация оборудования технологий внутри страны;
- интероперабельность ИТС РФ с ИТС других стран;
- информационная безопасность и сохранность персональных данных пользователей.

Общеввропейская система стандартизации сервисов ИТС EasyWay и EasyWay II

Фаза I (2007–2009) и фаза II (2010–2012) проектов EasyWay — часть глобальной программы EasyWay на 2007–2020 гг. EasyWay I и II — это проекты по развертыванию общеввропейских систем и услуг ИТС в Трансевропейской транспортной

ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН



сети и интеграции в городские условия и на другие виды транспорта.

Основным преимуществом EasyWay I и II было создание единой «уникальной» европейской платформы, объединяющей различные уровни и структуры: министерства, дорожные власти и дорожных операторов (государственных и частных) по всей Европе. Единая платформа позволила разработчикам обмениваться опытом и ноу-хау, что в конечном итоге привело к определению общих принципов проектируемых подсистем ИТС.

Совершенствование систем управления дорожным движением (УДД), скоординированное взаимодействие органов УДД и их своевременное информирование позволили повысить безопасность на дорогах, сократить протяженность и продолжительность транспортных задержек, снизить уровень негативного воздействия на окружающую среду.

Основная цель этапов EasyWay заключалась в распространении базовых услуг ИТС по всей Европе и в удовлетворении интересов всех участников дорожного движения в рамках транспортной политики, касающейся безопасности дорожного движения, воздействия транспорта на окружающую среду и мобильности населения.

В результате в европейскую транспортную систему были приняты к стандартизации:

- сервисы информирования путешественников о возможных ко-модальных поездках;
- стандарт для обмена информацией о транспортных потоках между центрами УДД, поставщиками услуг, операторами и медиапартнерами (DATEX II);
- информационные и коммуникационные технологии (ICT), создающие согласованную и оптимальную информационную инфраструктуру, что способствует предоставлению рентабельных услуг ИТС;
- управление при ДТП и ЧС, предполагающее систематическое, запланированное и скоординированное использование мер и ресурсов для обеспечения максимальной эффективности служб в промежутки времени от обнаружения ДТП или ЧС до момента устранения последствий и восстановления движения;
- технология интеллектуальной парковки грузовых транспортных средств (ТС), направленная на предоставление актуальной и корректной информации для водителей грузовых ТС и логистических компаний по своевременному нахождению парковочного места;

- управление чувствительными дорожными сегментами, включающее динамическое попутное управление, контроль скорости движения, технологии Ramp metering, организация движения по обочине (в часы пик), системы предупреждения о происшествиях, запрет на обгон грузового транспорта;

- информирование путешественников в режиме реального времени о мероприятиях до поездки, дорожном движении до и во время поездки, времени в пути на определенных участках дорожной сети, погодных условиях;

- управление движением в транспортных коридорах и дорожных сетях, обеспечивающее управление транспортными потоками в региональных, национальных, приграничных районах и пригородах.

Разработка и внедрение стандартов в рамках перечисленных направлений находятся в компетенции комитета CEN/TC278 (см п. 1.3). В настоящее время отдельным направлениям посвящены группы стандартов: для технологии DATEX II, информирования путешественников, управления инцидентами, управления парковками.

Структура национальной сети ИТС Российской Федерации

Реализация единой системы сервисов ИТС на всей территории страны является важной задачей развития транспортного комплекса Российской Федерации. Для обеспечения единства и связности разрозненных ЛП ИТС отдельных участков автомобильных дорог, городов, агломераций и регионов на ближайшие годы поставлена задача разработать национальную сеть ИТС.

Национальная сеть ИТС — территориально распределенная система, состоящая из взаимосвязанных элементов информационно-технологического, организационного, методологического, кадрового, нормативно-правового и нормативно-технического характера, объединяющая действующие и создаваемые по единым правилам ИТС в единую сеть с оптимизированной топологией и единым планом развития.

Основная цель национальной сети ИТС — скоординированное развертывание ИТС в субъектах Российской Федерации, крупных городских агломерациях и на федеральных автомобильных дорогах общего пользования, позволяющее обеспечить их функциональную совместимость на региональном и межгосударственном

уровне и синергию используемых при создании ИТС единых организационных, методологических, технических и технологических подходов и решений.

Национальная сеть ИТС состоит из двух основных сегментов — обеспечивающего и технологического.

Обеспечивающий сегмент национальной сети ИТС направлен на оптимальную работу ЛП ИТС в области нормативно-правового и нормативно-технического регулирования.

Технологический сегмент национальной сети ИТС нацелен на обеспечение работы ЛП ИТС на уровне эксплуатации и управления транспортным комплексом. Он формируется из аппаратно-программного комплекса, единой цифровой платформы транспортного комплекса Российской Федерации. Так обеспечивается интеграция технологических элементов национальной сети ИТС в единую сетевую модель и информационная поддержка национальной сети ИТС из отдельно выстроенных ИТС и коммуникационной среды, осуществляющей внутрисетевой обмен данными и взаимодействие с внешней информационной средой.

Корректная и эффективная работа ЛП ИТС возможна только при выстроенной системе государственного регулирования внедряемого оборудования, технологий и подсистем ИТС. Это поможет не допустить на рынок недобросовестных поставщиков и обеспечить производителей интероперабельность сервисов и проектов ИТС на национальном уровне.

Структура системы сертификации Российской Федерации

Тенденции развития ИТС в Российской Федерации указывают на необходимость увеличения количества сервисов ИТС, в том числе за счет их коммерциализации и привлечения бизнес-сообщества. Необходимость унификации предлагаемых открытым рынком решений с учетом заинтересованности международных партнеров ведет к разработке нормативно-технической базы и её согласованию с международными стандартами, например международным стандартом по функциональной безопасности дорожных транспортных средств ISO 26262.

Качественное функционирование системы стандартизации в области ИТС возможно только при создании системы контроля исполнения требований нормативно-технической документации. Необходимый механизм контроля на национальном уровне будет достигнут путем

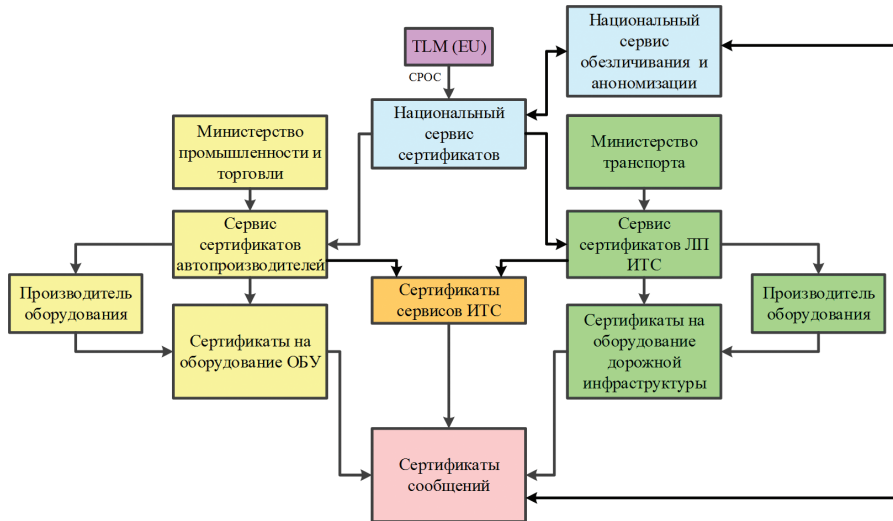


Рис. 1. Национальная структура выдачи сертификатов безопасности

формирования обязательной системы сертификации в области ИТС.

Обязательная сертификация позволит контролировать развивающийся рынок сервисов, обеспечит соответствие требованиям нормативно-технической документации и не допустит вывода на рынок некачественной продукции.

Создание единой цифровой платформы транспортного комплекса Российской Федерации, которая обеспечивает интеграцию технологических элементов ИТС всей страны, влечет за собой использование сервисов ИТС на всей территории страны и обеспечение интероперабельности оборудования, в том числе на международном уровне.

Для качественной работы системы сертификации в области ИТС необходимо обеспечить взаимодействие субъектов внутри страны и за ее пределами.

Взаимодействие с международными органами по сертификации и иными организациями, участвующими в разработке технических требований к оборудованию ИТС и подключенным к информационной сети дороги бортовым системам ТС, позволит сформировать единый набор требований. Экспертами в рабочих группах выступят представители международных комитетов по стандартизации, таких как WG и TF ISO, CEN, ETSI, 3GPP, IEEE и др.

Контроль качества работы сертификационных органов происходит на уровне органов исполнительной власти. Это необходимо для подготовки требований к сертификации и контроля их соблюдения на законодательном уровне.

Разработка, обоснование требований к сертификации элементной базы и подсистем ИТС, качественная оценка нормативно-технической базы в области ИТС выполняются научно-исследо-

вательским сообществом. Площадкой для сотрудничества стал Центр компетенции национальной сети ИТС.

В результате сертификационной деятельности должны быть обеспечены испытания оборудования, подсистем ЛПП ИТС, элементов интеллектуальной дорожной инфраструктуры, элементов транспортных средств, подключенных к информационной сети дороги и ВАС [1], с целью оценки соответствия предлагаемых решений сертификационным нормам.

Взаимодействие с международным сегментом в лице C-ROADS, выполняющей функции гармонизации спецификаций ЛПП ИТС на территории ЕС, экспертными организациями и бизнес-сообществом — еще один важный элемент системы сертификации. Он позволит синхронизировать сертификационные требования и обеспечить интероперабельность оборудования ИТС.

Работа Центра компетенции национальной сети ИТС и Сертификационного органа по ИТС направлена на непосредственное техническое взаимодействие со всеми субъектами системы гармонизации спецификаций и сертификатов ИТС, создание гармонизированных спецификаций, в том числе в области связи и протоколов передачи данных.

Обеспечение испытаний функционально-технологических элементов ИТС, включая применяемые для их создания аппаратно-программные решения и специализированное периферийное оборудование, позволит сформировать эффективную систему сертификации в области ИТС, что значительно повысит качество транспортных услуг и сервисов.

Важной целью создания структуры сертификации можно назвать не только оценку качества работы внедряемых сервисов

ИТС, но и обеспечение информационной безопасности и защиты персональных данных пользователей. Поэтому необходимо сформировать структуру выдачи сертификатов безопасности при использовании потребителем отдельно взятого сервиса ИТС и его взаимодействия с инфраструктурной и бортовой составляющей.

Формирование национальной структуры выдачи сертификатов безопасности

Безопасность передачи данных при работе ИТС — важнейшая задача внедрения новых технологий и сервисов. ИТС напрямую связана с безопасностью дорожного движения и является критически важной инфраструктурой соблюдения национальных интересов и национальной безопасности. Это ведет к необходимости повышенного контроля элементной базы ИТС и обеспечения информационной безопасности. Необходимо формировать национальную структуру выдачи сертификатов безопасности. Анонимность передачи данных при внедрении сервисов кооперативных ИТС и автомобилей, подключенных к информационной сети дороги, гарантирует безопасность персональных данных пользователя и соблюдение его конституционных прав.

Структура выдачи сертификатов безопасности выстраивается для обеспечения качества предоставляемой информации сервисами ИТС, гармонизации при взаимодействии с иными международными сервисами сертификатов, поддержания должного уровня информационной безопасности, в том числе в вопросах обезличивания данных (рис. 1).

Цель создания национального сервиса сертификатов — выдача сертификатов безопасности, гармонизация выдаваемых сертификатов с иными международными сервисами сертификатов, например TLM (EU), управление выдачей сертификатов на национальном уровне.

Для информационной безопасности создаются три ветки выдачи сертификатов конкретным пользователям:

- на оборудование бортовых устройств;
- на оборудование дорожной инфраструктуры;
- для каждого сервиса ИТС.

Создание национального сервиса обезличивания может обеспечить деперсонализацию данных при использовании различных сервисов ИТС для соблюдения прав пользователей и необходимого уровня информационной безопасности.

Единая информационная система нужна для единства и связности многих разрозненных ИТС-проектов. Эта платформа значительно расширит возможности развития ИТС-сервисов внутри страны и на международном уровне за счет единых требований к протоколам передачи данных и унификации оборудования и технологий, используемых при развертывании ЛП ИТС. Создание национальной системы сертификации в Российской Федерации позволит значительно повысить качество работы ИТС в стране в целом, а также увеличить количество предоставляемых ИТС-услуг, благодаря чему возрастет коммерческая привлекательность, увеличится доля рынка для независимого бизнес-сообщества. Интероперабельность отечественных ИТС с ИТС других стран, обусловленная согласованностью протоколов передачи данных и технологий обработки информации, обеспечит дальнейший выход на международный уровень взаимодействия. 

Литература

1. Zhankaziev, S. Current Trends of Road-traffic Infrastructure Development // Transportation Research Procedia. – 2017. – Vol. 20. – P. 731–739.

2. Zhankaziev, S. Scientific and methodological approaches to the development of a feasibility study for intelligent transportation systems / S. Zhankaziev, M. Gavriluk, D. Morozov and A. Zabudsky, // Transportation Research Procedia. – 2018. – Vol. 36. – P. 841–847.
3. Vlasov, V. Development of Standards and their Harmonization with International Standards as a Necessary Condition of Normative and Technical Support in Construction and Development of Intelligent Transport Systems in Russia / V. Vlasov, I. Konin, P. Pribyl and V. Bogumil // Transportation Research Procedia. – 2017. – Vol. 20. – P. 690–694.
4. Жанказиев, С. В. Нормативное регулирование эксплуатации беспилотных транспортных средств: состояние и перспективы / С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, А. Ю. Забудский, С. В. Маликов, А. И. Чучаев // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-й Международной научно-практической конференции. – Орел, 2020. – С. 190–198.
5. Жанказиев, С. В. Технические и технологические особенности автономных транспортных средств / С. В. Жанка-

- зиев, А. И. Воробьев, Д. Ю. Морозов // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 3 (82). – С. 39–43.
6. <https://www.its-platform.eu/content/easyway-i-ii>
7. Paier, A. The end-to-end intelligent transport system (ITS) concept in the context of the european cooperative its corridor // 2015 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM). – Heidelberg, 2015. – P. 1–4.
8. Henriksson, J. Automotive Safety and Machine Learning: Initial Results from a Study on How to Adapt the ISO 26262 Safety Standard / J. Henriksson, M. Borg and C. Englund // 2018 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering for AI in Autonomous Systems (SEFAIAS). – Gothenburg, 2018. – P. 47–49.
9. Стреха, А. А. Совершенствование системы оценки деятельности технических комитетов / А. А. Стреха, Д. И. Калашников // ТДР. – 2016. – № 6.
10. Докукин, А. В. Гармонизация потребностей и ожиданий сторон в нормотворческом процессе в области стандартов качества / А. В. Докукин, В. А. Коновалов // ТДР. – 2014. – № 5.



XI МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ

8–9 июля
2021 года

Санкт-Петербург

www.forumbt.ru

800+

ДЕЛЕГАТОВ

20+

ДИСКУССИОННЫХ
ПЛОЩАДОК

800

М²
ПЛОЩАДЬ
ВЫСТАВКИ



ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФОРУМА





**ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ
ТЕРРОРИЗМУ**



**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗАВАРИЙНОСТИ
И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ВСЕХ
ВИДОВ ТРАНСПОРТА**

**ПЛЕНАРНОЕ
ЗАСЕДАНИЕ:**

«ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ПОЛИТИКА И ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ
РЕГУЛИРОВАНИЕ В СФЕРЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ НА
ТРАНСПОРТЕ: ОТ ДИАЛОГА
К РЕШЕНИЯМ»



**ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОГО
КОМПЛЕКСА. «УМНЫЙ ТРАНСПОРТ» В «БЕЗОПАСНОМ ГОРОДЕ»**



**ИНФОРМАЦИОННЫЕ УГРОЗЫ
И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ**



**БЕСПИЛОТНЫЕ И ПОДКЛЮЧЕННЫЕ
ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА**



**САНИТАРНО-ЭПИДЕМИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ**

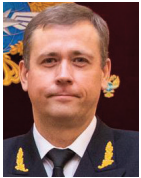


**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
НА ТРАНСПОРТЕ**



**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТРАНСПОРТЕ**

Защита акваторий морских портов. Группы быстрого реагирования — обязанность или излишество?



С. А. Семенов,
начальник
ФБУ «Служба
морской безопасности»

В статье представлен анализ существующего правового регулирования защиты акваторий морских портов от актов незаконного вмешательства, требующих применения групп быстрого реагирования подразделений транспортной безопасности.

С 2007 г. законодательство о транспортной безопасности постоянно меняется. На основании практического опыта одни нормы совершенствуются, другие теряют актуальность и отменяются, а третьи создаются вновь.

К новым нормам относятся и «Требования по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требования к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для объектов транспортной инфраструктуры морского и речного транспорта, не подлежащих категорированию» (далее — Требования) [1]. Правительство РФ впервые утвердило Требования к акваториям морских портов (далее — акватории).

В ходе практической реализации Требований возникают вопросы о выполнении отдельных его положений. В частности, Требования содержат норму обязанности субъекта транспортной инфраструктуры (в данном случае — капитана морского порта) образовать (сформировать) и (или) привлечь группы быстрого реагирования подразделений

транспортной безопасности для защиты акваторий (далее — ГБР).

По оценке ФГУП «Росморпорт» образование таких ГБР, оснащенных плавсредствами, является финансово затратным процессом. Также вызывает вопрос возможность применения их по назначению.

С учетом изложенного теоретическое решение вопроса о необходимости образования (формирования) и (или) привлечения ГБР для защиты акваторий (далее — образование ГБР) имеет важное практическое значение.

Понятие «группа быстрого реагирования» в законодательстве

Федеральный закон «О транспортной безопасности» [2] (далее — ФЗ-16) понятие «группа быстрого реагирования» не использует и не толкует. Изучение общедоступных нормативных правовых актов позволило найти толкование понятия «группа быстрого реагирования» только в Национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 59044–2020 «Охранная деятельность. Оказание охранных услуг, связанных с принятием соответствующих мер реагирования на сигнальную информацию технических средств охраны. Общие требования». Указанный стандарт толкует термин «группа быстрого реагирования» как группу работников частной охранной организации в составе не менее двух охранников, выполняющую функции по охране имущества и объектов путем реагирования на сигнальную информацию технических средств охраны на охраняемых объектах.

В статье под ГБР будет пониматься специально оснащенная мобильная группа работников подразделения транспортной безопасности, круглосуточно выполняющая задачи по реагированию на подготовку совершения или совершение актов незаконного вмешательства, в том числе с использованием физиче-



ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН

ской силы, специальных средств и оружия (далее — физическое воздействие и/или физическое взаимодействие). Акцент на физическом воздействии на судно и/или физическом взаимодействии с ним сделан в связи с тем, что противоправная деятельность судов или лиц в акватории морского порта в случае невыполнения ими распоряжений капитана морского порта не может быть пресечена иначе.

В законодательстве о транспортной безопасности обязанность субъекта транспортной инфраструктуры (далее — СТИ) образовать ГБР, обеспечивающие реагирование на подготовку к совершению или совершение акта незаконного вмешательства, появляется только в требованиях по обеспечению транспортной безопасности по видам транспорта, определенных статьей 8 ФЗ-16.

При этом в требованиях по обеспечению транспортной безопасности в области морского и речного транспорта такая обязанность предусмотрена для объектов транспортной инфраструктуры (далее — ОТИ), подлежащих категорированию в соответствии со статьей 6 ФЗ-16, и не предусмотрена для ОТИ, не подлежащих категорированию, к которым относятся акватории.

В частности, в требованиях по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требованиях к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры морского и речного транспорта [3] (далее — ПП-1638), такая обязанность прямо предусмотрена подпунктом 3 пункта 5.

В рассматриваемых Требованиях такая обязанность отсутствует. Термин «группа быстрого реагирования» в Требованиях не используется. Вместо ГБР Требованиями в обязанность СТИ вменено образовать (сформировать) и (или) привлечь «...группы из числа работников подразделений транспортной безопасности, специально оснащенные, мобильные, круглосуточно выполняющие свои задачи по реагированию на подготовку совершения или совершение актов незаконного вмешательства в зоне транспортной безопасности объекта транспортной инфраструктуры, а также на нарушения внутриобъектового и пропускного режимов» (подпункт 3 пункта 5).

Как буквальное толкование Требований, так и их систематическое толкование в увязке с ПП-1638 позволяют сделать вывод о том, что Требования не содер-

жат обязанности СТИ образовать для защиты акваторий от актов незаконного вмешательства именно ГБР. Требования предписывают образовать «группы реагирования» (далее — ГР). Но в чем их отличие от ГБР?

Реагирование на акты незаконного вмешательства на акватории

Чтобы проверить обоснованность вывода, содержащегося в предыдущем абзаце, и определить отличия ГБР от «групп реагирования», напомним содержанием термин «реагирование» применительно к ГР. Реагирование является ключевой функцией ГБР с точки зрения ПП-1638 и ГОСТ Р 59044–2020 и ключевой функцией ГР с точки зрения Требований.

Термин «реагирование» в ФЗ-16 используется один раз и не в контексте реагирования на акты незаконного вмешательства (далее — АНВ).

Подпункт б) подпункта 7 пункта 6 Требований содержит обязанность капитана морского порта (далее — капитан) разработать, принять и исполнять порядок реагирования сил обеспечения транспортной безопасности (далее — СОТБ) на подготовку к совершению АНВ или их совершение. Как должны реагировать СОТБ, Требования не определяют, оставляя принятие решения по этому вопросу капитану.

Несмотря на неопределенность в Требованиях, капитан должен принять обоснованное решение в рамках законодательства о транспортной безопасности. Чтобы принять такое решение, необходимо выяснить, на чьи действия или на какие события обязаны реагировать ГР и какие права в рамках реагирования предоставлены им.

Объект реагирования

Сравнивая положения ПП-1638 и Требований, можно отметить, что ПП-1638 оперирует термином «нарушитель», под которым понимает лиц, «подготавливающих совершение или совершивших акты незаконного вмешательства, за которые законодательством Российской Федерации установлена административная или уголовная ответственность» (подпункт 40 пункта 5). При этом в качестве нарушителя ПП-1638 рассматривают исключительно физическое лицо. ПП-1638 предусматривает реагирование на действия лиц, которых можно идентифицировать в качестве нарушителя действующего административного и уголовного законодательства.

Термин «нарушитель» в Требованиях вообще не используется. Так на чьи и на какие действия должны реагировать ГР?

В соответствии с пунктом 6 Требований капитан морского порта обязан обеспечить обнаружение и идентификацию судов в акватории порта (подпункт 9), принимать меры по предотвращению незаконного нахождения и прекращению незаконного передвижения судов в зоне транспортной безопасности акватории морского порта, в соответствии с планом объекта транспортной инфраструктуры (подпункт 10) при уровне безопасности № 2 обеспечить постоянное наблюдение за всеми судами в зоне транспортной безопасности акватории морского порта (подпункт 13). Физические лица, в том числе находящиеся на судах, Требованиями в качестве объекта реагирования не рассматриваются.

Требования акцентируют внимание на законности нахождения и передвижения судов в акватории, в связи с чем данный тезис требует пояснения.

Учитывая, что Требования содержат обязанности капитана морского порта, выделим некоторые элементы его правового статуса, влияющие на законность нахождения и передвижения судов в акватории.

В соответствии со статьей 78 «Кодекса торгового мореплавания Российской Федерации» [4] (далее — КТМ) распоряжения капитана морского порта по относящимся к его полномочиям вопросам обязательны для всех находящихся в порту судов. Статья 80 КТМ определяет, что «каждое судно до выхода из морского порта обязано получить разрешение капитана морского порта на выход из морского порта. Капитан морского порта имеет право отказать в выдаче разрешения на выход судна из морского порта...». В соответствии со статьей 12 Федерального закона «О морских портах в Российской Федерации» [5] (далее — ФЗ-261) капитан морского порта издает акты ненормативного характера, подлежащие исполнению капитанами судов. Статья 14 ФЗ-261 предусматривает разработку, утверждение и опубликование обязательных постановлений в морском порту, которые, в частности, содержат правила захода судов в морской порт и выхода судов из морского порта, в том числе меры обеспечения безопасности мореплавания для захода судов в морской порт, выхода судов из морского порта; правила плавания судов в акватории мор-

ского порта и на подходах к нему; описание зоны действия систем управления движением судов и правила плавания судов в этих зонах; правила стоянки судов в морском порту и указание мест их стоянки; сведения о районах обязательной и необязательной лоцманской проводки судов; сведения о передаче информации капитанами судов, находящихся в морском порту, при возникновении угрозы актов незаконного вмешательства в морском порту.

Вывод: в соответствии с Требованиями, ГР должны реагировать только на нахождение или передвижение судов в акватории, производящиеся в нарушение распоряжений, разрешений и актов капитана и обязательных постановлений в порту.

Правовой статус работников подразделений транспортной безопасности

Оценивая правовой статус работников подразделений транспортной безопасности (далее — ПТБ) в части, касающейся физического воздействия на суда и/или взаимодействия с ними, необходимо учитывать, что судно обладает серьезными отличиями от других видов транспортных средств, обусловленными природной средой, в которой оно используется, и требованиями специального законодательства.

Применение работниками ПТБ физической силы и спецсредств

Рассмотрим, какими правами наделены работники ПТБ, чтобы реагировать на незаконные действия судов, и какие из них они могут реально применить.

В соответствии с пунктом 2 части 5 статьи 12.3 ФЗ-16 работники подразделений транспортной безопасности имеют право на применение физической силы, служебного огнестрельного оружия, специальных средств в соответствии с Федеральным законом «О ведомственной охране» (далее — ФЗ-77) [6]. Статья 14 ФЗ-77 предоставляет работникам ПТБ право на применение физической силы для пресечения преступлений или административных правонарушений, задержания лиц, их совершивших, пресечения сопротивления законным требованиям работников ПТБ, если иные способы не обеспечивают исполнения возложенных на них должностных обязанностей. ФЗ-77 разрешает применять физическую силу исключительно в отношении физических лиц, которые с точки зрения законодательства о транспортной без-

опасности являются «нарушителями».

В соответствии со статьей 15 ФЗ-77 работники ПТБ имеют право на применение специальных средств в случае необходимости остановить на охраняемых объектах транспортное средство, водитель которого не выполнил требования работников ПТБ. При этом, в качестве специальных средств работниками ПТБ могут применяться резиновые палки, слезоточивый газ, наручники, средства принудительной остановки транспорта и служебные собаки.

Сразу можно сделать вывод, что четыре из пяти перечисленных специальных средств совершенно не подходят для физического воздействия на суда. Теоретически работники ПТБ могут использовать средства принудительной остановки транспортных средств для остановки судов, однако сведений о существовании специальных средств, предназначенных для принудительной остановки именно судов, обнаружить не удалось. Нет информации и об опыте использования средств принудительной остановки в отношении судов, если не учитывать исторические сообщения о применении различных приспособлений в отношении весельных и парусных судов.

Нужно признать, что ФЗ-77 и ФЗ-16 объектом применения средств принудительной остановки транспорта считают автомобильный транспорт. Для принудительной остановки автомобильного транспорта разработаны и используются несколько видов специальных средств, различными ведомствами разработаны наставления и порядки по их применению, чего нет в сфере водного транспорта.

Также, необходимо иметь в виду, что, согласно ФЗ-77, средства принудительной остановки транспорта могут использоваться только в случае отражения нападения на охраняемые объекты.

Таким образом, применение работниками ПТБ средств принудительной остановки в отношении судов невозможно по причинам отсутствия специализированных для водной среды специальных средств и нормативно-правового регулирования их применения.

Вывод: ГР, защищающие акватории, в отличие от ГБР, защищающих иные виды ОТИ и транспортных средств, не могут использовать в отношении судов физическую силу и специальные средства. То есть, при выполнении возложенных на них задач, ГР не могут осуществлять физическое воздействие на судно и/или физическое взаимодействие с судном.

Вопросы применением работниками ПТБ огнестрельного оружия не рассматриваются в связи с отсутствием их на вооружении ПТБ Росморпорта. Но при этом стоит напомнить, что применение огнестрельного оружия всегда регулируется гораздо жестче, чем применение физической силы и специальных средств.

Примеры регулирования физического воздействия на суда в российском законодательстве

Изучение действующих нормативно-правовых актов, позволяет сделать вывод, что судно является особым, самостоятельным объектом права, права на действия в отношении которого определяются специальным законодательством Российской Федерации. Кроме того, правовой статус морского судна защищается рядом международных конвенций.

В российском законодательстве в качестве примеров законодательного закрепления права на физическое воздействие на суда и/или физического взаимодействия с судами можно рассмотреть отдельные положения Закона РФ «О Государственной границе Российской Федерации» [7] и Федерального закона «О противодействии терроризму» [8] (далее — ФЗ-35). В соответствии с Законом о государственной границе пограничные органы в пределах приграничной территории имеют право сопровождать российские и иностранные суда и располагать на них пограничные наряды; останавливать, осматривать и задерживать пограничными кораблями российские и иностранные суда, допустившие нарушения, и доставлять (конвоировать) их в ближайший российский порт для выяснения обстоятельств нарушения.

Во внутренних морских водах и в территориальном море Российской Федерации, российской части вод пограничных рек, озер и иных водных объектов по отношению к российским и иностранным судам, пограничные органы кроме того имеют право остановить судно и осмотреть его, если оно не поднимает свой флаг, не отвечает на сигналы опроса, не подчиняется требованию изменить курс или нарушает общепризнанные принципы и нормы международного права; снимать с судна и задерживать лиц, совершивших преступления и подлежащих уголовной ответственности по законодательству Российской Федерации; преследовать и задерживать за пределами территориальных вод Российской Федерации судно, нарушившее

международные договоры Российской Федерации, федеральные законы и иные нормативные правовые акты Российской Федерации, до захода этого судна в территориальное море своей страны или третьего государства, если преследование было начато в водах или в прилегающей зоне Российской Федерации после подачи зрительного или звукового сигнала об остановке с дистанции, позволяющей судну увидеть или услышать этот сигнал, и велось непрерывно.

Пограничные органы и Вооруженные Силы Российской Федерации, осуществляя защиту Государственной границы в пределах приграничной территории, применяют оружие и боевую технику для отражения вооруженного вторжения на территорию Российской Федерации, предотвращения попыток угона за границу воздушных, морских, речных судов и других транспортных средств без пассажиров.

Оружие и боевая техника могут применяться также против морских и речных судов, пересекающих (пересекающих) Государственную границу в нарушение установленных настоящим Законом правил, в ответ на применение ими силы или в случаях, когда прекращение нарушения или задержание нарушителей не может быть осуществлено другими средствами; для защиты граждан от нападения, угрожающего их жизни и здоровью, для освобождения заложников; для отражения нападения на военнослужащих, лиц, выполняющих служебные обязанности или общественный долг по защите Государственной границы, членов их семей, когда их жизнь подвергается непосредственной опасности; для отражения нападения на подразделения и объекты пограничных органов, Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов, принимающих участие в защите Государственной границы, в том числе для оказания помощи кораблям (катерам), самолетам и вертолетам при отражении вооруженного нападения на них.

Статья 8 ФЗ-35 определяет, что в случае, если морские или речные суда и корабли (плавательные средства) не реагируют на команды и (или) сигналы прекратить нарушение правил использования водного пространства Российской Федерации (подводной среды) либо отказываются подчиниться требованиям об остановке, оружие военных кораблей (летательных аппаратов) Вооруженных Сил Российской Федерации применяется для при-



ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН

нуждения к остановке плавательного средства в целях устранения угрозы террористического акта. Если плавательное средство не подчиняется требованиям об остановке и (или) невозможно принудить его к остановке и при этом были исчерпаны все обусловленные сложившимися обстоятельствами меры, необходимые для его остановки, и существует реальная опасность гибели людей либо наступления экологической катастрофы, оружие военных кораблей (летательных аппаратов) Вооруженных Сил Российской Федерации применяется для пресечения движения плавательного средства путем его уничтожения.

Рассмотрение законодательства о полиции позволяет сделать вывод о том, что ее деятельность на акваториях портов практически не регулируется. В соответствии со статьей 187.3. «Устава патрульно-постовой службы полиции» [9], патрулирование на катерах по рекам, водоемам, акваториям портов, проведение рейдов в прибрежной полосе моря является основной формой организации патрульно-постовой службы в сфере пассажирских перевозок. Статьи 224.1–4 к обязанностям наряда патрульно-постовой службы полиции на патрульном катере относят: знание основных положений правил плавания по внутренним водным путям, меры ответственности, в пределах предоставленных полномочий оказывать содействие органам государственной инспекции по маломерным судам в предупреждении и пресечении нарушений правил плавания и эксплуатации судов; проведение профилактической работы на акватории водного бассейна среди отдыхающих граждан о необходимости соблюдения ими правил поведения и мер безопасности при купании в водоемах;

принятие всех мер по оказанию помощи гражданам, терпящим бедствие на воде; оказание содействия природоохранительным органам и органам рыбоохраны в предупреждении и пресечении правонарушений в области охраны рыбных запасов, флоры и фауны. Как видим, законодательство прямо не предоставляет полиции каких-либо прав на физическое воздействие на суда и/или физическое взаимодействие с ними. А. М. Скрынник в статье «Проблемы правовой регламентации деятельности полиции с использованием патрульных речных и морских судов (катеров) в сфере обеспечения морской безопасности» обращает внимание на эту проблему и пишет, что «нормативная правовая база, регламентирующая деятельность органов внутренних дел на акваториях с использованием транспортных средств — патрульных судов (катеров) отстает от реалий нынешнего времени. Ни в основополагающем Федеральном законе РФ № 3, 2011 г. «О полиции», ни в каких-либо других законодательных актах деятельность органов полиции с применением патрульных речных, морских судов (катеров) не отражена» [10]. Упомянутым в «Уставе патрульно-постовой службы полиции» должностным лицам Государственной инспекции по маломерным судам, в соответствии с Положением о Государственной инспекции по маломерным судам [11] (далее — ГИМС), предоставлено право задерживать маломерные суда и останавливать их при необходимости.

При этом, как отмечалось выше, ФЗ-16 не наделяет работников ПТБ какими-либо правами на физическое воздействие на суда и/или физическое взаимодействие с ними. Незаконное с точки зрения КТМ и ФЗ-261 нахождение или передвижение

судов в акватории не создает правовых оснований для работников ПТБ в целом и ГР в частности на физическое воздействие на суда и/или физическое взаимодействие с ними.

Вывод: в случае нарушения судном международных договоров Российской Федерации, федеральных законов и иных нормативно-правовых актов Российской Федерации в акватории морского порта физическое воздействие на него и/или физическое взаимодействие с ним могут осуществлять только Вооруженные Силы Российской Федерации, в частности, пограничные органы. Предотвращение незаконного нахождения и прекращение незаконного передвижения маломерных судов в акватории морского порта возможно должностными лицами ГИМС в пределах их полномочий при содействии полиции.

Реагирование ГР на незаконное нахождение или передвижение судна в акватории

В предыдущих двух параграфах обобщено отсутствие у ПТБ, в целом, и ГР, в частности, прав на любое физическое воздействие на судно и/или физическое взаимодействие с ним в качестве меры реагирования на его незаконное нахождение или передвижение в акватории.

Тогда какие меры реагирования остаются в арсенале ПТБ в соответствии с Требованиями?

В соответствии с пунктом 5 Требования к правам капитана морского порта относятся только меры реагирования, связанные с информированием (подпункты 11, 14) и проверкой информации об угрозе совершения акта незаконного вмешательства (подпункт 5).

В соответствии с пунктом 6 Требования капитан морского порта обязан обеспечить обнаружение и идентификацию судов в акватории порта (подпункт 9). В рамках порядка допуска транспортных средств в зону транспортной безопасности акватории порта капитан морского порта обязан организовать обнаружение судов в акватории порта, их идентификацию и установление с ними радиосвязи (подпункт 7). С помощью технических средств обеспечения транспортной безопасности капитан морского порта обязан обеспечить радиолокационное наблюдение за судами в акватории порта и на подходах к нему, прием информации от судовых станций автоматической идентификационной системы и установление связи с судами по ультракоротким волнам в зонах транспортной безопасности ак-

ватории порта.

Подпунктами 7 и 10 пункта 6 Требования на капитана морского порта возлагается обязанность принять меры по прекращению и предотвращению незаконного нахождения, перемещения судов в зоне транспортной безопасности.

Вывод: исходя из вышеизложенного, меры по прекращению и предотвращению судов в зоне транспортной безопасности могут включать только установление с судами радиосвязи и информирование взаимодействующих органов и организаций.

Это и есть полный перечень мер реагирования ГР на подготовку совершения или совершение актов незаконного вмешательства в зоне транспортной безопасности акватории морского порта.

Отсутствие в Требованиях обязанности капитана морского порта образовать (сформировать) и (или) привлечь группы быстрого реагирования, обеспечивающие реагирование на подготовку к совершению или совершение акта незаконного вмешательства в акватории морского порта, обосновано законодательно и отражает реальную ситуацию с обеспечением транспортной безопасности акватории морского порта.

ГР, которые капитан морского порта обязан образовать (сформировать) и (или) привлечь для реагирования на подготовку к совершению или совершению акта незаконного вмешательства в акватории морского порта, не могут применять любое физическое воздействие на судно и/или физическое взаимодействие с судном, включая использование физической силы и специальных средств.

В соответствии с Требованиями меры по прекращению и предотвращению незаконного нахождения, перемещения судов в зоне транспортной безопасности, доступные ГР, включают только установление с судами радиосвязи и информирование взаимодействующих органов и организаций. 

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 10.10.2020 № 1651 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для объектов транспортной инфраструктуры морского и речного транспорта, не подлежащих категорированию» // КонсультантПлюс.

2. Федеральный закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ (ред. от 02.12.2019) «О транспортной безопасности» // КонсультантПлюс.
3. Постановление Правительства РФ от 08.10.2020 № 1638 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры морского и речного транспорта» // КонсультантПлюс.
4. «Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации» от 30.04.1999 № 81-ФЗ (ред. от 13.07.2020) // КонсультантПлюс.
5. Федеральный закон от 08.11.2007 № 261-ФЗ (ред. от 08.12.2020) «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // КонсультантПлюс.
6. Федеральный закон от 14.04.1999 № 77-ФЗ (ред. от 05.12.2017) «О ведомственной охране» // КонсультантПлюс.
7. Закон РФ от 01.04.1993 № 4730-1 (ред. от 08.12.2020) «О Государственной границе Российской Федерации» // КонсультантПлюс.
8. Федеральный закон от 06.03.2006 № 35-ФЗ (ред. от 08.12.2020) «О противодействии терроризму» // КонсультантПлюс.
9. Приказ МВД России от 29.01.2008 № 80 (ред. от 12.02.2015) «Вопросы организации деятельности строевых подразделений патрульно-постовой службы полиции» (вместе с «Уставом патрульно-постовой службы полиции») (Зарегистрировано в Минюсте России 05.03.2008 № 11290) // КонсультантПлюс.
10. Скрынник, А. М. Проблемы правовой регламентации деятельности полиции с использованием патрульных речных и морских судов (катеров) в сфере обеспечения морской безопасности // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. — 2013. — 2 (58). — С. 40–44.
11. Постановление Правительства РФ от 23.12.2004 № 835 (ред. от 11.07.2020) «Об утверждении Положения о Государственной инспекции по маломерным судам Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» // КонсультантПлюс.

Подход к экономической оценке инвестиционных проектов развития железнодорожной инфраструктуры



И. М. Гулый,
канд. экон. наук, доцент
Петербургского государственного университета
путей сообщения Импера-
тора Александра I

Экономическая оценка транспортных проектов, в том числе в сфере развития железнодорожной инфраструктуры, является актуальной практической задачей и важным научным направлением. В статье предложен подход к экономической оценке инфраструктурных проектов развития железнодорожного транспорта, основанный на эконометрических расчетах влияния инвестиций на изменение добавленной стоимости железнодорожных перевозок.

Экономическая оценка влияния транспортной инфраструктуры на экономику, экономический рост имеет очень важное значение и в то же время отличается сложностью, множественностью подходов, используемых методов, моделей. Ускоренное развитие транспортной инфраструктуры оказывает значительное влияние на экономический рост, уровень жизни населения, конкурентоспособность выпускаемых товаров с точки зрения транспортной составляющей в совокупных издержках, наличия условий для наиболее эффективного использования факторов производства за счет доступа к современной инфраструктуре.

Значимость проведения экономической оценки эффективности реализации транспортных проектов одновременно обусловлена их высокой капиталоемкостью, разнообразием, наличием многих альтернатив. Результаты экономической оценки позволяют объективно и достоверно понять целесообразность реализации проекта, сравнить альтернативные варианты, выбрать наилучший [3].

За последние годы в России активизировался процесс углубления научно-методической базы оценки транспортных проектов. Свои документы подготовили: Российские железные дороги, Росморречфлот, Росавтодор, Минэкономразвития, Аналитический центр при Правительстве РФ. Автор статьи делает попытку дополнить существующие подходы своим видением и внести определенный вклад, основанный на применении статистического материала и выполнении эконометриче-

ских расчетов влияния инвестиций в инфраструктуру на прирост добавленной стоимости отдельных видов транспорта на уровне отдельных территорий.

Тренды и проблемы инвестирования железнодорожной инфраструктуры

Рассматривая динамику ввода транспортных мощностей в сфере железнодорожных перевозок, отметим точечный последовательный подход в направлении инвестиций и в то же время отсутствие яркой динамики, тенденцию замедления ввода транспортных мощностей за последние несколько лет. На рис. 1 приведены данные по вводу новых мощностей железнодорожной инфраструктуры с 2005 по 2019 гг. За указанный период было введено новых железнодорожных линий в количестве 1279 км, вторых путей — 1247 км. Объем ежегодного инвестирования в основной капитал по железнодорожным перевозкам вырос за тот же период в 3,6 раза в действующих ценах (в номинальном выражении). Но в реальном выражении с учетом приведения показателей в сопоставимые цены инвестиции выросли всего на 27 %.

Регионы с наибольшими показателями ввода мощностей железнодорожной инфраструктуры по новым линиям за период 2005–2019 гг.: Кемеровская область (294 км), Ямало-Ненецкий автономный округ (178 км), Ленинградская область (145 км), Краснодарский край (110 км), Астраханская и Воронежская области (82 и 61 км), Пермский, Приморский и Хабаровский края (48; 44 и 31 км). По вводу вторых путей

лидировали: Саратовская, Волгоградская и Ростовская область (182; 167 и 154 км), Краснодарский и Хабаровский края (137 и 68 км), Иркутская и Тюменская области (61 и 51 км), Кузбасс (50 км), Вологодская (46 км), Московская агломерация (43 км).

Основной акцент при инвестировании ввода новых железнодорожных путей делается на снижение дефицита пропускной способности, расшивку «узких» мест, повышение резервов вывоза промышленной продукции на экспортные рынки, усиление связанности центров производства и потребления внутри страны [5]. По оценкам [4], на 2019–2020 гг. в связи с наличием сдерживающих пропускную способность участков инфраструктуры, объем «недовывоза» составил порядка 100 млн тонн в год или около 10 % от общего объема железнодорожных грузоперевозок. При этом за последние годы общая протяженность «узких» мест российской железнодорожной сети значимо не снизилась. Сейчас она составляет около 8 тыс. км или порядка 10 % общей протяженности железных дорог общего пользования. Отдельно отметим проблемы железнодорожных подходов к морским портам. Частично она решается за счет реализации Национального проекта «Железнодорожный транспорт и транзит», но в основном лишь на участках БАМа и Транссиба [1].

Подход к оценке влияния инвестиций в железнодорожную инфраструктуру на рост добавленной стоимости

Предлагаемый в статье подход к оценке влияния инвестиций в железнодорожную инфраструктуру затрагивает возможности применения эконометрических моделей в процессе изучения эффектов инфраструктурного развития территорий.

При использовании эконометрических взаимосвязей по участкам железнодорожной сети, отдельным регионам устанавливается взаимосвязь между параметрами инвестирования и показателями изменения добавленной стоимости, а также проводятся расчеты влияния транспортных проектов в сфере железнодорожных перевозок на изменение добавленной стоимости других видов транспорта (эффекты межвидовой конкуренции, показатели перекрестной эластичности добавленной стоимости по инвестициям).

Инвестиции в капитальное строительство, модернизацию и реконструкцию транспортных сетей приводят к сокращению транспортных затрат предприятий реального сектора, стимулируют их к расширению своей деятельности. Поэ-

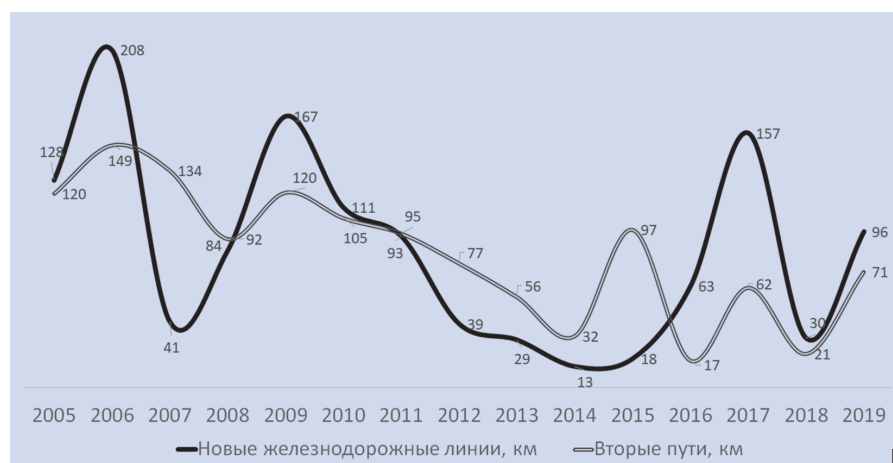


Рис. 1. Ввод в действие новых мощностей железнодорожной инфраструктуры в России с 2005 по 2019 гг.

Источник: построено автором на основе [2].

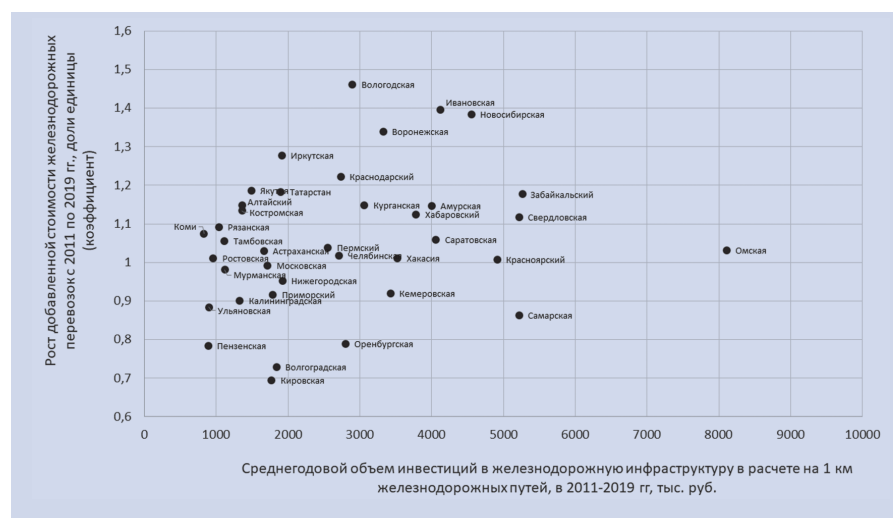


Рис. 2. Эконометрическое сопоставление российских регионов по параметрам инвестирования в железнодорожную инфраструктуру и приросту добавленной стоимости железнодорожных перевозок с 2011 по 2019 гг. (расчет по 1 варианту). Источник: рассчитано и построено автором на основе [2].

Примечание: выбор периода оценки обусловлен наличием данных по добавленной стоимости железнодорожного транспорта в разрезе регионов, начиная с 2011 г.

тому наряду с оценкой влияния проектов на железнодорожный транспорт необходимо определить влияние инфраструктурных инвестиций на дополнительный прирост добавленной стоимости в регионах, увеличение занятости и создание новых рабочих мест.

На рис. 2 приведены результаты сопоставления объемов инвестиций в основной капитал по виду деятельности «железнодорожный транспорт» в расчете на 1 км протяженности железнодорожных путей и темпов роста добавленной стоимости на железнодорожных перевозках.

На рис. 2 в связи с большим масштабом не отражены, но фактически являются его частью: город Москва (инвестиции 99 млн.руб/км; темп роста добавленной стоимости 1,788); город Санкт-Петербург (инвестиции 30,9 млн.руб./км; темп роста добавленной стоимости 1,479).

В результате расчетов нами установлено, что при объемах инвестирования в железнодорожную инфраструктуру в размере 8–10 млн рублей в год в расчете на 1 км путей ежегодный прирост добавленной стоимости на железнодорожных перевозках составляет 3–4 %. При меньших объемах инвестирования (от 2 до 7 млн рублей в год на 1 км) динамика добавленной стоимости составляет от –2 % (снижение) до +1 %.

Также мы провели альтернативный расчет, в рамках которого показатель инвестирования представлен в расчете на одного среднеспособного работника, занятого на железнодорожных перевозках (рис. 3).

Результаты расчетов аналогичны тем, что получены нами по 1 варианту. При объеме инвестиций в сумму от 500 тыс. до 1 млн рублей на 1 работника, занятого на железнодорожных перевозках, еже-

годный прирост добавленной стоимости составляет порядка 2–3 %. При меньших параметрах инвестирования — от 200 до 500 тыс. рублей — динамика добавленной стоимости колеблется от –0,5 % до 0,7 % в год.

Что касается перекрестной эластичности, то наши исследования подтверждают ее наличие в 40 российских регионах (рис. 4). В них ежегодный прирост добавленной стоимости железнодорожных перевозок на 2–3 % привел к сокращению этого показателя по грузовому автотранспорту на 4–6 %. Таким образом, в процессе проведения оценки эффективности транспортных проектов предлагается не только оценивать макроэкономический эффект для основного транспорта, по которому планируются инвестиции, но и рассчитывать коэффициенты перекрестной эластичности, характеризующие

влияние инвестиций, прироста добавленной стоимости по конкретному виду транспорта на изменение добавленной стоимости других видов транспорта.

Если говорить о стимулировании реализации инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте макроэкономического роста в регионах в целом, то наши эконометрические расчеты за 2011–2019 гг. показали следующее: примерно в 20 российских регионах видна тесная связь инвестиций в железнодорожный транспорт и динамики валового регионального продукта. Наиболее выражено это проявляется по: Ленинградской, Калининградской, Ярославской, Брянской, Свердловской, Новосибирской областям, Красноярскому и Краснодарскому краям, городам Москве и Санкт-Петербургу.

Предложенный подход к экономической оценке инвестиционных проектов

развития железнодорожной инфраструктуры, основанный на эконометрических расчетах, выявил следующее: при значительных объемах инвестирования в железнодорожную инфраструктуру (свыше 8 млн рублей на 1 км путей; свыше 500 тыс. на 1 среднеспособного работника, занятого на перевозках) ежегодный прирост добавленной стоимости на железнодорожных перевозках составлял 3–4 %. При меньших объемах инвестирования (от 2 до 7 млн рублей в год на 1 км; 200–500 тыс. рублей на 1 работника) динамика добавленной стоимости составила от –2 % до +1 %. При проведении оценки транспортных проектов предложено определять показатели перекрестной эластичности добавленной стоимости по инвестициям. Применимость такого расчета подтверждает то, что примерно в половине российских регионов ежегодный прирост добавленной стоимости железнодорожных перевозок на 2–3 % приводил к сокращению аналогичного показателя по грузовому автомобильному транспорту на 4–6 %. Также в рамках рассмотренного в статье подхода предлагается оценивать влияние инфраструктурных инвестиций на дополнительный прирост добавленной стоимости в регионах. Проведенные расчеты подтвердили, что примерно в четверти российских регионов имеется значимая связь инвестиций в железнодорожный транспорт с темпами среднегодовой динамики валового регионального продукта. Т

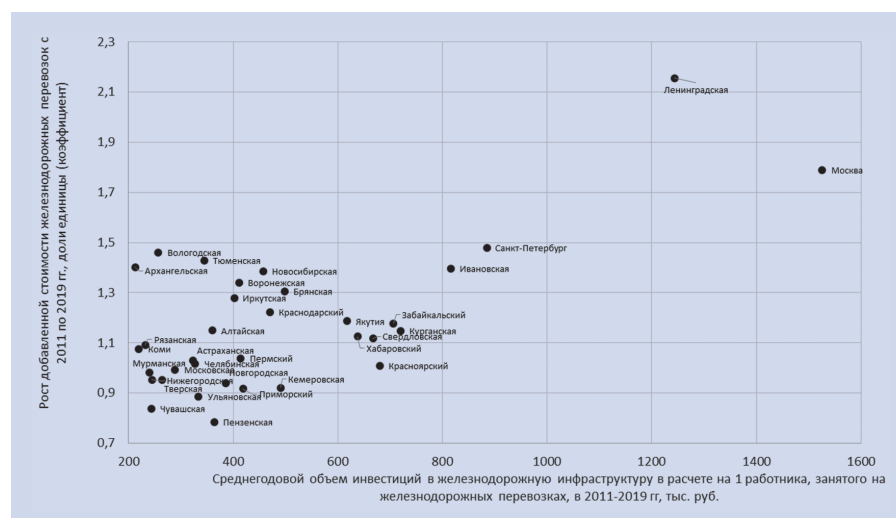


Рис. 3. Эконометрическое сопоставление российских регионов по параметрам инвестирования в железнодорожную инфраструктуру и приросту добавленной стоимости железнодорожных перевозок с 2011 по 2019 гг. (расчет по 2 варианту). Источник: рассчитано и построено автором на основе [2].

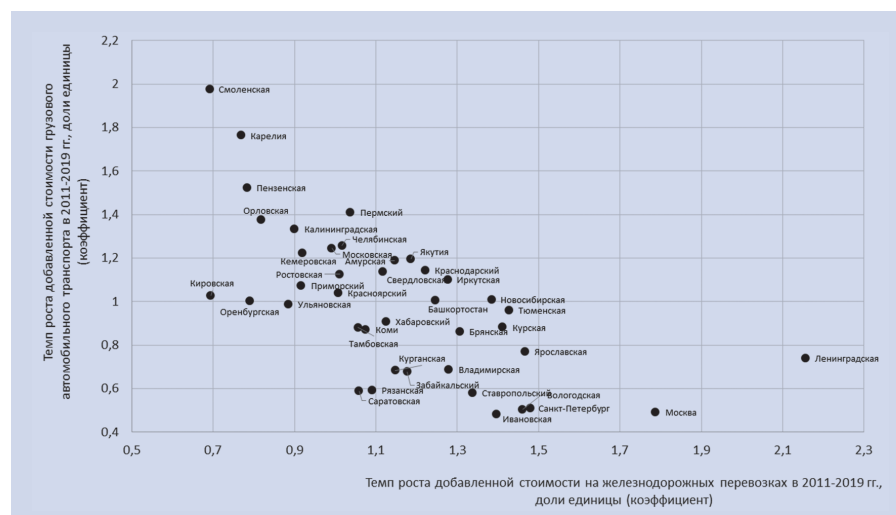


Рис. 4. Наглядное отражение перекрестной эластичности динамики добавленной стоимости грузового автомобильного транспорта по динамике добавленной стоимости железнодорожного транспорта, по российским регионам. Источник: рассчитано и построено автором на основе [2].

Литература

1. Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2019 год. — URL: <https://ar2019.rzd.ru> (дата обращения: 29.03.21).
2. ЕМИСС Государственная статистика: Официальные статистические показатели. — URL: <https://fedstat.ru> (дата обращения: 29.03.21).
3. Журавлева, Н. А. Проблемы финансирования проектов развития транспортной инфраструктуры и основные инвестиционные тренды 2020 года / Н. А. Журавлева, Т. Клыштик // Транспортные системы и технологии. — 2020. — Т. 6. — № 1. — С. 129–145.
4. Транспортная инфраструктура и экономический рост. — М.: Пера, 2019. — 142 с.
5. Чеченова, Л. М. Специфика инвестиционных проектов развития, реализуемых на железнодорожном транспорте // Управление проектами в новых реалиях: сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф.; под ред. Н. А. Журавлевой. — СПб., 2020. — С. 108–114.

Мобильность в организации мультимодальных пассажирских перевозок



О. Н. Дунаев,
д-р экон. наук, профессор,
председатель подкомитета по транспорту
и логистике комитета
РСПФ по международному
сотрудничеству, директор
Центра стратегического
развития логистики



А. В. Гуц,
начальник отдела маркетинга
Дирекции скоростного сообщения —
филиала ОАО «РЖД»

В статье рассмотрена мобильность как услуга мультимодальных пассажирских перевозок для населения при консолидирующей роли железнодорожного транспорта. Предложен новый инновационный продукт — бесшовная мобильность как услуга в организации мультимодальных пассажирских перевозок.

Рынок пассажирских транспортных услуг под влиянием внешнеэкономических факторов (пандемия COVID-19) переживает трудности как со стороны спроса, так и со стороны предложения. Количество перевезенных пассажиров в поездах дальнего следования в 2020 г. сократилось на 41,5 % по сравнению с 2019 г. Перевозки пассажиров в скоростном сообщении (в поездах «Сапсан») с ежегодным приростом на уровне 5 % в 2017–2019 гг. снизились на 29,6 % к уровню 2019 года.

Даже при благоприятном прогнозе по восстановлению пассажиропотоков следует иметь в виду, что апробируемые в условиях кризиса новые режимы работы (удаленный доступ, «дом-офис», онлайн-конференции), новые форматы потребления (с использованием мобильных и онлайн-каналов, доставки на дом) приведут к сокращению спроса на пасса-

жирские перевозки, изменения структуры спроса по отдельным видам транспорта.

В этой связи развитие железнодорожной маршрутной сети, улучшение обслуживания железнодорожных вокзалов, повышение качества услуг и расширение линейки предлагаемых сервисов поощряет потребление железнодорожных пассажирских перевозок большим количеством клиентов. Такой подход должен быть критически осмыслен и дополнен в свете новых трендов экономики, предпринимательства на рынке транспортных услуг. Сегодня в условиях ресурсных ограничений необходимо стратегическое организационное решение, направленное на масштабирование бизнеса, достижение оптимального баланса затрат, качества, компетенций, гибкости и клиентоориентированности.

Таким стратегическим решением может быть организация мультимодальных пасса-

ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН



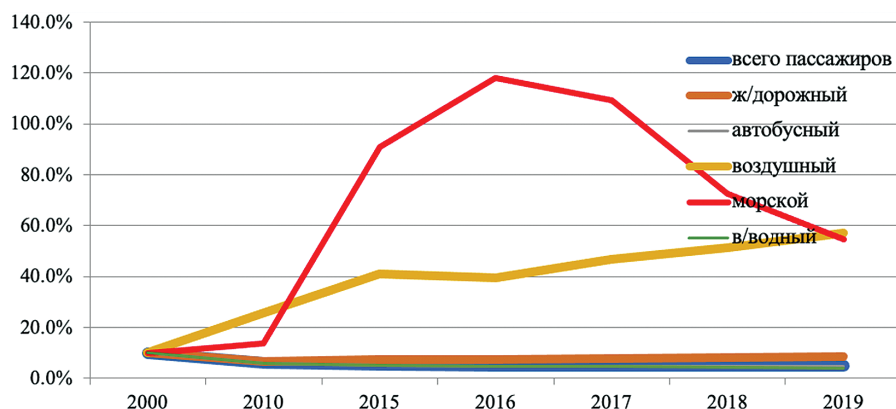


Рис. 1. Перевозки пассажиров по видам транспорта общего пользования, 2000 г. – 100,0 %

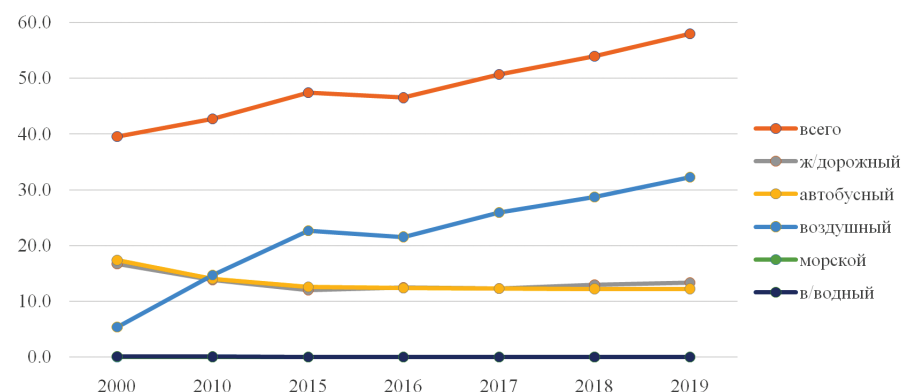


Рис. 2. Пассажирооборот по видам транспорта общего пользования (млрд пасс-км)

жирских перевозок по сетевому принципу, что предполагает активное взаимодействие по горизонтали различных транспортных организаций между собой и с разными категориями пассажиров с разными потребительскими предпочтениями и уровнем дохода.

Переход от линейных бизнес-процессов, построенных по вертикали, к бизнес-процессам горизонтального типа позволит обеспечить бесшовную мобильность населения через комбинацию различных видов транспорта. В этой связи актуальна разработка экономически обоснованной системы управления организацией комбинированных пассажирских перевозок на базе сетевого взаимодействия, развития комплекса услуг с другими видами пассажирского транспорта, улучшения сервиса и увеличения линейки продуктов, предлагаемых железнодорожной инфраструктурой, в целях увеличения объемов перевозки пассажиров железнодорожным транспортом (табл. 1).

Динамика и структура изменений на рынке пассажирских перевозок

Анализ состояния и динамики пассажирских перевозок по видам транспорта общего пользования за период 2000–2020 гг. под влиянием внутренних

и внешнеэкономических факторов показывает [1]:

1. Количество пассажиров, перевезенных железнодорожным транспортом, уменьшилось за 10 лет (2000–2010 гг.), практически на одну треть (66,7 % к уровню 2000 г.). Начиная с 2010 г. объем пассажирских железнодорожных перевозок стал восстанавливаться, однако в 2019 г. они все еще составляли 84,6 % от уровня 2000 г. Воздушный и морской транспорт имеют высокие темпы роста: количество пассажиров на воздушном транспорте выросло в 5,7 раза, на морском — в 5,4 раза (рис. 1).

2. Несмотря на увеличение транспортной работы, выполненной в совокупности всеми видами транспорта, на 46,4 % (рис. 2), отдельные виды транспорта

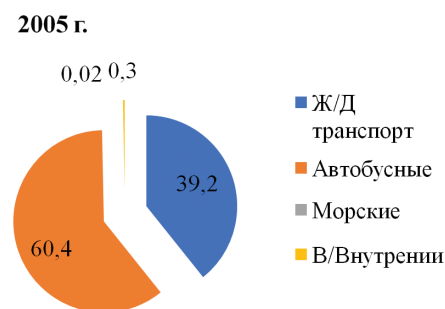


Рис. 4. Структура перевозок отправленных пассажиров в пригородном сообщении по видам транспорта (в %)

показывают разную динамику. Так, высокие темпы роста пассажирооборота у воздушного транспорта (рост почти в 6 раз). У железнодорожного и автобусного транспорта пассажирооборот уменьшился соответственно на 20,0 % и на 29,5 %.

3. Изменилась структура перевозок в междугороднем сообщении по видам транспорта, что показывает изменение структуры спроса на перевозки (рис. 3). Доля железнодорожного транспорта практически не изменилась (41,8 % в 2005 г., 41,6 % в 2019 г.). Доля автобусного транспорта в междугородних перевозках упала с 51,2 % (2005 г.) до 28,9 % (2019 г.). Доля воздушного транспорта в междугородних (внутренних) перевозках выросла с 6,5 % (2005 г.) до 27,1 % (2019 г.).

Железнодорожный транспорт сохранил свои позиции на рынке междугородних внутренних перевозок за счет введения новой линейки продуктов: скоростные поезда, дневные поезда-экспрессы, привлекательные и гибкие железнодорожные тарифы для пассажиров, у которых альтернативные издержки времени относительно ниже.

Анализ структуры перевозок в пригородном сообщении показывает, что доминирующими видами транспорта в пригородных перевозках остаются железнодорожный и автобусный, на долю которых приходилось 99,6 % в 2005 г. и 99,9 % в 2019 г. (рис. 4).

Значительно изменилось соотношение рыночных долей, контролируемых этими

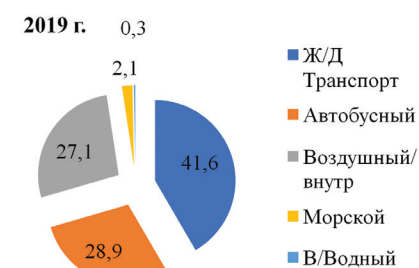


Рис. 3. Структура перевозок отправленных пассажиров в междугороднем сообщении по видам транспорта (в %)

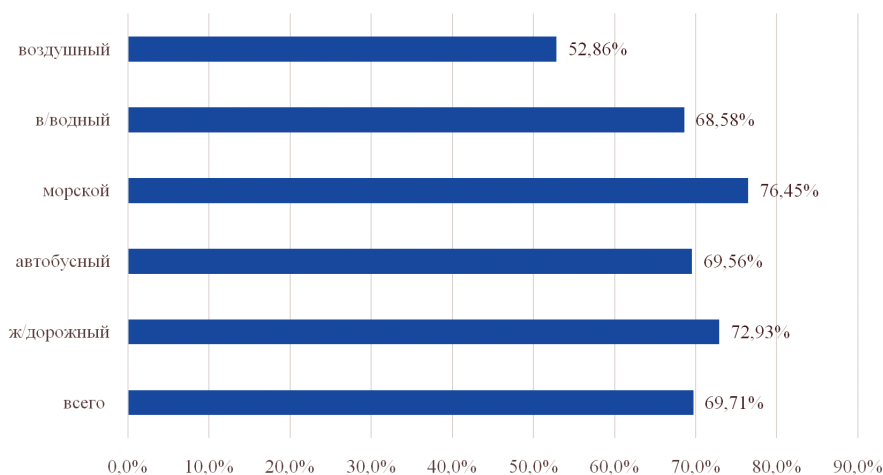


Рис. 5. Перевозки пассажиров по видам транспорта общего пользования, 2019 г. – 100,0 % [3]

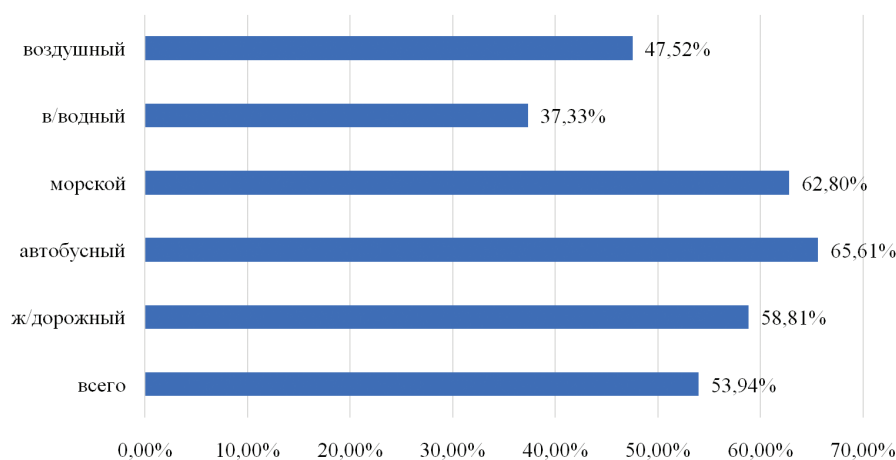


Рис. 6. Пассажирооборот по видам транспорта общего пользования, 2019 г. – 100,0 %

видами транспорта. В 2005 г. доля железнодорожного транспорта составляла 39,2 %, а к 2019 г. она выросла до 52,5 %. Напротив, удельный вес пассажиров, отправленных автобусным транспортом, снизился с 60,4 % в 2005 г. до 47,4 % в 2017 г.

Усиление конкурентных позиций железнодорожного транспорта на рынке пригородных перевозок объясняется

введением скоростных и городских электричек, усилением интеграции городской и пригородной транспортной сети, согласованием маршрутов.

Анализ динамики и структуры изменений на рынке пассажирских перевозок за период 2020 г. показывает, что общий объем пассажирских перевозок сократился к уровню 2019 г. на 3,63 млрд пасс. (или

30,3 % к уровню 2019 г.) и составил 69,7 % от уровня 2019 г. Наибольший объем снижения в абсолютном выражении пришелся на автобусный транспорт, перевозки сократились на 3,2 млрд чел. и составили 69,6 % к уровню 2019 г. Большое снижение в структуре пассажирских перевозок пришлось на авиационный транспорт: по итогам 2020 г. было перевезено 52,9 % пассажиров от уровня 2019 г., снижение составило 61,7 млн чел.

Общее снижение на железнодорожном транспорте составило 325,1 млн пассажиров, или 27,1 % к уровню 2019 г., в т. ч. перевозки пассажиров поездами дальнего следования сократились на 49,3 млн чел., или на 41,5 % к 2019 г., в пригородном железнодорожном транспорте — на 275,8 млн чел., или на 25,8 % к уровню 2019 г. [2].

По итогам 2020 г. общий пассажирооборот к уровню 2019 года составил 53,9 %. Существенное снижение пассажирооборота произошло на авиационном транспорте — 169,5 млрд пасс.-км или на 52,48 % к уровню 2019 г.

Снижение пассажирооборота в 2020 г. на железнодорожном транспорте составило 55,0 млрд пасс.-км, или 41,2 % к уровню 2019 г., в т. ч. в дальнем следовании сократилось на 45,8 млрд пасс.-км, или на 46,2 % к 2019 г., в пригородном железнодорожном сообщении на 9,6 млрд пасс.-км, или на 28 % к уровню 2019 г. Сопоставимо с железнодорожным транспортом снизилась работа автобусного транспорта — на 42,1 млрд пасс.-км, или на 34,4 % к уровню 2019 г.

Динамика пассажирооборота по видам транспорта общего пользования в 2020 г. представлена на рис. 6.

В I квартале 2021 г. в работе железнодорожного транспорта наметились положительные тенденции. По итогам марта 2021 г. количество перевезенных пассажиров составило 85,9 млн пассажиров, что на 4,8 % превысило уровень соответствующего периода 2020 г.

По итогам I квартала 2021 г. пассажирские перевозки железнодорожным транспортом составили 221,9 млн пассажиров, или 85,7 % к аналогичному уровню 2020 г., в том числе в дальнем следовании 17,5 млн пассажиров, или 77,8 %, в пригородном сообщении — 204,4 млн пасс., или 86,4 %.

Более высокие темпы восстановления объема пассажирских перевозок демонстрирует высокоскоростной транспорт. По итогам марта 2021 г. составили 91,5 % от марта 2019 г.

Таблица 1. Логика исследования

Идея		
Проблема	Решение	Рекомендации
Рынок пассажирских перевозок под влиянием внеэкономических факторов (неопределенность, пандемия COVID-19, новые тренды в технологиях) переживает шок со стороны как спроса, так и предложения.	Актуальна разработка экономически обоснованной системы мобильности мультимодальных пассажирских перевозок на базе сетевого взаимодействия. Активное «взаимодействие по горизонтали» разных транспортных организаций между собой и с разными категориями пассажиров с различными потребительскими предпочтениями и ограничениями по доходу.	Новый инновационный продукт — бесшовная мобильность как услуга. Мобильность в организации мультимодальных пассажирских перевозок по сетевому принципу. Развитие комплекса услуг с другими видами транспорта, улучшение сервиса, увеличение линейки продуктов, предлагаемых в целях увеличения объемов перевозок пассажиров при консолидирующей роли железнодорожного транспорта.

Источник: составлено авторами

Таблица 2. Сравнительный анализ практики организации мобильности мультимодальных пассажирских перевозок на международном рынке

Критерий	Великобритания	Франция	Германия	КНР	Япония
Форма организации взаимодействия	Ассоциация железнодорожных перевозчиков — Rail Delivery Group	Корпоративные стандарты холдинга SNCF	Платформенные решения на основе единых стандартов, протоколов (DB Navigator, карты BahnCard)	Ассоциация транспортных компаний с участием региональных органов власти	Ассоциация пассажирских перевозчиков Платформенные решения (карты SUICA, PASMO, ICOCA и другие)
Ведущий транспорт/консолидатор	Железнодорожный	Железнодорожный	Железнодорожный	Железнодорожный	Железнодорожный
Особенности рынка пассажирских транспортных услуг	Высокая конкуренция на рынке ж/д транспорта	Монопольное положение SNCF, развитая сеть автобусных перевозок	Высоко конкурентный рынок пассажирских перевозок	Монопольное положение на рынке жд транспорта Китайской жд корпорации, конкурентный авиарынок	Стратегический альянс государственных жд компаний на конкурентном рынке жд услуг
Тип бизнес-модели	Бизнес-модель, построенная на совместных/интегрированных бизнес-процессах	Бизнес-модель, ориентированная на продукт	Бизнес-модель, ориентированная на платформенные решения	Бизнес-модель, построенная на совместных/интегрированных бизнес-процессах	Бизнес-модель, построенная на совместных/интегрированных бизнес-процессах Бизнес-модель, ориентированная на платформенные решения

Пассажирооборот в I квартале 2021 г. сократился на 24,4 % и составил 18,5 млрд пасс.-км, в т. ч. в дальнем следовании — 12,4 млрд пасс.-км, или 72,8 % от уровня I квартала 2020 г., в пригородном сообщении — 6 млрд пасс.-км, или 83,7 % от уровня I квартала 2020 г.

Анализ за период 2000–2020 гг. показывает, что для компенсации падающего спроса на железнодорожные пассажирские перевозки и усиления конкурентных позиций необходима организация горизонтальных взаимодействий железнодорожных пассажирских компаний с компаниями смежных видов транспорта, как в дальнем (авиакомпания), так и в пригородном и внутригородском сообщениях (автобусные компании), координация управления и формирование новых институциональных структур, трансформация бизнес-моделей транспортных организаций [4, 5, 6].

Организация мобильности населения на рынке пассажирских перевозок

Мобильность, понимаемая как скорость, гибкость, возможность сжатия пространства (географического и экономического), стала важной характеристикой качества услуги поставки / перевозки в современном мире, развитие которой связано с технологиями мобильного доступа в Интернет.

Цифровые технологии постепенно меняют взгляд на значимость мобильности

как услуги на рынке пассажирских перевозок в системе факторов конкурентоспособности компаний. Если сравнительно недавно, по М. Портеру, компании конкурировали цепями поставок [7], то теперь для создания уникального потребительского опыта и внедрения стратегий эффективного роста компаниям нужны уже не обычные цепи поставок, а мобильные сети доставки, или экосистемы, объединяющие партнеров из различных отраслей, систем коммуникаций, транспорта и логистики, что и формирует новые значительные возможности мобильности как услуги на рынке пассажирских перевозок. В дополнение к управлению цепями поставок создаются цифровые экосистемы взаимодействий, в них прирастает ценность компании [8].

Мобильность как гибкость и адаптивность требует отхода от долгосрочных, четко структурированных двухсторонних договорных отношений компаний с поставщиками пассажирских услуг. Цепь поставок — практическая деятельность по управлению потоками информации, денег и материальных ценностей, проходящих от поставщика к потребителю сквозь всю компанию, включая ее внутренние функциональные подразделения и внешние связи [9], что требует интеграции управления спросом и предложением, поставками и сбытом внутри компании на всем протяжении цепи. Однако цифровые технологии наполняют «цепи поставок» таким свойством, как мобиль-

ность и гибкость в создании ценности для клиента, обеспечивают компании большее разнообразие вариантов для логистических решений и тем самым преимущество в конкурентоспособности, которой она ни при каких обстоятельствах не достигает в одиночку. Цепи поставок замещаются мобильными сетями доставки, объединяющими партнеров из различных сфер предпринимательской деятельности [10].

Опыт ведущих железнодорожных перевозчиков в странах с высоким уровнем развития транспортного комплекса демонстрирует общую тенденцию к развитию мобильности мультимодальных пассажирских перевозок на основе горизонтальной (сетевой) модели взаимодействия всех участников перевозочного процесса. Формы и методы организации мультимодальных пассажирских перевозок имеют особенности в отдельных странах. Они определяются такими обстоятельствами, как структура рынка пассажирских перевозок (какой вид транспорта может взять на себя функцию консолидации рынка пассажирских перевозок); наличие компании — интегратора перевозок; возможности для пассажирской компании запустить собственные сервисы в смежных видах транспорта; технологические и институциональные условия для сетевого взаимодействия на рынке пассажирских перевозок на базе высокой связанности маршрутной сети и видов транспорта, новых сервисов на базе цифровых технологий.

Таблица 3. Модели организации комбинированных пассажирских перевозок в АО «ФПК» и ОАО «Центральная ППК»

№ п/п	Модель	Комбинация видов транспорта	Инструмент организации	Сетевые эффекты
1	Мультимодальный маршрут	Ж/д, автобусный, морской	Единый билет, субсидируемый тариф	Увеличение спроса на поездах дальнего и пригородного сообщения
2	Мультимодальный маршрут по принципу «последняя миля»	Ж/д, автобусный, авиационный	Единый билет, договор фрахта автобуса, организация подвозящих маршрутов	Увеличение спроса на поездах дальнего и пригородного сообщения
3	Организация транспортно-пересадочного узла	Ж/д дальнего и пригородного следования, автобусный, авиационный	Общий ТПУ Синхронизация расписаний дальнего и пригородного сообщений	Увеличение спроса на поездах дальнего и пригородного сообщения

Сравнительный анализ практики мобильных мультимодальных пассажирских перевозок в крупнейших транспортных комплексах зарубежных стран показывает, что:

а) преобладают формы и инструменты горизонтальной интеграции участников процесса перевозки;

б) сетевое взаимодействие между видами транспорта поддерживается такими инструментами, как единые стандарты дистрибуции проездных документов, объединенные сервисные бизнес-модели, общие стандарты качества и безопасности (табл. 2).

Анализ практики организации мобильных мультимодальных пассажирских перевозок в крупнейших российских железнодорожных компаниях выявил использование трех моделей организации мультимодальных перевозок (табл. 3).

Компании в целях увеличения спроса на пассажирские перевозки используют одинаковые модели в организации мультимодальных пассажирских перевозок: практикуют удлинение цепочки создания ценности, пытаются сохранить основные компетенции для контроля над ней, оперируют в границах линейной модели бизнеса.

Новые тренды экономики, обусловленные цифровыми технологиями, открывают возможности для сетевого взаимодействия ОАО «РЖД» (Дирекция скоростного сообщения), АО «Федеральная пассажирская компания» с ОАО «Центральная ППК» и другими пассажирскими организациями на российском рынке перевозок в дальнем и пригородном сообщении. Выбор компаниями стратегического организационного решения об использовании сетевого взаимодействия для развития мобильности мультимодальных пассажирских перевозок позволит масштабировать бизнес, обеспечить оптимальный

баланс затрат, качества, компетенций, гибкости и клиент-ориентированности, запустить процесс проникновения услуг и сервисов железнодорожного транспорта на смежные рынки.

Следовательно, мобильность как услуга мультимодальных пассажирских перевозок создает условия для развития безбарьерности/бесшовности взаимодействия участников пассажирских перевозок (рис. 7).

Бесшовная мобильность населения при консолидирующей роли железнодорожного транспорта

Устойчивость долгосрочного экономического роста страны напрямую сопрягается с мобильностью факторов производства, в частности фактора труда, доступностью транспортных услуг для населения, динамичным расширением потребительского спроса на пассажирские перевозки. Задача увеличить к 2024 г. транспортную подвижность населения с 8,2 до 9,5 тыс. пасс.-км на 1 чел. в год делает актуальным повышение объемов пассажирских перевозок, в частности, железнодорожным транспортом, форми-

рование и увеличение спроса на услуги, предоставляемые населению с использованием железнодорожных активов.

Мобильность мультимодальных пассажирских перевозок на основе сетевого взаимодействия пассажирских компаний при консолидирующей роли железнодорожного транспорта предлагается рассматривать как:

1) взгляд на мобильную мультимодальную пассажирскую перевозку как на продукт современной технологии транспортной работы по сопряжению видов транспорта и видов сообщения по перевозке «от двери до двери» на основе комплексного и сопряженного развития транспортной инфраструктуры (маршрутная сеть; транспортно-пересадочные узлы, согласованные графики движения различных видов транспорта);

2) мобильность мультимодальной пассажирской перевозки предполагает взаимодействие различных транспортных организаций как между собой, так и с разными категориями пассажиров, обладающих разными потребительскими профилями. Требуется, таким образом, не только современная технология транс-

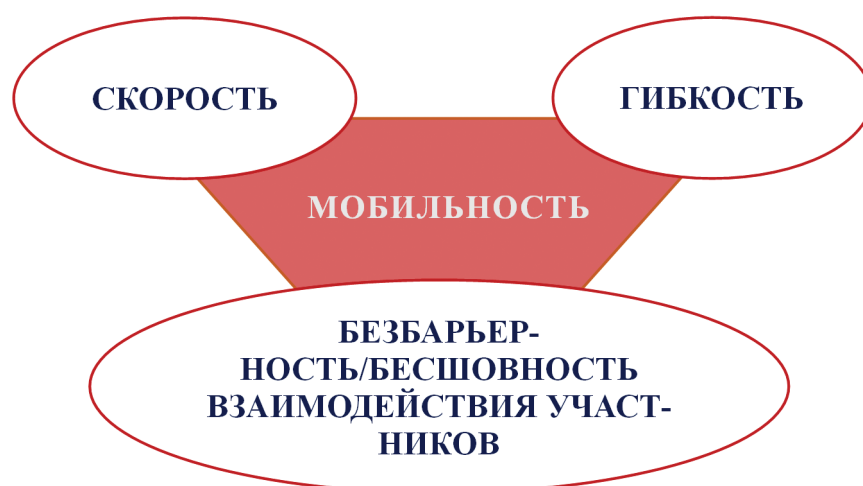


Рис. 7. Мобильность мультимодальных пассажирских перевозок

портной работы, но и особая технология обеспечения связанности между ними, а именно, — сетевое взаимодействие, опирающееся на выстроенную архитектуру горизонтальных связей между транспортными организациями — участниками мультимодальной перевозки;

3) мобильная мультимодальная пассажирская перевозка выступает продуктом цифровой зоны взаимодействия компаний с пассажирами — «сетевого пространства», включающего транспортные организации — участников мультимодальной перевозки, компании, создающие сопутствующие услуги, поддерживаемого пулом компетенций участников перевозочного процесса.

В результате на рынке пассажирских перевозок появляется инновационный продукт — бесшовная мобильность как услуга, доступная по цене и качеству/безопасности, организованная по схеме «от двери до двери» по единому перевозочному документу и с использованием технологии «единого окна» (рис. 8).

Целевым ориентиром организации сетевого взаимодействия для обеспечения бесшовной мобильности населения становится формирование архитектуры вертикальных и горизонтальных связей между транспортными организациями — участниками комбинированной перевозки в цифровом пространстве взаимодействий между собой и группами пассажиров в системе «единого окна», «единого/электронного билета», реализуемых посредством дистанционного обращения через мобильные устройства и специализированные информационные системы.

Критерием для оценки степени продвинутой по пути создания сетевого взаимодействия для обеспечения бесшовной мобильности населения будет фактор ценности времени как для пассажиров, так и для транспортных компаний, поскольку ускоряет бизнес-процессы, уплотняет время и сжимает пространство.

Сетевое усложнение экономической среды идет нелинейно, включает вытеснение иерархических структур горизонтальными взаимодействиями, формирование локальных экосистем и дальнейшее взаимодействие этих экосистем друг с другом для возникновения более мощных и более сложных экосистем регионального, национального и транснационального уровней.

Управленческие решения по организации сетевого взаимодействия, позволяющие последовательно улучшать



Рис. 8. Схема формирования бесшовной мобильности как услуги

фактор ценности времени и обеспечивать бесшовную мобильность как услугу, можно разделить на четыре группы / уровня:

- 1) формирование экосистем сетевого сотрудничества на федеральном уровне;
- 2) организация сетевого взаимодействия пассажирского комплекса ОАО «РЖД», в том числе АО «ФПК», с АО «Центральная ППК» — крупнейшей пассажирской пригородной компанией;
- 3) формирование территориальных/ региональных сетевых платформ взаимодействия с транспортными и другими организациями, совместной интеграции билетных решений, сотрудничества с региональными торговыми сетями;
- 4) управленческие решения по развитию бесшовной мобильности для железнодорожной компании (на примере ОАО «РЖД»).

В заключение следует отметить, что бесшовная мобильность как услуга мультимодальной пассажирской перевозки, доступной и сбалансированной по цене и качеству / безопасности, организованной по схеме «от двери до двери» по единому перевозочному документу и с использованием «единого окна» является результатом сетевого взаимодействия участников рынка перевозок по формированию ценностного предложения для клиентов. ■

Литература

1. Дунаев, О. Н. Рынок пассажирских перевозок: пути организации мультимодальных перевозок / О. Н. Дунаев, А. В. Гуц // Транспорт РФ. — 2019. — № 1 (80). — С. 23–26.
2. В 2020 году на сети РЖД перевезено на 41,5 % меньше пассажиров:

[Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-2020-godu-na-seti-oao-rzhd-perevezeno-na-41-5-menshe-passazhirovo> (дата доступа: 03.04.2021)

3. Основные итоги работы транспорта: [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1#> (дата доступа: 03.04.2021)
4. Дунаев, О. Н. Управление изменениями бизнес-моделей компаний // Логистика. — 2020. — № 8 (165). — С. 30–31.
5. Журавлева, Н. А. Влияние постпандемной экономики на бизнес-модель транспортных организаций // Транспорт РФ. — 2020. — № 3–4 (88–89). — С. 20–23.
6. Вайл, П. Цифровая трансформация бизнеса: изменение бизнес-модели для организации нового поколения / П. Вайл, С. Ворнер. — М.: Альпина Паблишер, 2019.
7. Портер, М. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов / Майкл Портер; пер. с англ. — 4-е изд. — М.: Альпина Паблишер, 2011.
8. Моазед, А. Платформа: практическое применение революционной бизнес-модели / А. Моазед, Н. Джонсон. — М.: Альпина Паблишер, 2019.
9. Слоун, Р. Е. Новые идеи в управлении цепями поставок: 5 шагов, которые ведут к реальному результату / Рубен Е. Слоун, Дж. Пол Дитман, Джон Т. Менцер. — М.: Альпина Паблишер, 2015.
10. Дунаев, О. Н. Предпринимательский подход и инновации в управлении на транспорте // Транспорт РФ. — 2020. — № 6 (91). — С. 17–19.

Логистика перевозочного процесса железных дорог



Д. Ю. Левин,
д-р техн. наук

Логистика эксплуатационной работы железных дорог изучает помехи, риски, возникающие в перевозочном процессе, и вырабатывает механизмы борьбы с ними. В первой части статьи представлен развернутый анализ узких мест при организации перевозочного процесса на железных дорогах России.

На потоковый характер перевозочного процесса железнодорожного транспорта обратили внимание еще в конце XIX века [1], когда с ростом объема и увеличением интенсивности перевозок стали возникать заторы и трудности движения. Сбои в работе железнодорожного конвейера связаны с проблемами в работе предприятий (грузоотправителей), которые до сих пор не исследованы должным образом.

При проектировании станций и железнодорожных участков, разработке нормативно-технологических документов, техническом нормировании показателей эксплуатационной работы исходят из того, что перевозочный процесс идет ритмично и равномерно. Тем не менее, практика показывает, что в первой половине отчетных суток выгружается только 20 % вагонов, так как абсолютное большинство грузовых пунктов имеет небольшой объем грузовой работы и работает только в дневное время. Кроме этого, существует сезонная, суточная и внутрисуточная неравномерность. Следует добавить нерабочие дни, плановые и unplanned перерывы движения поездов и работы предприятий и т. д.

Вопреки нормативным документам и техническим заданиям на железнодорожном транспорте существует острейший дефицит путей на станциях [2], нехватка

пропускной способности на важнейших направлениях, недостаток перерабатывающей способности сортировочных станций, загрузка многих грузовых фронтов выше оптимальной. Планируемые размеры движения поездов часто больше пропускной способности участков. На станциях формируют составов больше, чем можно своевременно обеспечить локомотивами.

Одна из причин возникновения очередей на железных дорогах — несоответствие потоков грузов, вагонов, составов, поездов и возможностей их обслуживания. Даже когда среднесуточный размер потока не превышает пропускной, перерабатывающей, выгрузочной способностей, его неравномерность и колебания времени обслуживания все равно приводят к очередям [3].

Вечный вопрос «колец» — стыковки участков обращения локомотивов и локомотивных бригад. Как ни увеличивают протяженность этих участков, полностью ликвидировать «кольца» в обозримом будущем не получится. А это причина задержек грузовых поездов и неэффективного использования тяговых ресурсов.

Отставание путевого развития, дефицит перевозочных возможностей, несвоевременное удовлетворение потребностей перевозки пассажиров и грузов требуют постоянного поиска решений. Необходимость оптимизации взаимодействия всех звеньев транс-

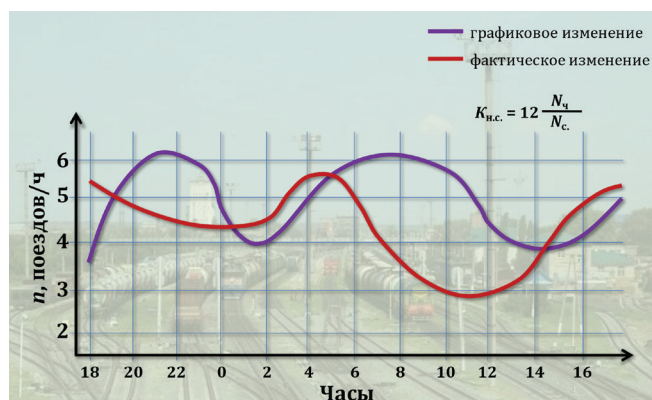


Рис. 1. Изменение интенсивности движения поездов в течение суток: по графику (1) и фактически (2)

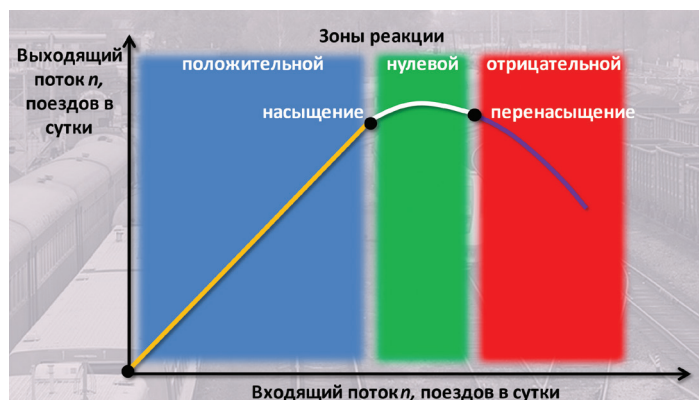


Рис. 2. Реакция участка на изменение интенсивности потока поездов

портного конвейера вызывает потребность в развитии логистики.

В информатизацию отрасли вложены огромные средства, а реальная отдача пока недостаточна. Причина очевидна: революционно новые технические решения в сочетании со старой идеологией, технологией и методами управления не работают.

Для управления перевозочным процессом наиболее эффективно применение математических моделей, которые позволяют прогнозировать развитие эксплуатационной работы, организовывать взаимодействие различных этапов перевозочного процесса и принимать управленческие решения.

План формирования поездов и график движения — два взаимообусловленных процесса. Еще И. И. Васильев обратил внимание, что «с одной стороны, график движения должен строиться на основе намеченного плана формирования поездов и должен включать в себя известное число поездов определенных назначений, вытекающих из плана формирования; с другой стороны, выполнение плана формирования должно обеспечить для графика определенное число поездов, своевременно формируемых и отправляемых с сортировочных станций» [4].

Существуют объективные и субъективные причины неравномерности движения поездов. Наиболее существенными внешними причинами являются колебания интервалов готовности грузовых поездов на станциях, неравномерность прокладки на графике пассажирских поездов в течение суток, «окна» для выполнения ремонтно-путевых работ, сдаточный период на дорогах (рис. 1). Все вместе эти причины указывают на одно из свойств потока поездов — неопределенность.

Изменение положения поездов при движении по участкам — стохастический процесс, неидентичный в пространстве и во времени. Исходя из субъективной оценки условий движения, каждый машинист выбирает режим вождения поезда. В результате поезда в потоке следуют с различными скоростями и на различных расстояниях друг от друга, так что скорости поездов и временные интервалы между ними, зафиксированные в случайные моменты времени, являются случайными величинами. Поэтому движение поездов при регулярной детерминированной основе, определяемой графиком движения, по своей физической природе — процесс вероятностный. Следует различать временной и пространственный процессы движения потока поездов.

В других классификациях «ниток» графика движения грузовых поездов сами поезда разделили на категории — своеобразная

попытка использовать статистику прошлой работы вместо оперативного планирования поездной работы на основе информационной технологии и вычислительной техники. Статистика содержит недостатки и особенности работы в прошедшем времени. Строить будущую работу на статистических данных — значит узаконить и повторить прошлые ошибки. Кроме этого, возникает вопрос: зачем отказываться от возможностей вычислительной техники? Оперативное планирование поездной работы должно строиться на адаптации нормативного графика к реальным условиям и на управлении поездопотоками. Способствовать этому должны моделирование перевозочного процесса, информационные технологии и интеллектуальная вычислительная техника.

Близки к завершению разработки по полной автоматизации графика движения, что позволит максимально использовать пропускную и провозную способность участков, выбирать оптимальный вариант поездной работы по всем критериям. Сегодня у нормативных графиков высокое качество, но реализации и исполнению нормативного графика уделяется недостаточно внимания. Не решены вопросы обеспечения графика составами, локомотивами, соответствия размеров движения возможностям пропуска поездов. В текущей поездной работе часто не обозначают цели соблюдения графика и механизма достижения результатов.

Существующие определения пропускной способности участка рассматривают совокупность технического оснащения, конструктивного описания участка, потока поездов и технологии их пропуска. Возникает противоречие: максимальные размеры движения в графике зависят от пропускной способности, а сама пропускная способность — от графика движения.

Для решения различных задач развития, нормирования, планирования, эффективного использования и т. д. целесообразно использовать взаимодействие различных элементов и факторов. Для определения пропускной способности отдельных участков прежде всего должны быть представлены техническая характеристика участка и нормы длины и веса поездов. А техническую характеристику участка нужно измерять возможностью максимального пропуска поездов за период времени.

И. Т. Козлов отметил, что недостатки в определении пропускной способности характерны не только для железнодорожного транспорта. «Твердо устоявшегося и общепринятого определения понятия пропускной способности нет. На различ-

ных видах транспорта, а в пределах одного вида — для различных устройств используют неидентичные определения пропускной способности» [5].

Существующая методология рассматривает расчет пропускной способности участка:

- наличной (максимальной) по ограничивающему перегону;
- проектируемой при развитии технического оснащения инфраструктуры;
- потребной для обеспечения пропуска перспективных грузовых и пассажирских потоков при планировании инвестиций и проектирования развития или строительства линий;
- результативной — наименьшей из пропускных способностей перегонов, станций, деповского хозяйства, устройств электроснабжения.

Отсюда видно, что в настоящее время пропускную способность участка используют для:

- оценки возможных максимальных размеров движения поездов;
- разработки максимального графика движения поездов;
- разработки инвестиционных программ развития пропускной способности;
- проектирования строительства новых линий и развития существующих.

В то же время пропускная способность участков не используется:

- для определения перевозочных возможностей сети железных дорог и оценки ее загрузки;
- для определения очередности развития пропускной способности участков на сети железных дорог;
- при планировании объема перевозок (разработке плана перевозок грузов);
- при оперативном планировании и управлении эксплуатационной работой (регулировании загрузкой участков).

Причины отклонения фактической пропускной способности от теоретической — использование постоянных величин в формулах определения пропускной способности и отсутствие учета характеристик потока поездов. Методики расчета пропускной способности исходят из геометрических характеристик участка, линейного изменения координат положения поезда на пространственно-временном графике и характеризуют движение одиночного поезда. Это не совсем верно. Стохастический характер движения поездов требует учитывать следование не отдельного (одиночного) поезда, а группы (потока) поездов; плотность потока (насыщение участка поездами); распределение скорости движения, интервалов между

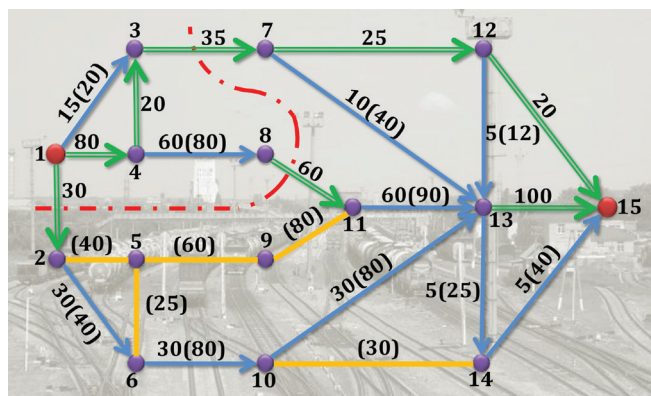


Рис. 3. Исходная сеть с пропускными способностями участков

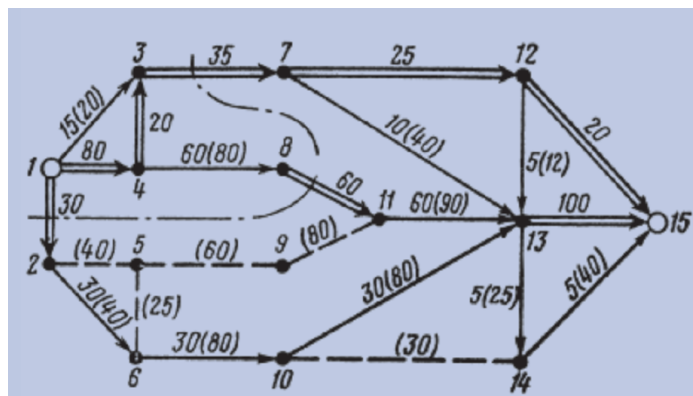


Рис. 4. Граф разветвленного полигона

поездами и интенсивности потока.

Сегодня расчеты пропускной способности участка заключаются в установлении ограничивающего перегона. Для чего определяется число поездов, которое может быть пропущено в зависимости от технической оснащённости участка и способа организации движения поездов.

Пропускная способность участка является показателем обслуживания потока поездов, на величину которого влияют план и профиль пути, техническое оснащение перегонов и станций, тягово-эксплуатационные характеристики локомотивов, вес и длина поездов различных категорий, допустимые максимальные скорости движения, погодные-климатические условия и др.

О необходимости определения пропускной способности не в разрезе (сечении), а на всем протяжении участка свидетельствует изменение реакции участка на различные размеры движения поездов. Эта реакция прослеживается через взаимосвязь интенсивностей входящего потока поездов и выходящего с участка транзитного потока (рис. 2). Начальный участок этой зависимости может быть аппроксимирован линейной функцией и соответствует положительной реакции участка на возрастание интенсивности входящего потока поездов, т. е. любое увеличение входящего потока приводит к возрастанию выходящего потока. Участок сохраняет положительную реакцию до тех пор, пока не будет достигнуто состояние насыщения поездами. После этого дальнейшее увеличение интенсивности входящего потока поездов практически не приводит к возрастанию выходящего потока. При достижении состояния перенасыщения любое увеличение интенсивности входящего потока поездов сокращает размер выходящего потока. Последнее обстоятельство имеет место в тех случаях, когда с ростом числа поездов на участке быстро увеличивается плотность их размещения, следование на зеленое показание светофора все чаще сменяется на желтое и красное [6].

По действующей методике расчет пропускной способности железных дорог ограничен нахождением результирующей пропускной способности отдельных участков, т. е. наименьшей для отдельных сооружений (перегонов, станций, устройств электрооборудования электрифицированных линий, депо-ских и экипировочных устройств локомотивного хозяйства). Но, учитывая большую разветвленность сети железных дорог и наличие параллельных ходов, для повышения эффективности эксплуатационной работы, качества планирования перевозок и оптимизации проектирования новых и реконструкции существующих линий важное значение приобрело определение перевозочных возможностей полигонов сети (дорог и в целом сети).

Для вычисления пропускной способности разветвленного полигона сети необходимо знать пропускную способность участков (ребер графа), которую определяют с помощью диаграмм потока поездов.

Изучение свойств потоков грузов и функционирования сети способствует установлению возможностей сети железных дорог по выполнению перевозочной работы, а знание перевозочных возможностей полигонов сети позволяет оптимизировать движение потока поездов.

При планировании перевозок, управлении эксплуатационной работой и пропускной способностью инфраструктуры необходимо учитывать перевозочные возможности железных дорог для направлений или разветвленных регионов, для чего целесообразно использовать сетевые задачи. В условиях большой разветвленности сети железных дорог и наличия параллельных ходов управление поездопотоками на моделях в виде графа позволяет эффективнее руководить эксплуатационной работой на больших полигонах и ответить на вопросы: чему равна пропускная способность разветвленной железной дороги? Какие участки лимитируют пропускную способность дороги? Может ли дорога пропустить поездопоток, планируе-

мый соседней дорогой?

На разветвленном полигоне (рис. 3) пронумерованы станции и указана пропускная способность участков. Пропускную способность любого разветвленного полигона определяют с помощью одного из основных понятий теории сетей — разреза. Разрез проходит по участкам с максимальным использованием пропускной способности (рис. 4). Если из сети исключить все участки разреза, то величина максимального потока будет равна нулю. Поскольку разрез блокирует все пути из источника в сток, то сумма наличной пропускной способности участков, входящих в разрез, составляет пропускную способность разветвленного полигона сети железных дорог. Это определение имеет большое практическое значение и помогает найти ответы на следующие вопросы.

1. Как изменение наличной пропускной способности отдельных участков влияет на общую пропускную способность полигона сети?

Повышение наличной пропускной способности участков, входящих в разрез, обеспечивает увеличение общей пропускной способности полигона. А повышение наличной, пропускной способности других отдельно взятых участков никакого эффекта не дает.

2. Какие участки являются «узким местом» и лимитируют общую пропускную способность?

Это участки, входящие в разрез.

3. В какой очередности надо увеличивать пропускную способность участков, чтобы возросла общая пропускная способность сети?

Начинать всегда надо с участков, составляющих разрез.

Определение кратчайшего пути с помощью моделирования на графах имеет как самостоятельное значение, когда между рассматриваемыми станциями полигона существует несколько параллельных линий, так и вспомогательное — при решении задач минимизации стоимости перевозок.

Критериями решения этой задачи могут быть выбраны расстояние, время, затраты и т. д. Нахождение кратчайшего пути имеет многочисленные практические приложения и может быть использовано при решении задач оптимизации, например, распределения потоков на сети [7].

По кратчайшему пути между станциями 1 и 15 (рис. 4) максимально может быть пропущен поток 60 поездов/сутки. В оперативных условиях при временном возрастании потока или уменьшения пропускной способности участков весь заданный поток не может быть пропущен по кратчайшему пути. Вопрос: как найти промежуточную величину заданного потока между общим максимальным потоком и следующим только по кратчайшему пути? Максимальный поток определяет разрез — 125 поездов/сутки. Дополнительные пути следования между станциями 1 и 15 для пропуска потока свыше 60 поездов/сутки приведены в таблице. Дополнительный поток по кружному пути увеличивает общий поток между заданными станциями до загрузки лимитирующих участков, равной их пропускной способности. После этого среди оставшихся путей следования находят кратчайший, и так до тех пор, пока между заданными станциями не будут использованы все пути следования и достигнут общий максимальный поток. Под кратчайшим путем следует понимать экономически эффективный путь. Такая таблица может заранее строиться для полигонов дорог и сети и использоваться в оперативном планировании и управлении поездной работой.

При сменно-суточном планировании с помощью таблицы можно проверить:

- не превышает ли заявленная соседними дорогами сдача поездов максимального потока. При превышении часть поездов должна сдаваться по другим междорожным стыкам;
- не превышает ли заявленная соседними дорогами сдача поездов пропускной способности кратчайшего направления. При превышении по таблице выбираются кружные пути направления поездов.

Дальнейшее развитие железнодорожного транспорта определяется научно-техническим прогрессом, в результате чего улучшаются технические характеристики подвижного состава, сооружений и устройств, создаются автоматизированные системы управления. Для получения максимального эффекта от технических новшеств необходимо совершенствовать технологии перевозочного процесса и выработать требования к службам, причастным к перевозочному процессу.

Таблица. Распределение поездопотоков на разветвленном полигоне

Размеры потоков поездов/сут	Дополнительные пути следования потоков	Лимитирующие участки	Увеличение пути следования по сравнению с кратчайшим, км
61–90	1–2–5–9–11–13–15	1–2, 11–13	95
91–110	1–3–7–12–15	1–3, 12–15	170
111–115	1–4–3–7–12–13–15	7–12	230
116–120	1–4–3–7–13–15	13–15	250
121–125	1–4–3–7–13–14–15	3–7	310

Недостатки современной технологии формирования вагонопотоков

Растущее число участников транспортного рынка и увеличение вагонных парков обуславливают необходимость создания новых инструментов регулирования пропускных и провозных способностей инфраструктуры общего пользования на взаимно приемлемых экономических условиях.

Перевозки грузов по железным дорогам осуществляются в соответствии с заявками, которые предоставляют владельцы грузов. Главное условие приема заявок и включения в план перевозки грузов — выполнение срока их предоставления. Формально Центр фирменного транспортного обслуживания (ЦФТО) — Дирекция сбыта поступившие заявки грузоотправителей на перевозку грузов согласовывает с Центральной дирекцией управления движением (ЦДУ), но практически, в погоне за объемами перевозок, почти все заявки автоматически включаются в план перевозки грузов.

С ростом объема перевозок заметно увеличивается число отправок с нарушением нормативных сроков доставки грузов. Это свидетельствует о том, что для включения заявок в план перевозки грузов необходимо проводить проверки по всей логистической цепочке перевозочного процесса, в том числе пропускной способности инфраструктуры.

Логистику отличает системный подход к управлению потоками, координация и согласованность выполнения операций по их продвижению и переработке. Суммарный эффект достигается интеграцией отдельных этапов перевозочного процесса в единую систему. Отдельные операции ориентируются на четкое выполнение своих логистических функций.

Несмотря на то, что термин «логистика перевозочного процесса» ранее не использовался, это не новое понятие. Назначение логистики перевозочного процесса — рассматривать закономерности движения и преобразования потоков грузов, вагонов, поездов, взаимодействия и оптимизации составляющих железнодорожного конвейера, координации и согласованности

выполнения операций по передвижению и переработке потоков, системное управление перевозочным процессом.

Сегодня каждый раздел эксплуатации железных дорог представляет замкнутую систему, которая регламентируется нормативно-технологическими документами (график движения поездов, план формирования, технологический процесс работы предприятий), разрабатываемыми на различные сроки разными людьми и не связанными между собой. Совершенствование отдельных разделов перестало давать ощутимые результаты, все труднее снижать эксплуатационные затраты. Часто, несмотря на эффективную работу отдельно взятых предприятий, потери на стыках с соседями или различными операциями сводят весь эффект к минимуму.

Нормативно-технологические решения порождают дополнительные стыки, нарушение пропорциональности перевозочного процесса, которые влекут за собой дополнительную неопределенность, накладывающую отпечаток на обоснованность оперативного планирования эксплуатационной работы. Например, процесс накопления составов имеет стохастическую природу, т. е. моменты времени завершения накопления никогда не повторяются. А график движения поездов — детерминированный. С этого противоречия и начинаются трудности выполнения графика. В результате сформированные составы на сортировочных станциях сначала в среднем простаивают два часа в ожидании поездных локомотивов, а потом еще почти два в ожидании отправления со станции. При пассивном и неуправляемом протекании вероятностных процессов неизбежно возникает несогласованность с другими процессами. Для предотвращения непроизводительных простоев необходимы активное вмешательство на стыках процессов и дополнение долгосрочных нормативно-технологических документов механизмами адаптации к реальным ситуациям.

Другой пример: на современных сортировочных станциях в среднем почти 40 % времени занимают межоперационные простои вагонов на станциях. Причина — содержание рабочего парка вагонов выше

нормы. Недостаточно разработать нормативно-технологический документ, в данном случае технологический процесс работы станции, надо создавать и поддерживать оптимальные условия работы станций путем содержания в норме вагонного парка.

Это замечание относится ко всем нормативно-технологическим документам. Для выполнения графика движения требуются надлежащие условия поездной работы, не допускающие перенасыщения участков поездами. Для реализации максимальной выгрузочной возможности грузовых фронтов необходимы оптимальные условия, заключающиеся в отсутствии невосполнимых потерь выгрузки из-за несвоевременной подачи вагонов под грузовые операции.

При ежегодной разработке плана формирования поездов пользуются среднесуточными размерами вагонопотоков. Однако в оперативной работе фактические размеры струй вагонопотоков часто существенно отличаются от них и влияют на затраты времени накопления составов. Моделирование накопления составов различных норм длины и веса позволило дать оценку изменения средней, минимальной и максимальной продолжительности простоя составов. Получены распределения продолжительности времени и затрат вагоно-часов на накопление составов. Построены графики разброса минимальных и максимальных значений продолжительности времени (рис. 5) и затрат вагоно-часов (рис. 6) накопления составов.

Установлено, что зависимость между продолжительностью времени и затратами вагоно-часов накопления составов имеет немонотонный характер. Например, для накопления одного состава из 70 вагонов потребовалось 5 ч 25 мин при затратах 173,7 вагоно-часов, а другого такой же длины и назначения — 3 ч 55 мин и 196,5 вагоно-часов.

Поэтому принятый вариант плана формирования поездов в отдельные периоды времени оказывается не оптимальным. Пока в оперативной работе это никак не учитывается. Технические станции строго по плану формирования накапливают составы, и при затруднениях с их отправлением ничего не меняется. Простой составов в ожидании локомотивов и локомотивных бригад свидетельствуют об отсутствии эффективной системы регулирования локомотивным парком и управления процессом формирования составов на сортировочных станциях, т. е. этот процесс протекает без учета реальных возможностей своевременного обеспечения составов локомотивами.

Усугубляет обстановку разработка плана формирования поездов на длительный период по среднесуточным вагонопотокам,

усредненным и неизменным расчетным нормативам. На практике реальная эксплуатационная обстановка часто существенно отличается от нормативных условий: колеблются размеры струй вагонопотоков, объемы переработки на станциях; составы своевременно не снабжаются локомотивами; возникают замедление и перерывы в движении поездов на участках («окна», отказы) и т. д. Следует обеспечить своевременной отмены неэффективных назначений, оперативное выявление и введение эффективных, оперативная повсеместная и постоянная адаптация плана формирования к реально складывающейся эксплуатационной обстановке. Нужно не ограничиваться ежегодной разработкой плана формирования, а поддерживать его эффективность диспетчерским управлением [8].

Сегодня организация вагонопотоков в поезда организуется в двухмерном пространстве на основании сопоставления затрат на накопление составов и экономии затрат и вагоно-часов на станциях формирования и в пути следования. Необходимо учитывать дополнительное влияние несвоевременного обеспечения составов локомотивами и отправления готовых поездов (особенно в период предоставления «окон» и трудностях с «вывозом» поездов со станции), замедления движения поездов в пути следования, задержки в ожидании приема на станции и выполнения технологических операций и т. д. При долгосрочном действии плана формирования поездов это учесть невозможно.

Целесообразность выделения струи вагонопотока в самостоятельное назначение определяется достаточным условием, в соответствии с которым приведенная экономия от пропуска вагонопотока через сортировочную станцию без переработки должна быть больше затрат на накопление составов. Среднесетевая разница простоя транзитного вагона с переработкой и без переработки равна 11 ч, что на 2,5 ч больше среднесетевых затрат на накопление составов. Эта разница свидетельствует о значительном резерве дальнейшего повышения транзитности вагонопотоков. Практически он имеет еще большую величину за счет вагонопотоков, которые в настоящее время при расчете плана формирования не выделены в самостоятельные назначения, но целесообразны для такого выделения в течение года.

Логистика перевозочного процесса показывает, что для реализации нормативных документов необходимо создание оптимальных условий работы, т. е. системы своевременного реагирования на отклонения

от нормы. Адаптация нормативно-технологических документов к реальной обстановке требует управления технологией [9], т. е. не планирования стихийно складывающихся обстоятельств, а создания и поддержания оптимальных условий эксплуатационной работы железных дорог и эффективности перевозочного процесса.

Сегодня технология работы железнодорожных участков, станций и грузовых фронтов включает две составляющие: последовательность операций и технологические нормы их выполнения. При высокой грузонапряженности сети железных дорог часто этого бывает недостаточно. Участки оказываются перенасыщенными поездами, станции — вагонным парком, на грузовые фронты несвоеременно поступают вагоны. В итоге нарушаются график движения поездов, технологический процесс работы станций, невосполнимо теряется выгрузочная способность грузовых фронтов. В связи с этим нормативно-технологические документы не могут реализовать свои возможности. Необходима третья составляющая: создание условий для выполнения нормативно-технологических документов, т. е. регулирование насыщения участков поездами, станций — вагонным парком, своевременным поступлением вагонов на станции погрузки и выгрузки.

Режим работы сортировочных станций в каждый момент времени определяет количественные и качественные показатели работы станции. Он зависит от объема переработки вагонов, интенсивности и равномерности подхода поездов, своевременности обеспечения сформированных составов локомотивами, вывоза поездов и определяет своевременность приема и отправления поездов, наличие межоперационных простоев вагонов.

Нормальный режим (рис. 7, область 1) характеризуется условиями работы станции, при которых отсутствуют задержки поездов по неприему и межоперационные простои вагонов, соблюдаются нормы на выполнение технологических операций и увеличение объема переработки, что приводит к сокращению времени нахождения вагонов на станции. При нормальном режиме, в котором происходит поездная, сортировочная и маневровая работа, выполняются график движения поездов, технологический процесс работы станции и своевременная постановка локомотивов на техническое обслуживание.

Если в нормальном режиме обеспечивается минимальное время нахождения вагонов на станции или минимальные эксплуатационные затраты при отсутствии

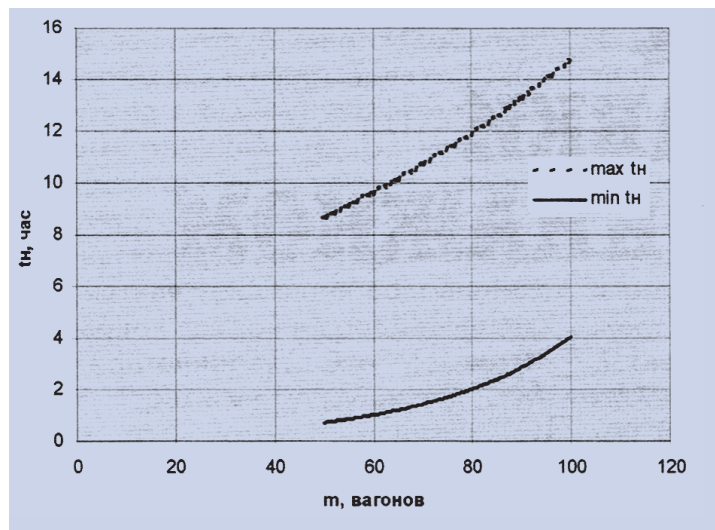


Рис. 5. График зависимости минимальной и максимальной продолжительности накопления составов t_n от длины поездов m

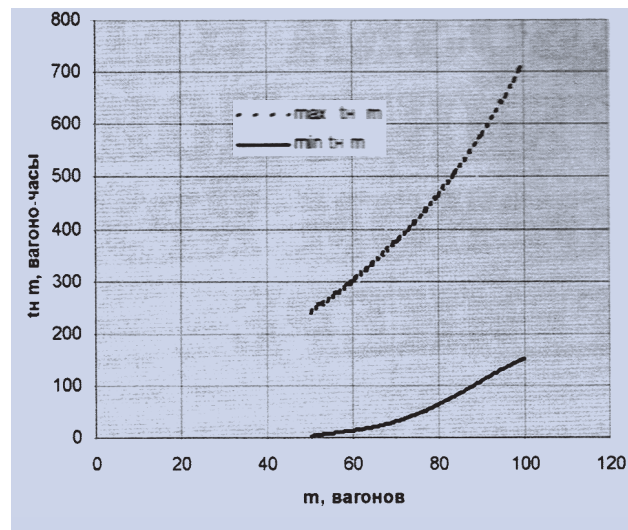


Рис. 6. График зависимости минимальных и максимальных затрат вагоно-часов накопления составов t_n от длины поездов m

задержанных поездов по неприятию, то такой режим называется оптимальным (рис. 7, область 2).

Утяжеленный режим (рис. 7, область 3) характеризуется условиями, когда на станции имеются межоперационные простои, которые могут усугубляться неравномерным подходом поездов, несвоевременным обеспечением составов локомотивами и отправлением со станции. Возникают периодические задержки поездов по неприятию. Рост объема переработки увеличивает время нахождения вагонов на станции и эксплуатационные расходы. Отклонения затрат времени на выполнение технологических операций вызывает трудности в текущем планировании работы станции.

Тяжелый режим (рис. 7, область 4) характеризуется увеличением межоперационных простоев, постоянными задержками поездов по неприятию и содержанием избытка вагонного парка. Если своевременно не ликвидировать тяжелый режим работы станции, то начнут еще больше возрастать межоперационные простои, количество и продолжительность задержек поездов по неприятию, возникнет нехватка поездных локомотивов.

Задачи и действия диспетчерского аппарата сортировочных станций и диспетчерских центров должны зависеть от режима работы. Задачи оперативного управления сортировочной станцией в нормальном и оптимальном режимах — обеспечение выполнения технологического процесса работы, графика движения поездов, плана формирования, предотвращение перенасыщения станции вагонным парком. Основные функции: регулирование интенсивности подвода поездов, обеспечивающего беспрепятственный прием и своевременное расформирование составов на горке, плани-

рование составообразования, своевременное обеспечение составов локомотивами и отправление поездов со станции.

Задача управления в утяжеленном и тяжелом режимах — приведение в соответствие интенсивности подвода поездов и расформирования составов на горке, планирования составообразования с реальными возможностями обеспечения составов локомотивами и своевременного отправления поездов. Решение задачи достигается перераспределением сортировочной работы между станциями, оперативной корректировкой плана формирования, увеличением числа маневровых локомотивов, осмотрщиков вагонов и т. д.

Задачи, решаемые диспетчерским персоналом в каждый момент времени, и его действия должны различаться в зависимости от режима поездной работы (рис. 8).

Нормальный режим поездной работы (рис. 8, область 1) характеризуется выполнением нормативов графика движения поездов. В оптимальном режиме (рис. 8, область 2) реализуются максимальные размеры движения. Утяжеленный режим (рис. 8, область 3) характеризуется перенасыщением участка поездами. В тяжелом режиме (рис. 8, область 4) перенасыщение участка поездами приводит к дефициту режима работы локомотивных бригад и необходимости «бросания» поездов на промежуточных станциях. При аварийном режиме (рис. 8, область 5) прекращается движение поездов из-за отказов инфраструктуры и подвижного состава или сдвига груза на открытом подвижном составе.

В зависимости от режима диспетчерский аппарат решает различные задачи управления поездной работой. В нормальном и оптимальном режимах обеспечивает

соблюдение установленных нормативов графика движения, предотвращение перенасыщения участков поездами и станций вагонным парком. В утяжеленном и тяжелом режимах ликвидирует перенасыщение участков поездами и восстанавливает нормальный режим. В аварийном режиме нужна быстрая ликвидация и предотвращение распространения сбоя движения поездов.

Поездной диспетчер на своем уровне не в состоянии создать оптимальные условия работы участка. Это задача дорожного диспетчера. В результате создание оптимальных условий поездной работы объединяет все уровни диспетчерского управления одной целью, ликвидирует барьеры местных интересов.

Тем не менее, реальные ситуации на участках, станциях и грузовых фронтах часто отличаются от нормативно-технологических документов. Для их адаптации к реальной обстановке необходимо управление технологией, основные задачи которого:

- адаптация (временная корректировка) нормативно-технологических документов к реальной обстановке. Например, временная отмена неэффективных назначений поездов и установление временного накопления назначений составов, отсутствующих в плане формирования;
- выбор и осуществление мероприятий по созданию оптимальных условий работы участков, станций и грузовых фронтов для достижения максимальных результатов. Например, перед началом каждого суток выработка требований, подкреплённых технологией, к своевременному поступлению местных вагонов на станции для получения максимальной выгрузки;
- создание инструментов для решения

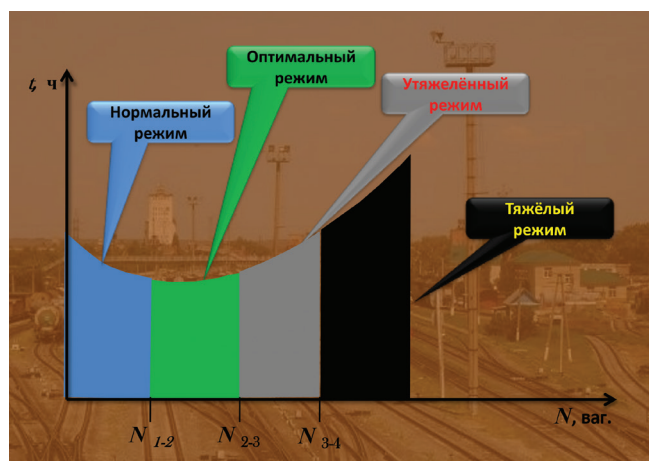


Рис. 7. Режимы работы сортировочной станции

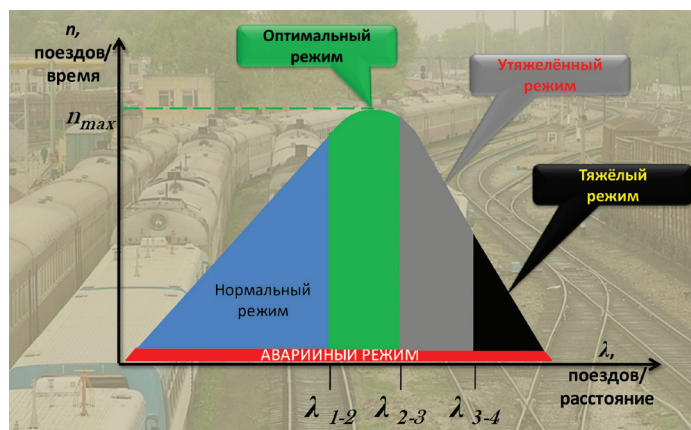


Рис. 8. Режимы поездной работы: 1 – нормальный, 2 – оптимальный, 3 – утяжеленный, 4 – тяжелый, 5 – аварийный

задач по управлению технологией. Например, модели графа разветвленного полигона для определения пропускной способности железной дороги, распределения поездопотоков, этапности развития пропускной способности и т. д.;

- выработка предложений для разработки нормативно-технологических документов. Например, определения оптимальной весовой нормы поездов с учетом всех влияющих факторов;

- разработка требований к службам, причастным к перевозочному процессу, по приведению в соответствие технического оснащения к потребной эксплуатационной работе. Например, требования к техническому состоянию инфраструктуры для установления весовой нормы поездов;

- разработка предложений к развитию устройств для увеличения пропускной, провозной, перерабатывающей и выгрузочной способности;

- установление уровня загрузки участков, станций, грузовых фронтов, соответствующего оптимальным условиям работы;

- перераспределение объемов работы. Например, перераспределение сортировочной работы между станциями, поездопотоков между параллельными и обходными путями разветвленного полигона;

- сопоставление и приведение в соответствие потребности и возможности. Например, число формируемых составов и возможности своевременного обеспечения их локомотивами, локомотивными бригадами и «нитками» графика движения; планируемые размеры движения поездов и пропускная способность участка; планируемый подвод поездов к сортировочной станции и перерабатывающая способность сортировочной горки;

подводимое число вагонов и выгрузочная способность грузового фронта.

При длительной работе без изменения плана формирования часто возникает перенасыщение участков поездами. Своевременно увеличивая число назначений поездов, оперативное управление организацией вагонопотоков позволит увеличить время накопления, сократить число сформированных составов в рассматриваемый период и обеспечить оптимальные условия поездной работы на прилегающем направлении. Временное уменьшение числа формируемых составов достигается введением накопления составов, более дальних назначений. Управление составообразованием позволит планировать не только сортировочную работу, но может стать эффективным средством и в организации поездной работы.

При распространенной на сети железных дорог безвызовной системе явки локомотивных бригад до 25 % из них выходят на работу, когда на станциях нет сформированных составов и, наоборот, часто для сформированных составов нет локомотивных бригад. Это объясняется тем, что расписание явки локомотивных бригад на работу составляется на месяц. Нарядчик локомотивного депо планирует выход локомотивных бригад по расписанию явки в среднем за сутки, когда плана составообразования еще нет.

Другая неудовлетворенная в настоящее время потребность составообразования — сменно-суточное планирование поездной работы. В результате экспертно определяются размеры движения поездов на участках, на основании которых на предстоящие сутки локомотивным депо даются задания на содержание эксплуатируемого парка локомотивов, соседним дорогам сообщается планируемый обмен поездами по стыковым пунктам, а дежурно-диспетчерским сменам дается задание по пропуску и передаче по-

ездов. В связи с недостоверной исходной информацией возникают неоправданные дополнительные затраты. Чтобы решить эти вопросы, нужно планировать составообразование на 24–30 часов.

Для реализации возможностей нормативно-технологических документов необходимо создание и поддержание оптимальных условий работы станций, участков и грузовых фронтов, которые достигаются своевременным решением задач по управлению технологией.

Литература

1. Введенский, В. А. Заметки и критические очерки по вопросам эксплуатации русских железных дорог. — СПб., 1903. — 110 с.
2. Левин, Д. Ю. Причины и последствия дефицита путей на станциях // Железнодорожный транспорт. — 2019. — № 3. — С. 22–24.
3. Левин, Д. Ю. Очереди на железной дороге // Мир транспорта. — 2014. — № 2. — С. 132–141.
4. Васильев, И. И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок. — М.: Трансжелдориздат, 1941. — 575 с.
5. Козлов, И. Т. Пропускная способность транспортных систем. — М.: Транспорт, 1985. — 214 с.
6. Левин, Д. Ю. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. — М.: ФГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. — 364 с.
7. Левин, Д. Ю. Оптимизация потоков поездов. — М.: Транспорт, 1988. — 175 с.
8. Левин, Д. Ю. Диспетчерское управление организацией вагонопотоков и перевозок. — М.: ИНФРА-М, 2018. — 301 с.
9. Левин, Д. Ю. Управление технологией перевозочного процесса на железных дорогах. — М.: ИНФРА-М, 2016. — 288 с.

Окончание статьи читайте в очередном номере журнала

Высокоскоростные грузовые железнодорожные перевозки: проблема дисгармонии технологий



И. П. Киселёв,
инженер путей сообщения,
д-р ист. н., профессор
кафедры «Строительст-
во дорог транспортного
комплекса» и кафедры
«История, философия,
политология
и социология» Петер-
бургского государствен-
ного университета путей
связи Императора
Александра I (ПГУПС)



А. А. Китунин,
инженер путей сообщения,
канд. ист. н., доцент кафе-
дры «История, философия,
политология
и социология» ПГУПС

Организация высокоскоростных грузовых перевозок со скоростями более 250 км/ч обостряет проблему так называемой дисгармонии технологий: погрузо-разгрузочные работы требуют больших затрат ручного труда. Развитие контейнерных перевозок по ВСМ напрямую зависит от создания вагонов с механизированной погрузкой и разгрузкой контейнеров типа ULD.

Ретроспектива вопроса о грузовых перевозках по ВСМ

Обратимся к истории появления пер-
вых ВСМ в мире. В Японии в 1964 г. была
открыта специализированная железно-
дорожная линия Токио — Осака (длина
515 км), названная Токайдо Синкансэн¹
и предназначенная для движения высо-
коскоростных поездов с максимальной
скоростью 210 км/ч (сегодня до 270 км/ч).
Создание первой ВСМ означало смену па-
радигмы железнодорожного транспорта:
помимо универсальных, предназначенных
для смешанного грузового, пригородного
и дальнего пассажирского движения, поя-
вились специализированные ВСМ исклю-
чительно для пассажирских перевозок.

Изначально проект первой ВСМ
предусматривал совмещение пассажир-

ских и грузовых перевозок специаль-
ным подвижным составом со скоростью
до 120 км/ч (что по меркам того времени
соответствовало скоростному движению).
Путь от Токио до Осаки скоростные гру-
зовые поезда должны были проходить
за 5,5 ч, с таким расчетом, чтобы срочный
груз, сданный отправителем вечером,
был получен в пункте назначения утром
следующего дня. На линии планировалось
построить четыре грузовых станции [1].
Однако после начала эксплуатации обна-
ружилось, что для ежедневных ремонт-
но-профилактических работ по обслужи-
ванию пути, контактной сети и других
устройств необходимо гораздо больше
времени: каждую ночь движение поездов
закрывали не менее чем на шесть часов.
Таким образом, времени для пропуска
ночных скоростных грузовых поездов
не осталось.

Введенная в эксплуатацию Токайдо
Синкансэн оказалась чрезвычайно при-
влекательна для пассажиров, их поток
стремительно рос, и вопрос об органи-
зации грузового движения по ВСМ отпал
сам собой. Грузовые станции, планировав-
шиеся с колеями 1435 мм², были завершены
с колеями 1067 мм.

Европейский опыт

Во **Франции** проект первой ВСМ
Париж — Лион (Париж — Юго-Восток)³
длиной 409 км, открытой в 1981 г., предус-
матривал грузовые перевозки — доставку
почты. В 1978 г. компания Alstom выпу-
стила первые в мире высокоскоростные
грузовые (почтовые) поезда серии TGV
La Poste, рассчитанные на максимальную

¹ Первоначально эта линия называлась New Tokaido (англ. «Новая Токайдо»), впоследствии утвердилось название Tokaido Shinkansen.

² Линии ВСМ Синкансэн строятся в Японии с нор-
мальной колеи 1435 мм, национальная сеть же-
лезных дорог исторически имеет узкую колею
1067 мм.

³ Фр. Paris — Sud-Est PSE (или LGV Sud-Est ligne
à grande vitesse) — «Скоростная линия Юго-Восток».



Рис. 1. Высокоскоростной почтовый поезд TGV La Poste 952 на линии Макон — Париж. 24 июня 2015 г. [3]

скорость 270 км/ч (рис. 1). Они были разработаны на основе технических решений французских высокоскоростных поездов первого поколения серии TGV Sud-Est (TGV PSE) [2]. Заказчиком и владельцем поездов 1978–1986 гг. стало почтовое ведомство Франции — La Poste, по договору с которым Национальное общество железных дорог Франции (CNCF) предоставляло машинистам, обеспечивало обслуживание поездов и выделяло «нитки» в графике движения по BCM и обычным линиям.

В отличие от пассажирских поездов, включавших два электровоза⁴ по концам состава и восемь прицепных⁵ сочлененных вагонов⁶, почтовые поезда представляли собой «половину» пассажирского состава: один электровоз и четыре прицепных вагона. Эксплуатировались поезда только в сцепках двух «половин», которые могли менять в конкретной паре при обслуживании или ремонте. Почтовый поезд был двухсистемный и мог обращаться на участках, электрифицированных на постоянном токе 1,5 кВ или переменном токе 25 кВ, как линий BCM, так и обычных железных дорог [2].

Вагоны поезда TGV La Poste не имели окон, с каждой стороны кузова была устроена раздвижная дверь шириной 1450 мм для погрузки тележек-контейнеров с почтовыми отправлениями. Размеры контейнеров ориентировочно, (в разные годы): высота 1500 мм, ширина 1100 мм, глубина 800 мм⁷, диаметр обрешеченных поворачивающихся колес 150–200 мм.

Для погрузки и разгрузки были построены почтовые станции с крытыми перегрузочными платформами. С одной стороны к ним подавался почтовый поезд, а с другой имелись загрузочные ворота для почтовых автомобилей, к которым они подходили задним бортом. Контейнеры вручную выкатывали из автомашин, сцепляли между собой и электрокарами подвозили к вагонам, куда вручную закатывали, расставляли вдоль стен и крепили с помощью строп (ремней) во избежание смещения при движении состава. Вагон



Рис. 2. Выгрузка тележек-контейнеров из вагона [4]

вмещал 31–32 контейнера, около 250 на весь поезд с суммарной максимальной нагрузкой 62 т на состав (рис. 2).

В 1984 г. поезда TGV La Poste ввели в эксплуатацию на маршруте Париж — Макон — Лион, входящем в систему почтовых перевозок этого региона. От Лиона и Макона почта развозилась грузовиками и почтовыми вагонами обычных поездов. В конце 2010-х гг. объем почтовых отправок во Франции стал уменьшаться, эксплуатация высокоскоростных поездов приносила все большие убытки. В 2015 г. перевозка почты поездами TGV La Poste прекратилась и они были выведены из эксплуатации.

В Италии в 2018 г. транспортно-логистическая компания Mercitalia Rail начала ночные высокоскоростные железнодорожные перевозки между Неаполем и Болоньей. Около 500 км между конечными пунктами поезд проходит со скоростью до 250 км/ч за три часа, заменяя рейсы 18 автотреллеров или полеты двух самолетов Boeing 747 [5].

Для перевозки грузов используется грузовой высокоскоростной поезд ETR M-01 Fast. Он создан на базе реконструированного пассажирского высокоскоростного поезда серии ETR500 второго поколения [2] с добавлением одного прицепного вагона. Поезд включает два электровоза E.404.514 и 516 и 12 прицепных вагонов. При переделке поезда в вагоны демонтировали сиденья, оборудование туалетов, внутренние перегородки, светотехнические приборы, системы кондиционирования воздуха, статические преобразователи, снабжавшие вагонные сети переменным током напряжением

220 В, и др.

Внутри каждого вагона были смонтированы новые светильники, устройства пожарной сигнализации и пожаротушения, отвечающие требованиям TSI 2014. Для обеспечения контроля положения контейнеров в пути следования установили по две телекамеры, передающие изображение на мониторы в кабине машиниста. Вдоль стен внутри вагонов разместили крепежные стойки из труб, обозначающих 17 мест для контейнеров и служащих для их фиксации с помощью строп (ремней) с замками (рис. 3).

В качестве контейнеров используют четырехколесные тележки с сетчатыми стенками с габаритами (высота — глубина — ширина): 1800 x 710 x 800 мм, объемом примерно 1 м³, рассчитанные на максимальную нагрузку 250 кг.

После переделки масса каждого вагона уменьшилась примерно на четыре тонны. Поскольку значительная часть демонтированного оборудования размещалась в подвагонном пространстве, поднялся центр массы всего вагона. Для необходимой устойчивости внутри вагонов вдоль стен (ниже уровня бывших окон, в которых остекление заменили листами жести) установили балластные щиты (рис. 3) в виде рам из уголкового стали с грузом из отрезков стальных швеллеров общим весом 18,5 кг. Балластные щиты легко снимаются и при перевозке некоторых грузов могут удаляться для облегчения вагона.

Погрузка контейнеров осуществляется вручную. Для этого из четырех наружных дверей вагона в качестве рабочих оставлены две — по диагонали. В каждом вагоне можно разместить до 60 контей-

⁴Локомотивы (в нашем случае электровозы) специальной конструкции, предназначенные для работы только в составе данного конкретного высокоскоростного поезда.

⁵Вагон, сцепленный с локомотивом, имел одну моторную тележку, т. е. был фактически моторным.

⁶Использование сочлененных вагонов с укороченными кузовами и промежуточными тележками — «изюминка» конструкции поездов TGV.

⁷Разным было и их конструктивное исполнение: одни напоминали тележки для перевозки багажа с двумя высокими бортами, другие — тележки-контейнеры с сетчатыми стенками.

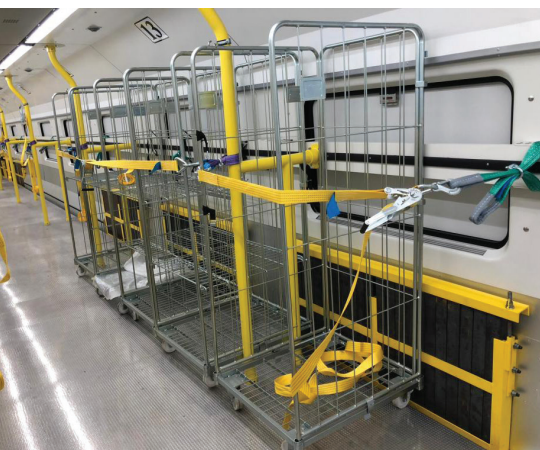


Рис. 3. Размещение и крепление тележек-контейнеров в вагоне высокоскоростного поезда ETR M-01 Fast. Хорошо видны балластные щиты. 2020 г. [6]

неров, суммарный груз в вагоне 7 т (84 т на состав), что обеспечивает допустимую максимальную нагрузку на ось до 17 тс.

Для удобной закатки тележек в вагон между погрузочной платформой и полом вагона на стоянке укладывают съемный стальной трап с расширяющимися бортами, которые направляют движение колес. Ширина наружных дверей вагона 850 мм. Для предохранения уплотнительной резины, расположенной по периметру дверного проема, перед началом погрузки или выгрузки откидывают защитные стальные щитки.

В Европе в 2000-е гг. было предложено несколько проектов организации высокоскоростных железнодорожных перевозок срочных грузов малой плотности и высокой стоимости (LDHV, low-density high value) в контейнерах, на поддонах, палетах и др. — так называемых авиационных средствах пакетирования ULD (англ. unit load device — устройство грузовой единицы). Исследования показали, что такие перевозки конкурентоспособны при расстояниях от 800 км, когда высокоско-

ростные поезда способны заменить среднемагистральные самолеты и грузовые автомобили, и до расстояний в 1000 км, если экспресс-доставка гарантируется за 24 часа и менее.

В марте 2009 г. ряд государственных и частных организаций (парижский аэропорт Руасси — Шарль де Голль, лионский Сент-Экзюпери, аэропорт Льежа и амстердамский Схипхол, а также несколько курьерских компаний Великобритании) объединились в некоммерческую ассоциацию EuroCarex (англ. Cargo Rail Express — грузовой железнодорожный экспресс).

На первом этапе планировалось соединить высокоскоростным железнодорожным сообщением грузовые районы указанных аэропортов и регион Лондона. Позже предполагалось включить в сеть Германию, Испанию и Италию.

Ассоциация EuroCarex обратилась к компаниям Alstom и Siemens с предложением о производстве специализированного высокоскоростного грузового подвижного состава. Alstom планировал взять за основу для разработки грузового поезда свой двухэтажный высокоскоростной поезд TGV POS, а Siemens — создать грузовую поезд на платформе Velaro [7], хорошо известной по высокоскоростному подвижному составу, созданному для России, Италии и Китая.

В 2012 г. по инициативе EuroCarex Национальное общество железных дорог Франции и La Poste для европейских компаний, занимающихся экспресс-доставкой почты и грузов, провели демонстрационный рейс из Лионского аэропорта в Лондон. Но дальнейшего развития проект пока не получил. О продвижении компаний Alstom и Siemens в проектах создания грузовых высокоскоростных поездов авторы статьи информации не нашли.

Китайская страница высокоскоростного грузового движения

В декабре 2020 г. компания «Чжунчэ» (CRRC⁸ Tangshan Co., Ltd., Таншань, КНР) изготовила первый состав нового восьмивагонного высокоскоростного поезда. На фоне грандиозных успехов этой страны в области высокоскоростного железнодорожного транспорта событие могло бы показаться чуть ли не рядовым. Но китайские машиностроители создали высокоскоростной грузовой поезд, рассчитанный на перевозку специальных контейнеров со скоростью до 350 км/ч, что открывает новую страницу высокоскоростного железнодорожного движения (рис. 4).

Его разработка началась в 2017 г. и определялась «Государственным планом Китая по приоритетным разработкам» [8].

В 2017 г. в Китае было начато серийное производство пассажирского высокоскоростного подвижного состава «Возрождение» — поезд «Фусин»⁹ на основе собственных китайских технологий. По некоторым данным, для создания грузового поезда, рассчитанного на скорость 350 км/ч, в качестве прототипа был взят поезд «Возрождение» серии CR400BF [9]. Китайские инженеры, основываясь на имеющихся технических решениях, внесли в конструкцию необходимые изменения, исходя из требований грузоперевозчиков.

Новый поезд предназначен для эксплуатации на специализированных ВСМ и обычных железных дорогах со смешанным грузовым и пассажирским движением, электрифицированных на переменном токе напряжением 25 кВ. Состав может эксплуатироваться в климатических условиях с температурой наружного воздуха от –25 до +40°С.

Китайский грузовой высокоскоростной электропоезд, как и все высокоскоростные поезда Китая, имеет распределенную тягу и включает четыре моторных и четыре прицепных вагона с грузовыми отсеками. В обоих головных вагонах расположены кабины управления и отделения для экспедиторов, сопровождающих груз, а также грузовые отсеки меньшего объема, чем в промежуточных вагонах.

⁸ Подразделение корпорации CRRC Corporation Limited (англ. China Railway Rolling Stock — Китайская корпорация по производству железнодорожного подвижного состава) — крупнейший в мире производитель железнодорожной техники, занимающий около половины мирового рынка.

⁹ В транслитерации с китайского языка.



Рис. 4. Китайский высокоскоростной грузовой поезд. 2020 г. [10]

Во время движения в промежуточных вагонах персонала нет, проход вдоль грузевого состава невозможен. Полезный объем всех грузовых помещений около 800 м³, масса тары всего поезда 385 т, полная масса в грузе до 505 т при допустимой нагрузке на одну ось 17 тс. Объявленная нормальная общая масса полезной нагрузки поезда составляет 110 т.

Поезд оснащен системами автоматического управления движением и обеспечения безопасности, принятыми на ВСМ и на обычных железных дорогах КНР, различными системами связи (сверхширокополосная беспроводная связь, мобильная связь передачи данных и китайская спутниковая система навигации «Бэйдоу»), которые обеспечивают необходимую передачу сигналов для безопасного движения поезда на разных типах железных дорог и осуществляют прием и передачу оперативной информации о перевозимом грузе.

В каждом вагоне по две раздвижные двухстворчатые двери (высота 2335 мм, ширина 2900 мм), расположенные по поперечной оси кузова вагона друг напротив друга. Двери выдерживают давление 6 кПа, что обеспечивает их герметичность при аэродинамическом ударе, возникающем при встрече двух поездов на двухпутном участке со скоростью 350 км/ч каждый.

В полу грузовых вагонов укреплены вращающиеся металлические ролики (рольганги)¹⁰, какие часто устраивают в грузовых отсеках самолетов. Пол имеет небольшую толщину, не отнимая полезное пространство, и обеспечивает легкое передвижение груза внутри вагона. Его конструкция относительно дешева и легко ремонтируется [11]. Для оптимизации процесса погрузки все основные перевозимые грузы планируется помещать в металлические контейнеры ULD двух типов: «большие» с размерами (глубина — ширина — высота) 1150×1350×2000 мм и «малые» — 1150×2700×2000 мм с грузоподъемностью соответственно 320 кг и 640 кг [12].

Для сокращения потерь полезного объема вагона силуэт больших и малых

контейнеров приближен к сечению грузового отсека (рис. 5). Большие контейнеры ставятся в вагон по одному в ряд, малые — по два. В промежуточных вагонах помещается 20 рядов контейнеров, в конечных вагонах — меньше.

С целью удешевления стоимости поезда в вагонах не установлены системы кондиционирования воздуха (она есть только в кабинах управления и помещениях экспедиторов). Для перевозки предметов или продуктов, требующих специальных режимов температурного хранения (2–8 °С), предусмотрены контейнеры повышенной герметичности со стенками из теплоизоляционных материалов.

Для безопасности при высокой скорости движения и динамических нагрузках, возникающих при разгоне и торможении, большое значение имеет центровка грузов в вагонах и равномерное распределение нагрузки по тележкам вагона [14]. Для этого разрабатывается автоматическая система идентификации каждого контейнера по индивидуальному цифровому коду, которая является частью общей системы учета и адресной доставки груза. С ее помощью будет осуществляться управление всем комплексом операций по подготовке контейнеров к погрузке в конкретные вагоны и выгрузке контейнеров в пунктах назначения.

Система в цифровом виде будет оптимально распределять все контейнеры по вагонам с учетом пункта назначения, необходимой центровки каждого вагона, равномерной нагрузки по тележкам и продольной оси вагона.

Контейнеры со склада пункта отправления будут подвозиться к вагону

электропогрузчиками. С помощью уравнивающей платформы с рольгангом выравнивается пол вагона и низ контейнера, подаваемого торцом внутрь вагона (рис. 6).

После установки грузчиками вручную контейнера на определенное программой место в вагоне срабатывают стопоры-захваты, фиксирующие контейнер за нижнюю часть. Сверху контейнеры фиксируются с помощью строп (ремней) к крепежным кольцам на стенах.

За последние 10 лет в Китае в 36 раз увеличилось количество почтовых экспресс-отправлений: в 2010 г. — 2,3 млрд; в 2015 г. — 20,6 млрд; в 2020 г. — 83 млрд. Безусловно, это связано с вынужденной изоляцией жителей во время пандемии, когда выросло число интернет-заказов. Доход транспортных компаний от экспресс-доставки увеличился с 57,5 млрд юаней в 2010 г. до 875 млрд юаней в 2020 г. [15].

В настоящее время 80 % объема экспресс-грузоперевозок выполняет автомобильный транспорт. По мнению китайских экономистов, перевозка грузов по ВСМ на высоких скоростях имеет конкурентное преимущество на участках протяженностью от 500 до 1500 км при обеспечении времени грузов в пути до 5,5 ч. Руководством страны поставлена задача максимального перевода экспресс-доставок на высокоскоростной железнодорожный транспорт.

Высокоскоростные грузовые перевозки и дисгармония технологий

Использование высокоскоростных поездов для перевозки грузов весьма пер-



Рис. 5. Внутренний вид вагона с загруженным большим контейнером [13]

¹⁰ Название условно, поскольку в русском языке нет устоявшегося наименования устройств в виде вращающихся шариков, небольших роликов, облегчающих передвижение контейнеров, поддонов, палет, размещаемых на полу или палубе и представляющих собой конструкции, называемые по-английски: *roller, ball or castor decks* — палубы с удлиненными роликами рольгангов, шариками или небольшими поворотными роликами рояльного типа.

спективно, но круг перевозимых грузов мал и, в принципе, определяется уже приведенным понятием LDHV.

В этой связи можно сделать следующие предварительные выводы.

1. Исключена перевозка с высокими скоростями по ВСТ контейнеров типа ISO, используемых на автомобильном, железнодорожном или водном транспорте. Невозможно представить, что контейнеры подобного типа могут быть помещены в аэродинамическую оболочку высокоскоростного подвижного состава в заданных сегодня железнодорожных габаритах, с обеспечением удобной погрузки и выгрузки. Возможна и целесообразна перевозка контейнеров авиационного типа ULD специальной конфигурации, позволяющей максимально использовать объем грузовых помещений вагона.

2. Расстояние конкурентоспособной доставки, освоенной сегодня высокоскоростным железнодорожным транспортом, при скоростях движения 300–350 км/ч, по данным разных источников, составит 500–2000 км.

3. Во всех показанных примерах мы сталкиваемся с явлением, не замечаемым в силу привычки. Но оно может стать серьезным препятствием развития грузовых высокоскоростных перевозок. Остановимся на нем подробнее.

В современном мире в ряде производственных процессов, в том числе транспортных, сталкиваемся с явлением, которое один из авторов данной статьи (И. Киселев) предлагает называть «дисгармонией технологий»¹¹. Речь идет о сочетании в единых технологических процессах, технологических линейках и производственных комплексах отдельных приемов и технических решений, стоящих очень далеко на эволюционной лестнице развития техники и технологий от соседних с ними. Такое встречается на разных производствах, вплоть до самых современных, использующих передовую технику и технологии, включая цифровые и т. п. В силу самых разных причин в современных технологических цепочках остаются островки «ископаемых операций», без выполнения которых останавливается весь технологический процесс. Но преобразовать эти операции в современные, передовые пока не удается. Причины могут быть разные: операция

¹¹ Муз. — нарушение гармонии, отсутствие соизвучности; неблагозвучие. Перен. — несогласованность, нарушение соответствия чего-либо с чем-либо.



Рис. 10. Погрузка контейнера в вагон с помощью уравнильной платформы [13]

слишком тонка, сложна и пока не поддается автоматизации и роботизации. Часто преобладают финансовые соображения — сохранение ручного труда пока дешевле и выгоднее.

История техники дает нам немало таких примеров. В 1825 г. Дж. Стефенсон открыл первую в мире дорогу общего пользования Стоктон — Дарлингтон в Англии. Весь технико-технологический комплекс этой дороги (рельсовый путь, искусственные сооружения, станции), за исключением паровозов, относился к самой передовой технике и технологиям начала XIX в. Но тяга поездов в первые годы осуществлялась не паровозами, а лошадьми, что было дешевле и надежнее. Налицо — дисгармония технологий, длившаяся на магистральном железнодорожном транспорте около двух десятилетий¹², а на промышленном и городском рельсовом транспорте, где использовались заводские и городские конные железные дороги (конки), — до XX столетия.

Такие примеры можно найти и в различных отраслях тяжелой, легкой, пищевой промышленности, где в самые современные технологические процессы и комплексы «вкраплены» участки и операции тяжелого, утомительного, как правило, неквалифицированного ручного труда¹³.

¹² До открытия дороги Манчестер — Ливерпуль в 1830 г. с паровой тягой.

¹³ Например, на одной из современных линий консервирования оливок механизировано и автоматизировано всё — от тщательной мойки поступающего сырья до извлечения косточки. Но одна операция — фаршировка каждой оливки кусочком лимона, анчоуса или перца — делается руками работников, «встроенных» в процесс, после чего работу вновь продолжают автоматы.

В транспортной сфере явление дисгармонии технологий также распространено. Причем мы настолько привыкли к этому, что просто не замечаем.

Например, при подготовке к вылету авиалайнеров даже в крупных аэропортах многие операции в технологической цепочке обработки багажа и грузов осуществляются еще вручную. Например, на высоту грузового отсека самолета контейнеры типа ULD подаются подъемником. Но внутри отсеков эти тяжелые металлические ящики вручную передвигают и крепят грузчики. Последние модели широкофюзеляжных самолетов оснащаются устройствами механизации передвижения контейнеров в виде рольгангов с обрешеченными роликами, приводимыми во вращение электродвигателями, которые и передвигают контейнеры. После чего необходимо вручную включить стопорные устройства крепления контейнеров.

Во всех примерах высокоскоростных грузовых железнодорожных перевозок погрузка и выгрузка тележек-контейнеров производится исключительно вручную, мускульной силой человека. Помимо установки контейнера, его еще необходимо закрепить стропами-ремнями, конечно, современными, из синтетических материалов.

Уровень механизации погрузки и разгрузки контейнеров ISO на автомобильном, железнодорожном или водном транспорте уже достаточно высок, но и там в операциях по креплению контейнеров остается много ручного труда — это большая зона дисгармонии технологий. Одна из самых трудоемких операций,

выполняющихся вручную, — крепление контейнеров, перевозимых на судах, прутковыми, цепными или тросовыми оттяжками с винтовыми талрепами. По разным источникам, в год смывается и срывается в море около 10 тыс. контейнеров. Сумма в относительном виде к общим объемам перевозок мизерная, но в абсолютном исчислении — громадная [16].

Создание грузового высокоскоростного поезда, рассчитанного на максимальную скорость 350 км/ч, несомненно, большое достижение китайских машиностроителей. Пока речь шла о небольших объемах перевозок, будь то французский TGV La Poste или высокоскоростной поезд итальянской компании Mercitalia Rail, груз которых исчислялся сотнями тонн в день, можно было не замечать явной дисгармонии технологий — ручной погрузки и выгрузки контейнеров сотнями грузчиков.

Однако в свете прогнозируемого масштабного увеличения объемов высокоскоростных грузовых перевозок в Китае, речь пойдет уже о тысячах и даже десятках тысяч рабочих, занятых тяжелым ручным трудом по загрузке и креплению контейнеров в вагонах высокоскоростных поездов. Подобное уже случилось в больших масштабах в авиации и на водном транспорте. Ликвидация дисгармонии технологий является одной из важнейших составляющих технического и технологического, а в конечном итоге и социально-экономического прогресса.

Естественно, это хорошо понимают руководители китайских железных дорог и транспортно-логистических компаний. В местных СМИ появились первые сведения о работах по созданию новых вагонов высокоскоростных грузовых поездов, оснащенных специальными устройствами механизированной и автоматизированной погрузки и выгрузки контейнеров.

Опубликованные в Интернете видеопрезентации с выставок в Китае в 2020 г. показывают, как контейнеры движутся внутри вагона «как бы сами собой» [17, 18]. Детального описания авторы данной статьи пока не нашли. Предполагаем, что используются технические устройства и технологии, опробованные на воздушных судах в виде обрезиненных приводных роликов с электродвигателями, встроенных в пол (палубу) грузового отсека. Возможно, внутри направляющих щелей, хорошо различимых на кадрах видеопрезентации, помещены толкатели, приводимые в движение посредством винтовой, цепной или гидравлической

передачи, размещенной в пространстве под полом. Видно, как срабатывают стопоры-захваты, фиксирующие положение контейнера.

Надеемся, что в ближайшем будущем вагоны высокоскоростных грузовых поездов с полностью механизированной и автоматизированной погрузкой и выгрузкой контейнеров будут созданы. Понятно, что такие вагоны будут дороже в производстве и обслуживании.

Предстоит тщательный анализ сопоставимых затрат в сравнении с авиационными и автомобильными перевозками для понимания перспектив развития нового направления эксплуатации ВСМ — грузовых высокоскоростных контейнерных перевозок, столь привлекательных для будущих ВСМ, в том числе и в России. ■

Литература

1. Като, И. Новая Токайдо // Ежемесячный бюллетень МАЖК: [изд. на рус. яз.]. — 1963. — № 11. — С. 3–34.
2. Киселев, И. П. Краткий обзор истории европейских высокоскоростных поездов. Часть I // Железные дороги мира. — 2005. — № 12. — С. 21–36.
3. Bazin, Pierre. — URL: <https://www.connaissance-du-rail.com/reportages-et-photos/la-fin-des-tgv-postaux/>
4. <https://www.lejsl.com/actualite/2013/01/01/150-t-de-courrier-expedie-pour-le-nouvel-andepuis-la-plateforme-tgv-de-macon-vinzelles?image=b8be11a9-817a-442c-9aea-5400a80c10b8>
5. De Kemmeter, Frédéric. Fast Mercitalia: parcels at 250 km/h. — URL: <https://mediarail.wordpress.com/2018/11/07/fast-mercitalia-parcels-at-250km-h/>
6. Pillole di «Fast»: l'innovazione nel trasporto merci ferroviario: Parte 3. — URL: <https://www.interporto.it/pillole-di-fast-l-innovazione-nel-trasporto-merci-ferroviario-parte-3-a438>
7. EuroCarex. — URL: <https://www.eurocarex.fr/>
- 8.国家重点研发计划«先进轨道交通»重点专项简介. 科技部高技术研究中心 [Краткое описание ключевых задач «современного рельсового транспорта в Государственном плане Китая по приоритетным разработкам». — URL: <http://www.htrdc.com/gjszx/gdjt/index.shtml>
9. 高铁货运首次采用整列运输 中国中车货运动车组下线. 中国经营网. [CRRC выпущен грузовой моторвагонный подвижной состав. Грузоперевозки

- на ВСМ будут впервые осуществляться с использованием специализированного поезда. // Бизнес-журнал Китая. — URL: <http://www.cb.com.cn/index/show/zj/cv/cv135102351265>
10. 中国政府网 [Сайт центрального народного правительства КНР]. — URL: http://www.gov.cn/xinwen/2020-12/23/content_5572861.htm#2
 11. 杨帅, 王伟等. 货运动车组关键技术研究 // 铁路采购与物流. [Ян Шуай, Ван Вэй и др. Исследование ключевых технологий грузового моторвагонного подвижного состава // Закупка и логистика для ЖДТ]. — 2014. — № 12. — С. 33–34.
 12. 丁立卿, 熊力等. 高速货运动车组的研制 // 中国铁路. [Дин Лицин, Сюн Ли и др. Разработка высокоскоростного грузового подвижного состава // Китайские железные дороги]. — 2017. — № 11. — С. 91–98].
 13. 世界首列! 时速350公里高速货运动车组下线 [Первый в мире! Сошел с конвейера высокоскоростной грузовой моторвагонный поезд, рассчитанный на скорость 350 км/ч.] // https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_10509877
 14. Безруков Д. Д. Инновационная система автоматического регулирования смещения центра тяжести грузов в высокоскоростном грузовом поезде. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. РУТ (МИИТ), М., 2020. — 11 с.
 15. 邮政业2020成绩单出炉. 财视网 [Опубликован лист оценок по почтовой отрасли за 2020 год // Чайна Финаншиал таймс] // <http://www.3news.cn/yaowen/2021/0104/494491.html>
 16. Different Cargo Handling Equipment Used on Container Ships // <https://www.marineinsight.com/tech/different-cargo-handling-equipments-used-on-container-ships/>
 17. 国产高速动车组下线: 全球首列时速350公里货运动车组 [Сошел с конвейера высокоскоростной моторвагонный подвижной состав собственного производства: первый в мире грузовой моторвагонный подвижной состав, рассчитанный на скорость 350 км/ч] Видеопрезентация // <https://new.qq.com/omn/20201226/20201226V08E6V00.html>
 18. 世界首列! 时速350公里货运动车组来了 [Первый в мире! 350 км/ч, грузовой моторвагонный электропоезд уже здесь] Видеопрезентация // <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1686850140691485598&wfr=spider&for=pc>

Метод прогнозирования пассажиропотоков при организации высокоскоростных перевозок



С. П. Вакуленко,
к. т. н., профессор,
директор Института
управления и цифровых
технологий Российского
университета транспор-
та (МИИТ)



Д. Ю. Роменский,
старший преподаватель
кафедры «Управление
транспортным бизнесом
и интеллектуальные
системы» РУТ (МИИТ)



К. А. Калинин,
ассистент кафедры
«Управление транспорт-
ным бизнесом и интеллек-
туальные системы»
РУТ (МИИТ)

Спрос на пассажирские перевозки обосновывает целесообразность привлечения инвестиций в создание новой железнодорожной инфраструктуры. В статье предлагается новый метод оценки спроса на пассажирские перевозки, основанный на определении качественной характеристики формируемого сообщения с учетом гравитационного подхода.

Организация высокоскоростных и скоростных железнодорожных перевозок с каждым годом становится всё более актуальной, а сценарий развития железнодорожной инфраструктуры предусмотрен в программных документах федерального уровня в России и других странах [1]. Организация наземного сообщения со скоростями более 160 км/ч форсирует социально-экономическое развитие регионов и решает целый комплекс проблем развития территорий.

Востребованность высокоскоростного сообщения в России можно оценить на примере поездов «Сапсан» на линии Санкт-Петербург — Москва, на «Октябрьской магистрали». Спрос на данный тип перевозок очень высок, и в настоящее время имеется острый дефицит провозной способности в скоростном сообщении [2–3]. Запуск «Сапсанов» простимулировал спрос, в результате чего повысилась транспортная подвижность населения между Москвой и Санкт-Петербургом. На поездах «Сапсан» в пиковые дни отсутствуют свободные места, и сами «Сапсаны» уже не могут удовлетворить возросший спрос из-за недостаточной пропускной способности железнодорожной инфраструктуры. При этом в данном транспортном коридоре в 2019 г. курсировало до 80 пар авиарейсов в сутки (около 16 тыс. пасс. в сутки в одну сторону: вдвое больше, чем перевозят поезда «Сапсан»). Можно констатировать, что произошла парадоксальная ситуация, при которой индуцированный ранее

и нереализованный сейчас железнодорожным транспортом спрос осваивается воздушным транспортом. Доля авиации в освоении пассажиропотока между столицами продолжает оставаться крайне высокой, на уровне 30–40 %. Такая ситуация обычно характерна для транспортных коридоров, где скоростное сообщение вообще отсутствует.

Поезда «Сапсан» имеют время в пути почти вдвое большее, чем обеспечила бы специализированная высокоскоростная магистраль (ВСЖМ). Число пар «Сапсанов» в сутки относительно невелико, и можно сделать вывод, что при строительстве специализированной линии произойдет перераспределение пассажиропотока в пользу железнодорожного транспорта за счёт большого нереализованного потенциала. В этих условиях актуальной становится проблема оценки будущих пассажиропотоков каждого из конкурирующих видов транспорта. На стратегическом уровне для принятия решений необходимо понимать, какая именно доля пассажиров переключится с прочих пассажирских поездов, авиатранспорта, личных автомобилей на новые высокоскоростные поезда и какое количество новых пассажиров появится благодаря эффекту индуцированного спроса.

Анализ существующих подходов к прогнозированию пассажиропотоков

В практике прогнозирования авиации и железнодорожных перевозок широко применяются математические модели, выявляющие зависимость прогнози-

руемых показателей от тех или иных параметров (факторов). Современные подходы к прогнозированию основываются на методах [4–13]:

- экстраполяции трендов;
- скользящей средней;
- экспоненциального сглаживания;
- наименьших квадратов;
- регрессивного анализа;
- эмпирических моделей (гравитационных моделей).

Эти методы могут применяться при различных условиях прогнозирования, задачах и исходных данных. Однако при организации качественно нового уровня сервиса, такого как высокоскоростное железнодорожное сообщение, нельзя полагаться на статистические данные о железнодорожном и авиасообщении, чтобы определить перспективный спрос и экстраполировать данные о пассажироперевозках. Это привело бы к недостоверному результату, так как новый сервис своими потребительскими свойствами будет существенно отличаться от существующих.

При создании сервиса, схожего по своим характеристикам с существующими аналогами (например, при изменении маршрутов поездов дальнего следования или назначении новых маршрутов), для определения его востребованности и перспективной величины пассажиропотока можно использовать данные анкетирования и опросов потенциальных пассажиров и пассажиров альтернативных видов транспорта о степени удовлетворения их транспортных потребностей. Такой способ даёт результат с приемлемой точностью, ведь опрашиваемые пассажиры легко соотносят предлагаемые изменения с существующей ситуацией. Однако принципиальное изменение транспортного обслуживания потребует подробных пояснений, без которых опрашиваемые пассажиры не смогут дать объективный ответ, а результаты опросов покажут неверную картину.

Использование данных, полученных посредством единичных опросов и локальных систем мониторинга транспортной мобильности на основе модели существующих железнодорожных перевозок, приведет к построению ложных транспортных моделей в случае сооружения ВСЖМ и значительно снизит эффективность принимаемых управленческих решений. Повторение опыта организации высокоскоростного железнодорожного сообщения в европейских

и азиатских странах с развитой сетью ВСЖМ также недопустимо при принятии стратегических решений. Нужно учитывать особенности эксплуатации ВСЖМ в России, такие как:

- малая концентрация населения вне столичного региона;
- низкая платежеспособность населения;
- невысокая подвижность населения, т. е. малое среднее количество перемещений на человека в год;
- большие расстояния между крупными агломерациями, которые могут превышать расстояния наиболее эффективного использования ВСЖМ (например, транспортный коридор Центр—Юг);
- слабо развитый курортный бизнес внутри страны;
- сложные климатические условия, приводящие к удорожанию строительства инфраструктуры и её эксплуатации.

Эти факторы позволяют сделать вывод, что при организации высокоскоростного железнодорожного сообщения в России опыт и условия его осуществления будут уникальными и по ряду параметров беспрецедентными. Следовательно, необходимо применение специализированных средств прогнозирования пассажиропотоков.

Разработка метода определения потенциального спроса на железнодорожные перевозки при организации скоростного и высокоскоростного сообщения

Наиболее распространенное в мировой практике объяснение возникновения пассажиропотока между двумя городами или районами — это «гравитация» между ними. Понятие «гравитации» предполагает, что между населенными пунктами существует тяготение, имеющее прямую зависимость от размеров этих населенных пунктов и обратную зависимость от расстояния между ними. Поэтому для построения прогнозов пассажиропотоков при анализе востребованности новой инфраструктуры целесообразно использовать гравитационную модель [14–18].

Выражение спроса на перевозку «гравитационным методом»

В настоящей статье предлагается использовать принципы «гравитационного» анализа транспортных коммуникаций как составной части метода анализа

транспортной проводимости и выработать критерии изменения величины пассажиропотока, исходя из качественной оценки формируемого сообщения.

Для применения «гравитационной формулы» за исходные данные для расчета корреспонденций пассажиропотоков должны приниматься следующие величины:

- население городов отправления и прибытия;
- население прилегающих к пунктам отправления и прибытия территорий, находящихся в двухчасовой изохроне (поясе доступности) к месту перспективного расположения станции ВСЖМ;
- доля экономически активного, потенциалообразующего населения региона, определяемая на основе ВРП региона;
- расстояние между городами;
- размеры движения транспортных средств между рассматриваемыми городами базовой транспортной коммуникации (железнодорожный, воздушный или автотранспорт);
- степень загрузки транспортных средств на базовой транспортной коммуникации;
- режим движения транспортных средств, включая интервалы и суточную неравномерность отправления.

В качестве базовой транспортной коммуникации может быть принят любой существующий вид сообщения между населенными пунктами. Как основного конкурента для ВСЖМ за долю на транспортном рынке необходимо рассматривать авиатранспорт, поэтому базовыми коммуникациями целесообразно считать железнодорожный и воздушный транспорт.

Множители при «гравитационном» подходе могут интерпретироваться по-разному, и в рассматриваемом методе расчётную формулу определения плотности пассажиропотока¹(пасс./сут.) целесообразно принять в следующем виде:

$$A^i = \gamma_{\text{исп.пот.}} * \frac{\sum P1 * \sum P2}{l^2}, \quad (1)$$

где $\gamma_{\text{исп.пот.}}$ — коэффициент использования потенциала корреспонденцией. Вводимая величина характеризует фактический уровень использования потенциала корреспонденции пассажиропотоков и является переменной. На ее значение влияет подвижность населения, т. е. количество совершаемых поездок в единицу рассматриваемого временного периода;

¹ Густота пассажиропотока — максимальная величина пассажиропотока в рассматриваемом сечении.

$\sum P_j$ — итоговый потенциал агломерации;

j — порядковый номер рассматриваемой корреспонденции, $j \in [1; 2]$;

l — географическое расстояние (кратчайшее) между агломерациями, между которыми осуществляется сообщение.

Для дальнейшего анализа введем дополнительную характеристику «потенциал корреспонденции», определяемую как условно постоянная часть гравитационной формулы (1):

$$H_{max}^i = \frac{\sum P_1 * \sum P_2}{l^2} \quad (2)$$

Итоговый потенциал агломерации определяется как потенциальное экономически активное население пунктов, между которыми осуществляется сообщение данной корреспонденции, а также прилегающих к ним территорий. Необходимо учитывать долю экономически активного, потенциалообразующего населения непосредственно в пункте отправления и прибытия, а также в прилегающих к местам погашения потенциала административных районах и крупных городах.

$$\sum P_i = \alpha_p * P_i + \beta_p * p_i, \quad (3)$$

где P_i — население основной агломерации (населенного пункта), млн чел.;

α_p — доля экономически активного, потенциалообразующего населения в пункте;

p_i — население прилегающих экономически задействованных территорий, млн чел.;

β_p — доля экономически активного, потенциалообразующего населения на прилегающих территориях.

Выражение спроса на перевозку методом анализа качества транспортного сообщения.

В качестве второй составной части разрабатываемого метода предлагается использовать метод анализа качества транспортной коммуникации и определить зависимость пассажиропотока от изменения качества перевозки, вызванного, например, появлением на рынке новой транспортной коммуникации.

Величина пассажиропотока в междугороднем и международном сообщении в зависимости от качественной характеристики данного сообщения, будет определяться как произведение величины **единичного приведенного пассажиропотока корреспонденции**² и значения **проводимости данной корреспонденции** соответствующей

² Транспортная корреспонденция — устойчивая транспортная связь между двумя пунктами, для которых характерно наличие транспортных перемещений пассажиров и грузов.

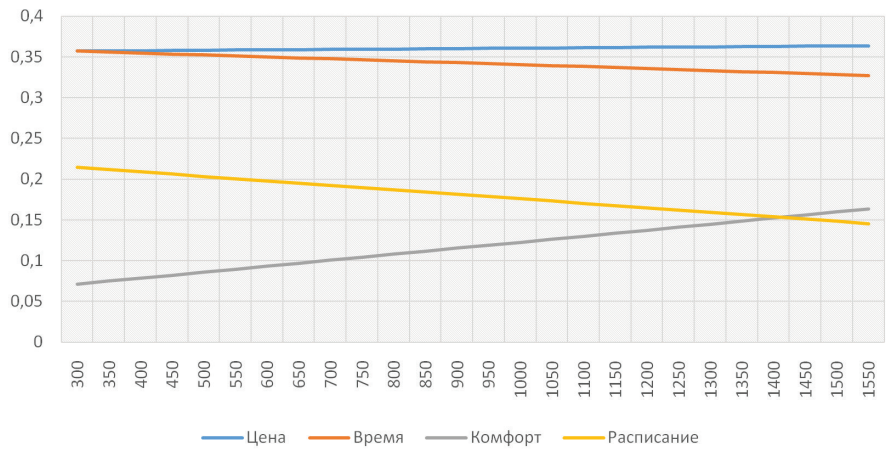


Рис. 1. Распределение весовых показателей критериев в зависимости от дальности перевозки

уровню качества транспортной коммуникации.

Проводимость транспортной коммуникации — мера транспортной связанности рассматриваемых агломераций, определяющая возникновение спроса на пассажирские перевозки. Проводимость транспортной коммуникации является величиной, зависящей от интегральной оценки качества рассматриваемого вида сообщения или совокупности различных видов сообщения $\kappa^i(Q_k)$. Для удобства расчета предлагается ограничить принимаемые значения, где $\kappa^i \in [\kappa_{min}^i; 100]$, где κ_{min}^i — минимальная транспортная проводимость рассматриваемой корреспонденции при интегральном показателе качества транспортного сообщения равно нулю $Q_k = 0$. При минимальной проводимости транспортной корреспонденции предполагается, что величина пассажиропотока будет исчезающе малой. Величина пассажиропотока, выраженная через проводимость транспортной коммуникации будет рассчитываться по формуле:

$$A^i = \kappa^i * A_{ед.пр.}^i, \quad (4)$$

где i — рассматриваемая корреспонденция;

κ^i — транспортная проводимость i корреспонденции;

$A_{ед.пр.}^i$ — величина единичного приведенного пассажиропотока на i корреспонденции, чел.

Наиболее эффективным способом определения единичного приведенного пассажиропотока является его выражение при анализе существующих транспортных коммуникаций корреспонденции (5):

$$A_{ед.пр.}^i = \frac{A_{факт}^i}{\kappa_{факт}^i}, \quad (5)$$

где $A_{факт}^i$ — фактическое значение пассажиропотока на рассматриваемой корреспонденции;

$\kappa_{факт}^i$ — фактический уровень транспортной проводимости на рассматриваемый период при установленном интегральном показателе качества транспортного сообщения.

Интегральный показатель качества будет определяться как сумма произведений величины оценки качества критерия на его вес (формула 6):

$$Q_k = \sum_{\eta=0}^{\mu} v_k^{\eta} * P_k^{\eta} \quad (6)$$

Вес каждого критерия (определяется как отношение величины значимости данного критерия к сумме величин значимости критериев (формула 7):

$$P_k^{\eta} = \frac{w_k^{\eta}}{\sum_{\eta=0}^{\mu} w_k^{\eta}}, \quad (7)$$

где w_k^{η} — присваиваемая значимость η критерию. Значимость рассматриваемых критериев качества может быть присвоена на основе опросов пассажиров или методом экспертного анализа; μ — общее количество рассматриваемых качественных показателей η .

При анализе функционирования транспорта в дальнем сообщении среди качественных показателей целесообразно рассматривать следующие: цена за перевозку, время в пути, комфортность поездки, удобство расписания. Другие факторы, влияющие на выбор способа транспортировки, имеют значительно меньшее значение, чем приведенные, поэтому в общем случае рассматривать их необязательно. Так, согласно опросу пассажиров, приведенному в программе развития скоростного и высокоскоростного сообщения до 2035 г., факторы времени в пути, стоимости билета, удобства расписания и комфортности поездки стали опреде-

ляющими более чем для 75 % респондентов.

Оценка качества каждого критерия будет влиять на общую оценку в соответствии с весовыми характеристиками данной величины на i корреспонденции. В зависимости от дальности перевозки и общего расстояния транспортировки значимость критериев претерпевает определенные изменения. С увеличением расстояния большую значимость приобретает комфортность поездки, а требования к качеству расписания уменьшаются. Распределение зависимости веса критериев P_{ik} от дальности перевозки приведены на рис. 1.

Для дальнейшего анализа принимаем вес критериев для целевой корреспонденции на наиболее конкурентоспособных для ВСЖМ расстояниях 700–750 км.

Определения влияния качества транспортной коммуникации на величину пассажиропотока

Изменение качества выявленных критериев по-разному воздействует на величину спроса на пассажирские перевозки, поэтому рассмотрим каждый критерий.

Цена. Согласно аналитическим зависимостям спроса, которые были выведены немецким статистиком Э. Энгелем и шведским экономистом Л. Торнквистом, перевозка в междугороднем и международном сообщении в личных целях относится к услугам второй категории, т. е. при определенном уровне доходов потенциальный пассажир готов совершить поездку на железнодорожном, авиа- или ином виде транспорта, если расходы не превысят определенный процент его дохода [19]. Эту зависимость при условно постоянном уровне платежеспособности населения можно интерпретировать как то, что при снижении издержек на транспортировку спрос будет повышаться согласно приведенной на рис. 2 функции. Кроме поездок в личных целях, существует спрос на перевозки в служебных целях, оплачиваемые работодателем или государством. Спрос на такой тип перевозок является условно постоянным и меньше подвержен изменению цены на транспортировку. На рис. 2 приведена аналитическая зависимость относительного количества поездок от ценового качества рассматриваемого сообщения.

Характер этой кривой справедлив

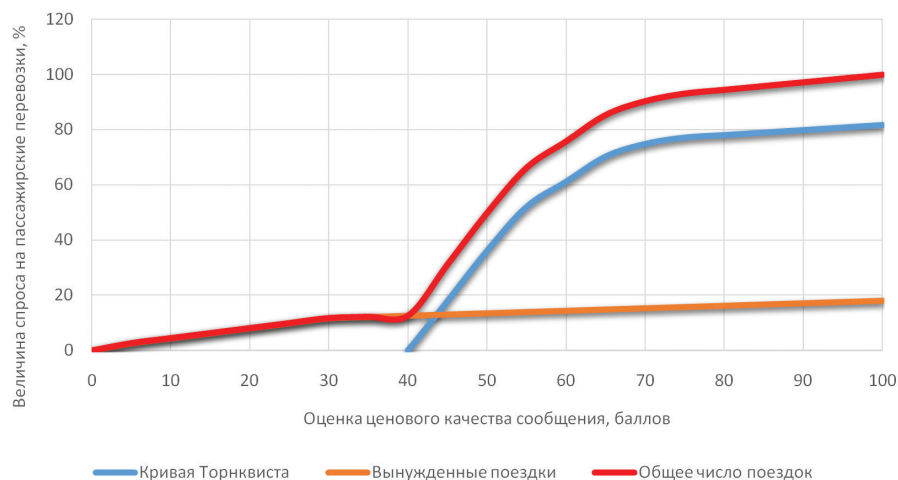


Рис. 2. Аналитическая зависимость спроса на пассажирские перевозки от ценового качества сообщения

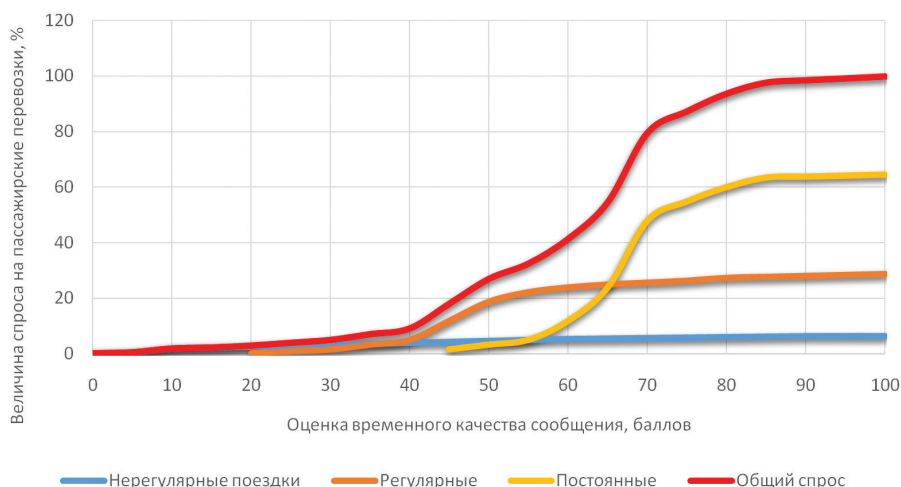


Рис. 3. Аналитическая зависимость спроса на пассажирские перевозки от временного качества сообщения.

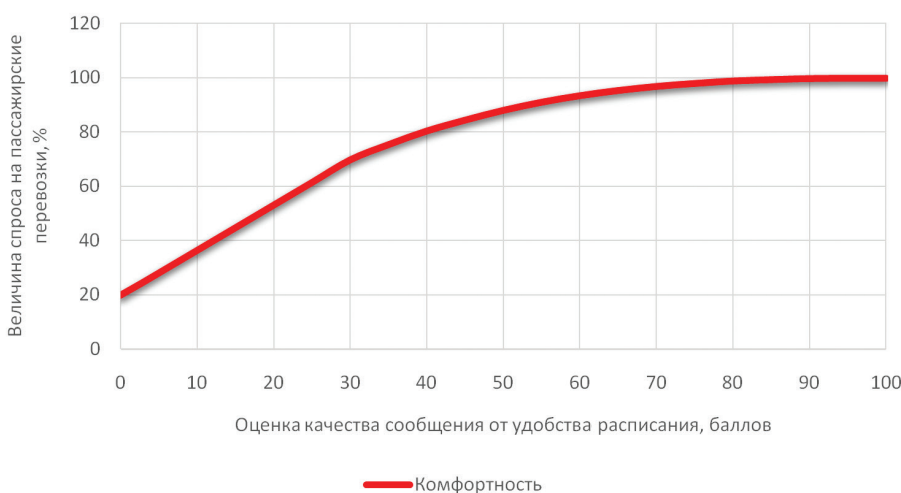


Рис. 4. Аналитическая зависимость спроса на пассажирские перевозки от комфортности поездки

для любой рассматриваемой корреспонденции, величина генерируемого пассажиропотока зависит от населения связываемых регионов и их экономического потенциала (формула 3).

Время. В зависимости от величины затрачиваемого времени в пути между

корреспонденциями спрос на перевозку может возникать у пассажиров с различными целями поездки. Путешествие может носить разовый характер, регулярный и постоянный. В самостоятельные категории целесообразно выделять следующие группы поездок:

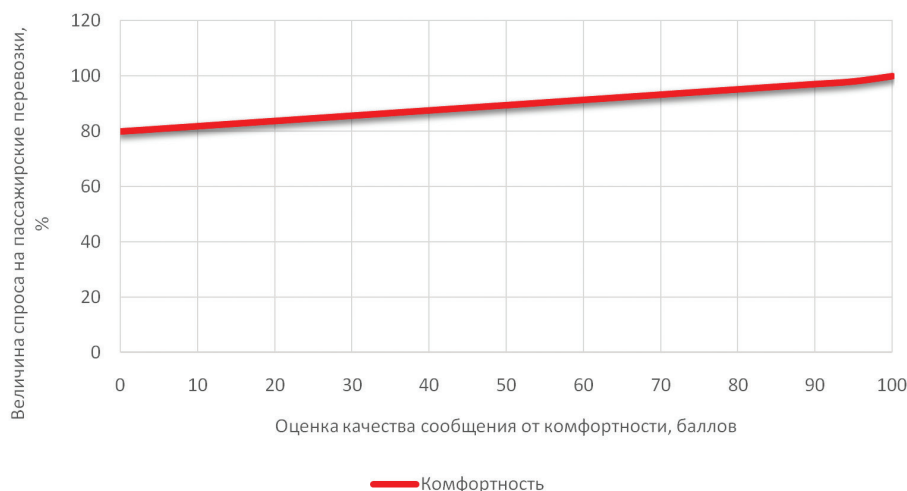


Рис. 5. Аналитическая зависимость спроса на пассажирские перевозки от удобства расписания

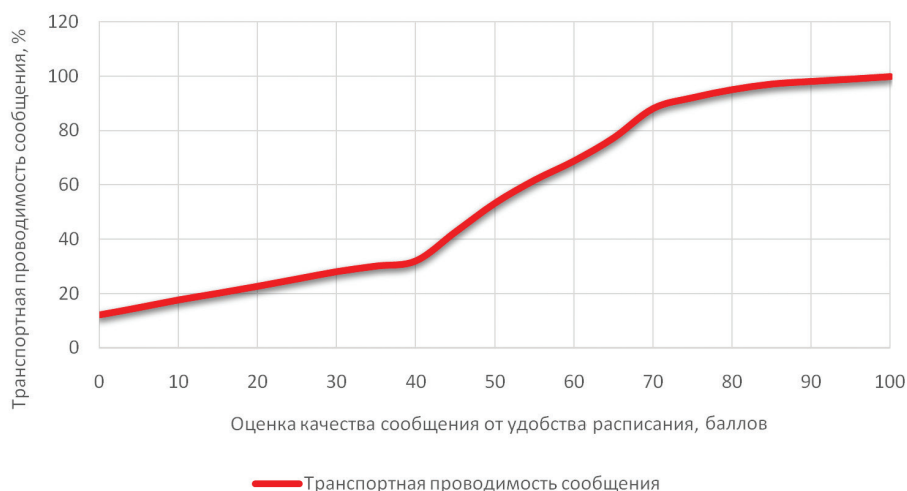


Рис. 6. Аналитическая зависимость транспортной проводимости сообщения от интегральной оценки качества сообщения

• нерегулярные поездки подразумевают поездку в туристических целях или внеплановую рабочую поездку (количество поездок на 1 пассажира в год 1–2);

• регулярные рабочие поездки (количество поездок на 1 пассажира в год до 2–10);

• постоянные рабочие поездки подразумевают обеспечение комфортного времени в пути для образования постоянной рабочей маятниковой миграции (количество поездок в год более 10).

График аналитической зависимости общего спроса на пассажирские перевозки от обеспечиваемого временного качества приведен на рис. 3.

Комфортность поездки. Оценку комфортности поездки можно свести к методу оценки удовлетворения потребителей уровнем предоставляемого сервиса. В качестве уровня сервиса в данном случае выступают технические характеристики транспортного средства. Для описания зависимости удовлетво-

ренности от уровня предоставляемого сервиса можно использовать модель Кано [20–23]. Согласно модели Нориаки Кано, описывающей реакцию потребителей на услугу, параметры предоставляемой услуги подразделяются на 5 типов характеристик:

- привлекательные;
- одномерные;
- обязательные;
- неважные;
- нежелательные.

Наличие или отсутствие этих характеристик по-разному влияет на степень удовлетворенности предоставляемой услугой. Кроме того, восприятие услуг потребителями может со временем изменяться, и характеристики, которые казались привлекательными, могут перейти в состояние обязательных.

При определении влияния удовлетворения спроса на общее качество комфортности поездки целесообразно ориентироваться на наличие выделенных обязательных и одномерных ха-

рактеристик. Зависимость проводимости транспортного коридора на основе оценки качества комфортности поездки приведена на рис. 4.

4) Удобство расписания. Международный опыт эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магистралей показывает, что, несмотря на их междугородний и международный характер, они проявляют свойства как поездов дальнего следования, так и пригородных поездов. Спрос на такие перевозки не имеет ярко выраженного пикового периода, как в пригородном сообщении, и отклоняется до 15 % от среднего значения в течение суток. Можно сделать вывод, что отправление поездов на ВСЖМ при осуществлении дневных перевозок должно быть распределено равномерно в течение суток.

Основопологающим фактором, позволяющим оценить качество составления расписания, является параметр тактовости. Подходы к его определению рассмотрены в работах [24–25]. Линейный характер изменения этой величины позволяет говорить о линейном характере зависимости транспортной проводимости от качества составления расписания. При этом низкое качество графика не означает, что спрос на перевозки будет близок к нулю. Если расписание движения транспортных средств недостаточно качественное, то пассажир будет вынужден подстраиваться под него. Графическая интерпретация данной зависимости приведена на рис. 5.

Используя полученные зависимости, приведенные на рис. 2–5, а также формулы (6) – (7), построим график транспортной проводимости (рис. 6).

Полученная аналитическая зависимость по своему характеру совпадает с общими представлениями транспортной науки об S-образном характере изменения величины пассажиропотока. Однако зоны перегибов на графике свидетельствуют о насыщении спроса отдельных категорий пассажиров или о привлечении на рассматриваемый вид транспорта новых пассажиров с образованием индуцированного спроса. Для корректного применения полученной зависимости необходимо уточнение положения точек транспортной проводимости рассматриваемых видов транспорта при помощи апостериорных статистических данных об изменении величины пассажиропотока при введении новых видов сообщения

и применение методов статистического анализа полученного массива данных.

Располагая данными о координатах значений проводимости рассматриваемой корреспонденции, можно определить перспективный рост спроса на пассажирские перевозки при повышении качества транспортного сообщения.

Используя формулы (1), (2), (4), (5), выразим коэффициент использования потенциала корреспонденции в целом состоянии при увеличении качества сообщения:

$$\kappa_{\text{ц}}^i * A_{\text{ед.пр.}}^i = \gamma_{\text{исп.пот.ц}}^i * \frac{\sum P1 * \sum P2}{l^2};$$

$$\kappa_{\text{ц}}^i * \frac{A_{\text{факт}}^i}{\kappa_{\text{факт}}^i} = \gamma_{\text{исп.пот.ц}}^i * H_{\text{max}}^i;$$

$$\gamma_{\text{исп.пот.ц}}^i = \frac{\kappa_{\text{ц}}^i * A_{\text{факт}}^i}{\kappa_{\text{факт}}^i * H_{\text{max}}^i};$$

$$A_{\text{факт}}^i = \gamma_{\text{исп.пот.факт}}^i * H_{\text{max}}^i;$$

Подставляя полученную величину использования потенциала в формулу (1) получим формулу, позволяющую с определенной степенью точности рассчитывать величину спроса на пассажирские перевозки на рассматриваемой корреспонденции при запуске новых транспортных продуктов:

$$\begin{aligned} A_{\text{ц}}^i &= \gamma_{\text{исп.пот.ц}}^i * H_{\text{max}}^i = \\ &= \frac{\kappa_{\text{ц}}^i * \gamma_{\text{исп.пот.факт}}^i * (H_{\text{max}}^i)^2}{\kappa_{\text{факт}}^i * H_{\text{max}}^i} = \\ &= \frac{\kappa_{\text{ц}}^i * \gamma_{\text{исп.пот.факт}}^i * H_{\text{max}}^i}{\kappa_{\text{факт}}^i}. \end{aligned}$$

Для верхнеуровневого прогнозирования требуется информация о фактических значениях пассажиропотока на момент моделирования различными видами транспорта, оценке качества транспортного сообщения и общем характере транспортной проводимости, установленной на основе статистического анализа.

Разработанный подход может быть применен не только для анализа спроса на ВСЖМ, но и для любого другого вида транспортного сообщения, организуемого на существующей или на создаваемой инфраструктуре.

Литература

1. Киселев, И. П. Высокоскоростной сухопутный транспорт: состояние и перспективы // Транспорт РФ. — 2010. — № 6 (31). — С. 60–67.
2. Вакуленко, С. П. Высокоскоростная маги-

- страль Санкт-Петербург — Москва: проблемы и перспективы / С. П. Вакуленко, А. В. Колин // Железнодорожный транспорт. — 2006. — № 6. — С. 47–51.
3. Прокофьев, М. Н. Новые железные дороги нужны России // Транспорт РФ. — 2019. — № 5 (84). — С. 38–41.
4. Butyrkin, A. Ya. Models for predicting passenger traffic in rail and air transport / A. Ya. Butyrkin, E. B. Kulikova, O. N. Madyar, E. I. Dmitrieva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing Ltd, 2020.
5. Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Неррей. — М.: Транспорт, 1987. — 247 с.
6. Макарова, Е. А. Моделирование тенденций развития спроса на пассажирские перевозки в дальнем сообщении с учетом особенностей его формирования по регионам Российской Федерации / Е. А. Макарова, К. В. Суржин, С. Б. Елизаров, С. С. Морозов // Вестник ВНИИЖТ. — 2017. — Том 76. — № 1. — С. 38–44.
7. Кочнева, Д. И. Методика прогнозирования транспортного спроса в пунктах зарождения пассажиропотока на градуированной транспортной сети / Д. И. Кочнева, Д. А. Брусанин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2014. — № 4(24). — С. 50–58.
8. Алпысова, В. А. Моделирование и прогнозирование пассажиропотока высокоскоростной магистрали на примере поездов «Сапсан» направления Санкт-Петербург / В. А. Алпысова, Н. С. Бушуев, Д. О. Миненко // Транспорт Урала. — 2014. — № 2 (41). — С. 50–53.
9. Макарова, Е. А. Прогнозирование пассажиропотоков в дальнем сообщении на инфраструктуре ОАО «РЖД» по регионам Российской Федерации / Е. А. Макарова, К. В. Суржин, С. Б. Елизаров, С. С. Морозов // Транспорт: наука, техника, управление: науч. информ. сб. — 2017. — № 2. — С. 34–39.
10. Макарова, Е. А. Оценка научных результатов по прогнозированию региональных пассажирских транспортных потоков / Е. А. Макарова, К. В. Суржин, С. Б. Елизаров, С. С. Морозов // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». — 2017. — № 1. С. 23–35.
11. Lv, Y. Traffic Flow Prediction with Big Data: A Deep Learning Approach / Lv, Y., Duan, Y., Kang, W., Li, Z., Wang, F. // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2015. — Vol. 16, Issue 2. — P. 865–873.
12. Song, X. A Match-Then-Predict Method for Daily Traffic Flow Forecasting Based on Group Method of Data Handling / Song, X., Li, W., Ma, D., Wang, D., Qu, L., Wang, Y. // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. — 2018. — Vol. 33, Issue 11. — P. 982–998.
13. Lebedeva, O. A. Prediction of traffic flows by applying the statistical method / O. A. Lebedeva, J. O. Poltavskaya // Journal of Physics: Conference Series. — 2020.
14. Вакуленко, С. П. Прогнозирование пассажиропотоков — важнейший инструмент эффективной организации пассажирских перевозок в пригородно-го-

- родской зоне крупного транспортного узла / С. П. Вакуленко, Е. Б. Куликова, О. Н. Мадяр // Наука и техника транспорта. — 2019. — № 1. — С. 8–15.
15. Куликова, Е. Б. Многофакторная оценка возможности назначения остановки пассажирского поезда дальнего следования в пригородных зонах крупных железнодорожных узлов / Е. Б. Куликова, О. Н. Мадяр // Наука и техника транспорта. — 2018. — № 4. — С. 51–56.
16. Hu, B. Statistical analysis and predictability of inter-urban highway traffic flows: a case study in Heilongjiang Province, China / Hu, B., Ma, Y., Pei, Y., Gao, W. // Transportmetrica A: Transport Science. — 2020. — Vol. 16, Issue 3. — P. 1062–1078.
17. Liu, Y. How urban land use influences commuting flows in Wuhan, Central China: A mobile phone signaling data perspective / Liu, Y., Fang, F., Jing, Y. // Sustainable Cities and Society. — 2020. — Vol. 53.
18. Fischer, S. M. A hybrid gravity and route choice model to assess vector traffic in large-scale road networks / Fischer, S. M., Beck, M., Herborg, L.-M., Lewis, M. A. // Royal Society Open Science. — 2020. — Vol. 7, Issue 5.
19. Балашов, В. В. Модель оценки спроса на пассажирские авиаперевозки, оплачиваемые пассажирами из собственных средств / В. В. Балашов, А. В. Смирнов А. В. // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. — 2006. — № 104. — С. 24–31.
20. ГОСТ Р 54732–2011/ISO/TS10004:2010 Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей. Руководящие указания по мониторингу и измерению.
21. Кулачинская, А. Ю. Информационные технологии в городском пассажирском транспорте как инструмент повышения качества услуг / А. Ю. Кулачинская // Инновационные кластеры цифровой экономики: драйверы развития. — 2018. — С. 405–411.
22. Кузьмин, А. М. Модель Кано / А. М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. — 2007. — № 3. — С. 33.
23. Семакина, Г. А. Взаимоотношения с потребителями — основа конкурентоспособности предприятий сферы сервиса / Г. А. Семакина // Бизнес. Образование. Право. — 2015. — № 2(31). — С. 115–119.
24. Вакуленко, С. П. Тактовые графики движения поездов на участках с интенсивным пассажирским движением на примере московского железнодорожного узла / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, А. В. Колин // Транспорт: наука, техника, управление: науч. информ. сб. — 2020. — № 9. — С. 3–7.
25. Роменский, Д. Ю. Обоснование величины потребного интервала между транспортными средствами в пригородно-городских пассажирских перевозках на примере работы железнодорожных диаметров / Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин // Вестник УрГУПС. — 2020. — № 3 (47). — С. 81–88.

Радиоцентрализация с распределенными вычислительными ресурсами и развитыми функциями самодиагностирования



Д. В. Ефранов,
д-р техн. наук, доцент,
заместитель ген. дирек-
тора по научно-исследова-
тельской работе ООО НТЦ
«Комплексные системы
мониторинга», профессор
Высшей школы транспорта
Института машинострое-
ния, материалов и тран-
спорта Санкт-Петербург-
ского политехнического
университета Петра Ве-
ликого, профессор кафедры
«Автоматика, телемеха-
ника и связь на железно-
дорожном транспорте»
Российского университета
транспорта



Г. В. Осадчий,
зам. генерального дирек-
тора — главный инженер
ООО НТЦ «Комплексные
системы мониторинга»,
старший преподаватель
кафедры «Автоматика
и телемеханика
на железных дорогах»
Петербургского государ-
ственного университета
путей сообщения
Императора Александра I

В статье описаны способы реализации системы управления с централизованным и с децентрализованным размещением оборудования, рассмотрены новые виды централизации управления движением на железных дорогах: радиоцентрализация и виртуальная централизация стрелок и сигналов. Отдельное внимание уделено вопросам реализации функций самодиагностирования и мониторинга объектов напольной автоматизации.

В целях автоматизации управления движением поездов, повышения быстродействия при реализации перевозок, а также обеспечения требуемого уровня безопасности перевозочного процесса линии железных дорог оборудуются техническими средствами сигнализации, централизации и блокировки, а тяговые подвижные единицы снабжаются специализированными бортовыми средствами управления [1, 2]. Существует большое разнообразие систем управления движением поездов как на перегонах, так и на станциях — от систем малого радиуса действия до систем с широким охватом полигона управления [3, 4].

Перегоны при малой интенсивности движения поездов оборудуются полуавтоматической системой блокировки, где концепция безопасности движения основана на наличии «одного поезда на перегоне» в любой момент времени. При высокой интенсивности движения перегоны оборудуются системами автоматической блокировки с разбиением перегона на блок-участки, въезд на которые ограждается светофорами. Автоматическая блокировка может быть реализована с различной значностью, наиболее распространены трехзначная и четырехзначная блокировки [3].

На станциях для автоматизации управления движением устанавливаются устройства и системы централизации стрелок и сигналов. В настоящее время

повсеместно распространены системы электрической централизации, при которых все объекты, расположенные у железнодорожных путей (стрелочные электроприводы, светофоры, объекты переездной автоматизации и пр.), а также частично совмещенные с ними (рельсовые цепи), посредством кабельной сети соединяются с оборудованием управления постов централизации [5]. Широко применяются именно централизованные системы управления, в которых все технические средства управления размещаются на одном посту. Известны и децентрализованные реализации, при которых объекты управления располагаются в непосредственной близости к напольным объектам сигнализации, централизации и блокировки [6].

Эксплуатация технических средств автоматизации на железных дорогах подразумевает проведение процедур по их техническому обслуживанию. С этой целью все объекты автоматизации железных дорог разбиваются на участки обслуживания и закрепляются за конкретными дистанциями сигнализации, централизации и блокировки, участками и цехами внутри них [7]. Для автоматизации обслуживания предусматриваются системы диспетчерского контроля, диагностирования и мониторинга [8].

Принципы регулирования движения поездов известны более века [9], а основные системы управления были разработаны во второй половине XX века и реализованы на релейной основе, они

не снабжены развитыми встроенными средствами самодиагностирования и мониторинга [10]. На крупных станциях для реализации систем управления требуются десятки тысяч габаритных реле (от 0,5–1 дм³). Для уменьшения количества оборудования в системах управления используется минимально необходимый для безопасного управления набор элементов. Микропроцессорные централизации, внедряемые с 1978 года, имеют уровень самодиагностирования, однако охватывают объекты самой системы, а не напольного технологического оборудования. Следует подчеркнуть, что свыше $\frac{3}{4}$ всех отказов в области железнодорожной автоматики приходится именно на напольное оборудование (рельсовые цепи, стрелочные электроприводы, устройства переездной автоматизации, светофоры и т. д.) [11]. Можно сказать так: «мозг» системы управления достаточно развит с точки зрения надежности и безопасности (не с точки зрения функционала!), а вот «рецепторы» в виде напольного оборудования все еще чувствительны к отказам и являются наиболее уязвимыми элементами систем управления движением поездов.

С конца XX века во всем мире начали внедряться внешние средства технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики. Они позволили автоматизировать часть измерительных работ и дать техническому персоналу оперативную информацию о состоянии объектов управления. Однако подобные системы несовершенны, охватывают не все объекты железнодорожной автоматики, а только часть их, измерения проводят косвенно по постовым объектам [8, 12–14]. Назрела необходимость в реализации новых систем управления движением поездов, имеющих развитое диагностическое обеспечение на каждом уровне их реализации и использующих эту информацию не как дополнительную или вспомогательную, а как информацию, непосредственно влияющую на процесс управления движением [15].

В настоящей работе читателю предлагается ознакомиться с архитектурой системы управления движением поездов с развитым диагностическим обеспечением на каждом уровне реализации, а также с особыми вариантами ее практического воплощения.

Архитектура системы управления

Система управления движением, так же как и в известных технических решениях, реализуется для отдельных



Пульт-табло релейной системы управления движением поездов (1964 г. внедрения, ст. Горы Октябрьской ж.д.).

станций и прилегающих к ним перегонов. Возможен, однако, и вариант с реализацией централизованных зон управления движением в местах скопления железнодорожных стрелок. Система вписывается на микросреду и микропроцессорной основе (возможен вариант с использованием программируемых логических интегральных схем, программируемых логических контроллеров промышленной автоматизации и т. д. [16]).

Ключевыми отличиями от известных систем управления движением поездов [3, 5, 6, 10] являются: наличие развитых средств технического диагностирования и мониторинга периферийных объектов автоматизации, использование диагностических цепей с интегрированными средствами мониторинга на каждом уровне иерархии. Структура системы управления приведена на рис. 1. Опишем систему, анализируя ее «снизу вверх» — от периферийных объектов к центру управления движением.

Для станции и прилегающих перегонов определяется множество объектных контроллеров управления периферийными объектами и их мониторинга, куда входят:

- контроллер управления светофором (КСВ);
- контроллер управления стрелочным электроприводом (КТ);
- оборудование датчиков контроля положения подвижных единиц (ОДКП).

Указаны лишь основные контроллеры. При наличии иных управляемых объектов (например переездной автоматизации или пешеходных дорожек) также требуются контроллеры управления.

Эти устройства могут располагаться централизованно — на едином посту, установленном в одной из зон станции на куда более значительном удалении от самих объектов управления (например, при реализации одного поста управления для двух и более станций), а также в непосредственной близости к объектам управления в специализированных путевых коробках или ящиках.

В случае централизованного расположения объектных контроллеров их питание так же централизовано, как и централизованы зависимости между объектами управления. Питание может осуществляться от электросетей традиционным способом либо подаваться от накопителей энергии, получающих энергию от возобновляемых источников (в том числе от солнечных или ветровых электростанций, расположенных вблизи) [17]. При этом объекты железнодорожной автоматики целесообразно классифицировать на группы потребителей энергии, усовершенствовать и выработать оптимальные способы их реализации, пересмотрев состав традиционно используемых технических средств управления с упором на их энергопотребление [18].

При децентрализованном размещении объектных контроллеров возможны различные случаи реализации питания и зависимостей (рис. 2). С точки зрения энергоснабжения это может быть традиционная кабельная сеть, отдельные точки подключения к сети на объекте управления, использование альтернативных источников. Возможно смешанное питание. С точки зрения реализации зависимостей это может быть традиционная

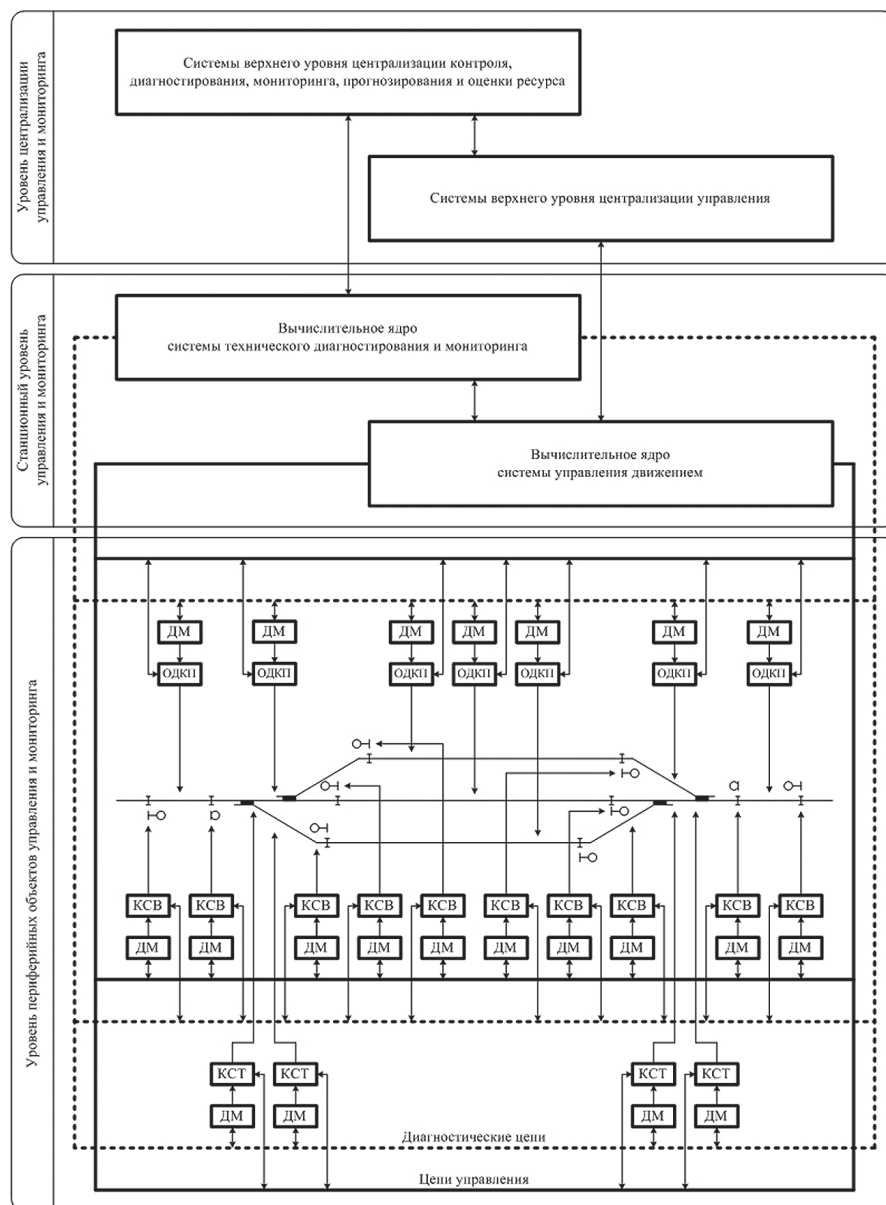


Рис. 1. Архитектура системы управления

реализация с помощью кабельной сети (например, медно-жильный или оптоволоконный кабель), передача управляющей и диагностической информации по киберзащищенному радиоканалу, промежуточный вариант с передачей управляющей информации по кабелю, а диагностической — по радиоканалу. Таким образом, зависимости опять же могут проверяться и выполняться централизованно в вычислительном ядре, расположенном на посту централизации, данные об объектах могут передаваться различными способами, а могут проверяться на самих взаимосвязанных объектах в зоне централизации. Отсюда вытекает, что к уже известным способам реализации систем управления движением поездов (электрической централизации и ее «предшественницам») можно добавить еще два — **радиоцентрализацию**

и **виртуальную централизацию** групп объектов.

Последние два способа реализации системы управления движением поездов в будущем при развитии технологий обеспечения надежности и безопасности управления позволяют отказаться от «местного» управления из постов централизации и перейти к управлению движением прямо из кабины машиниста при реализации виртуальных зависимостей в процессе движения. Этот вопрос требует детальной проработки.

Уровень диагностики и мониторинга в системе управления

Вернемся к периферийным средствам автоматизации — объектным контроллерам напольной автоматизации. Они снабжаются легкоъемными диагностиче-

скими модулями (ДМ), каждый из которых позволяет получать полное множество диагностических параметров. Диагностические данные получают непосредственно от каждого конкретного объекта управления, а не от группы объектов, как это сделано в современных настраиваемых системах мониторинга [8]. Возможно дооснащение объектов выносными датчиками физических величин, подключаемыми безопасно к входам диагностических модулей (при децентрализованном размещении объектных контроллеров).

Для максимально эффективного процесса мониторинга напольных объектов автоматизации требуется получить следующие параметры.

Для объектного контроллера стрелки необходимо измерение межфазных напряжений, фазных токов, сопротивления изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства).

Для контроллера светофора — напряжения питания ламп огней светофоров (питания светодиодных ламп) и токи в цепях питания, сопротивление изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства). Если контроллер устанавливается в светофорном ящике или в головке светофора, то для мониторинга геометрического положения мачты (при ее наличии) диагностический прибор снабжается датчиком контроля угла отклонения — инклинометром [19].

Состав данных от оборудования датчиков контроля положения подвижных единиц определяется типом этих датчиков. Например, при использовании современных рельсовых цепей тональной частоты управление и контроль осуществляются с использованием генератора, фильтра, приемника и реле [8]. Функция рельсовой цепи — именно контроль положения подвижного состава, а не управление, однако управление в данном случае осуществляется с генератора путем подачи тока определенной частоты и приема его путевым приемником с приемной стороны. Таким образом, для достоверного диагностирования потребуются токи и напряжения на выходах генераторов, путевых приемников, фильтров и реле, а также сопротивление изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства).

Дополнительно для каждого объекта диагностирования нужен анализ таких параметров, как вибрационные воздействия на объект диагностирования и климатические условия эксплуатации.

С этой целью может применяться выносное устройство на основе акселерометров или встроенный в модуль диагностирования датчик. Каждый измерительный модуль должен быть снабжен датчиком температуры (либо на объекте мониторинга устанавливается метеостанция). Каждый контроллер также должен передавать в систему мониторинга данные самодиагностирования (как компонентов, так и средств энергоснабжения).

Встраиваемые диагностические модули могут служить и устройством первичной обработки данных о состоянии объектов смежных хозяйств. Важнейшей задачей является контроль механических и геометрических параметров рельсового пути и непосредственно железнодорожных стрелок. Для их мониторинга используются выносные датчики, располагаемые на внутренних элементах устройств и на внешних объектах с проводным или беспроводным интерфейсом (примером является известное решение по мониторингу геометрии стрелочного перевода [20]).

Сам измерительный модуль должен быть средством получения множества диагностических параметров от одной группы взаимосвязанных объектов, часть из которых обрабатывается непосредственно «на месте», а часть транслируется на сервер мониторинга.

В архитектуре, представленной на *рис. 1*, диагностическая информация передается по выделенным цепям в выделенное вычислительное ядро системы технического диагностирования и мониторинга, располагаемое в непосредственной близости к ядру системы управления движением. Диагностические цепи, тем не менее, могут быть и совмещенными с цепями управления в случае соответствующего доказательства безопасности. Однако первый вариант будет приоритетным.

Диагностические данные проходят предобработку, восстановление и фильтрацию на уровне диагностических модулей и передаются в вычислительное ядро системы мониторинга, где при использовании искусственного интеллекта производится их комплексный анализ: пороговая обработка (по сравнению с нормами), трендовая обработка (по прогнозируемым изменениям значений) и комплексный анализ с постановкой диагноза, прогноза, оценкой остаточного ресурса и «жизненно важных показателей» (например живучести) [21, 22]. Кроме того, формируется дорожная карта обслужи-



Вологодская горловина ст. Мга Октябрьской ж.д.

вания конкретного объекта железнодорожной автоматики.

Результаты мониторинга выводятся на автоматизированные рабочие места, расположенные в непосредственной близости к пульту или панели управления. Данные мониторинга сортируются, укрупняются и транслируются на верхние уровни управления и мониторинга в единые центры управления движением. Доступ к результатам мониторинга реализуется и удаленно через браузер (технология «тонкий клиент»), и через специализированные защищенные мобильные приложения мониторинга (по типу банковских приложений) для авторизованных пользователей системы.

Представленный подход к организации диагностического уровня в системе управления движением поездов позволяет существенно усовершенствовать известные технологии мониторинга. Строго говоря, современные системы мониторинга устройств железнодорожной автоматики в Российской Федерации являются устройствами накопления и простейшей классификации диагностических данных, но никак не системами диагностирования и тем более мониторинга [8]. Можно сказать, что это лишь системы контроля по пути к системам диагностирования и мониторинга с требуемой полнотой и глубиной фиксации событий и высоким уровнем достоверности постановки диагноза и прогноза, требующие существенной модернизации и использования современных средств обработки диагностической информации.

А в представленной архитектуре с выделением ядра мониторинга, размещением его на станции (на посту централизации или в отдельном контейнере) и получением более полного множества диагностических параметров по каждому из объектов напольной автоматизации создается возможность реализовать более развитые методики мониторинга.

«Зеленая» централизация

Одной из перспективных систем централизации управления является «озеленённая» система с распределенными вычислительными ресурсами, дающая минимальный углеродный след [17, 18]. Ее укрупненная архитектура представлена на *рис. 3* и воплощает концепцию Green Interlocking. Такая система строится на основе использования современных информационных технологий.

Архитектура системы включает в себя несколько уровней иерархии: низовой уровень сопряжения с напольным технологическим оборудованием, образованный функциональными модулями (ФМ) и беспроводной сетью обработки данных на их основе, уровень беспроводной связи с объектами оперативного управления и сам уровень оперативного управления. Функциональные модули подключаются непосредственно к объектам управления, содержат в себе микроконтроллер управления и встроенного мониторинга, а также передатчик сигнала. Функциональные модули, таким образом, распределены по станциям и перегонам и образуют распределенную вычислительную сеть

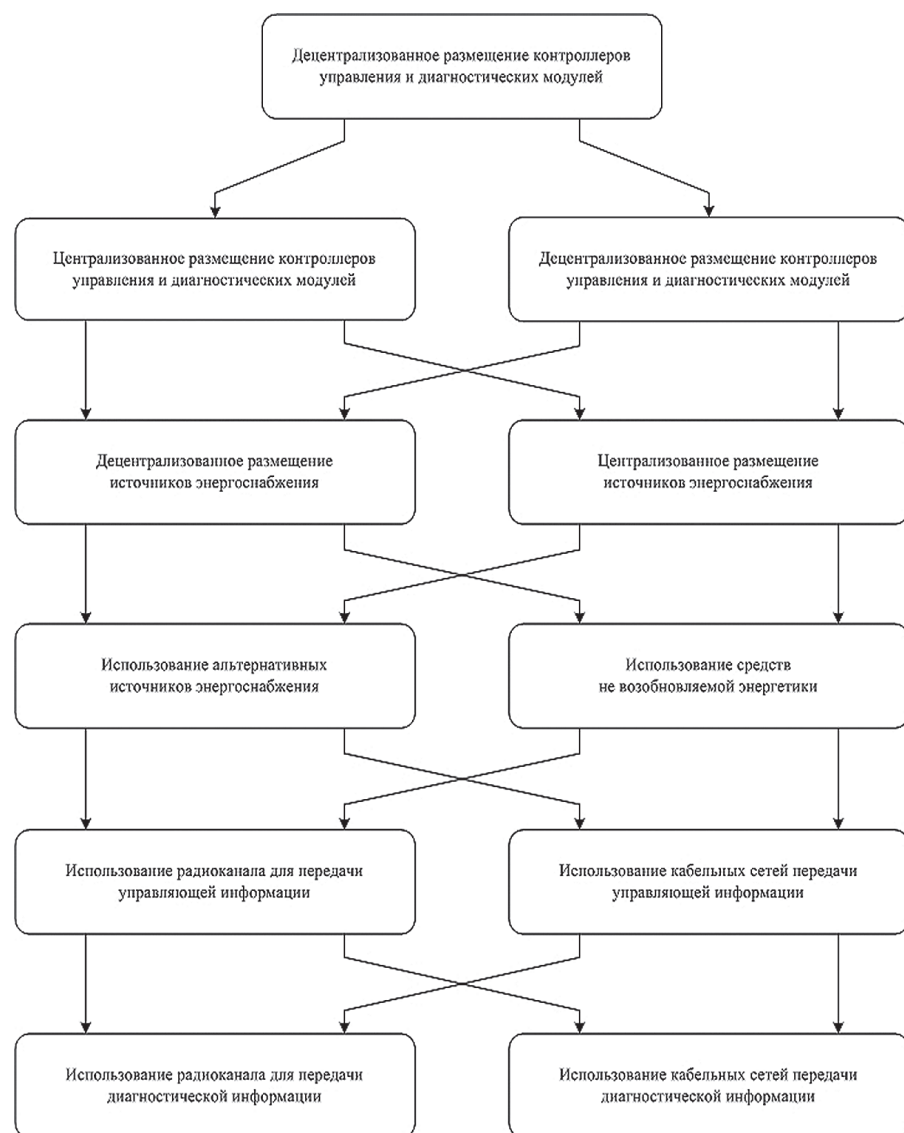


Рис. 2. Варианты реализации системы управления

на основе технологии fog computing. Все зависимости проверяются именно здесь, на нижнем исполнительном уровне. Доступ к датчикам осуществляется по киберзащищенному беспроводному каналу, сообщения в котором используют разработанный криптографический протокол на основе генетического алгоритма в компиляторе для обеспечения максимальной энергоэффективности, со специального автоматизированного рабочего места (АРМа) оператором управления движением на объекте (аналог дежурного по станции). В перспективе функции оператора автоматизируются и используются автодиспетчером для организации рациональных режимов управления движением.

В процессе реализации концепции Green Interlocking должен происходить постепенный переход к уменьшению количества напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики. На первом этапе сохраняются традиционные средства в виде рельсовых цепей, светофоров, стрелок, дроссель-трансформаторов и т. д. На втором этапе производится отказ от светофорной сигнализации за счет передачи требуемых показателей скорости на бортовые устройства локомотивов. На третьем этапе исключаются рельсовые цепи и минимизируется число дроссель-трансформаторов, подвижные единицы позиционируются с использованием радиоканала, а целостность рельсового пути контролируется на основе мониторинговых оптоволоконных систем. Таким образом, конечный этап связан лишь с сохранением устройств автоматического управления железнодорожными стрелками (естественно, при изменении типа используемых двигателей и номиналов токов и напряжений их функционирования) и формированием собственного защищенного IIoT для управления движением поездов. От применения переменного тока для управления с последующим преобразованием его в постоянный ток постепенно переходят к использованию только постоянного тока.

Предложенная в этой работе архитектура системы управления движением поездов может быть реализована на любой современной элементной базе. Каждый из объектных контроллеров, снабженный легкосъемными диагностическими модулями, позволяет не только управлять конкретным объектом железнодорожной автоматики, но и получать

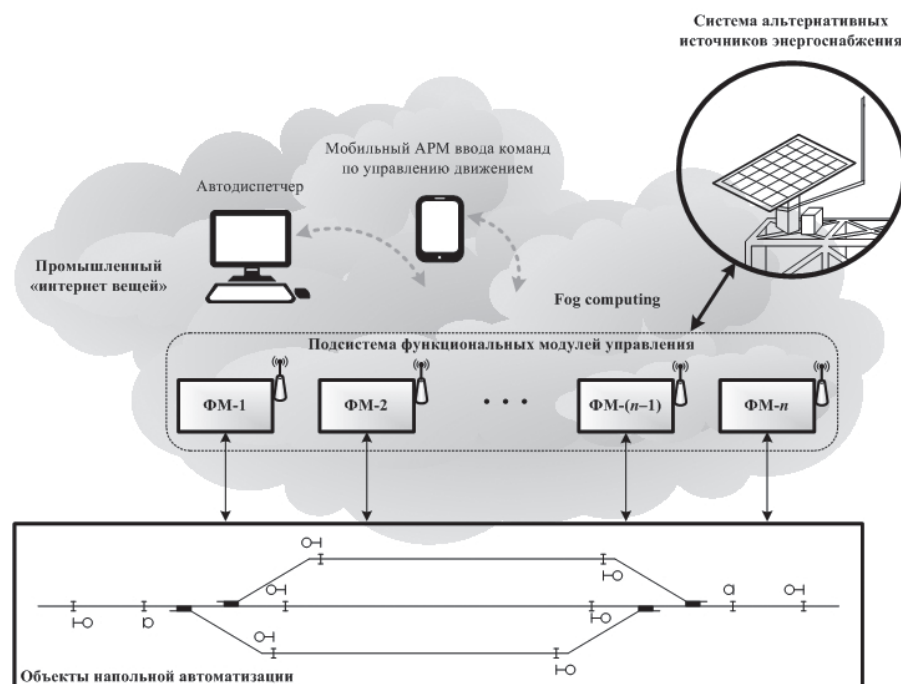


Рис. 3. Архитектура Green Interlocking с распределенными вычислительными ресурсами

широкий спектр информации о нем, что открывает пути к реализации функции управления, а также достоверного и глубокого контроля, диагностирования, мониторинга, прогнозирования, оценки остаточного ресурса объектов и выдачи дорожных карт для их обслуживания и поддержания на высоком уровне отказоустойчивости. Предлагаемая архитектура позволяет в процессе разработки системы управления наделять ее техническим иммунитетом и способностью противостоять внешним дестабилизирующим факторам.

Положительный экономический эффект от применения системы с описанной архитектурой достигается за счет получения цифровой картины состояния объектов управления, что позволяет проводить обслуживание по фактическому состоянию. При этом не требуется большой штат технического персонала на станциях. Одна бригада способна обслуживать сразу десятки систем управления с одного центрального поста. Данные мониторинга могут выводиться в защищенные мобильные приложения, что дает обслуживающему персоналу возможность реагировать на развитие неисправностей вовремя и парировать их, проводя техническое обслуживание. Подобный подход может сократить стоимость эксплуатации системы железнодорожной автоматики и телемеханики в разы по сравнению с обслуживанием по планово-предупредительному методу.

Высокоиммунные системы управления движением — то, что необходимо для создания надежного и безопасного комплекса управления движением поездов. Они являются базовыми средствами управления, которые могут эффективно использоваться с высокоуровневыми системами автоматического диспетчерского управления. При совершенствовании технологии мониторинга, дооснащении датчиками объектов железнодорожной инфраструктуры (контактной сети, железнодорожного пути, мостов, вокзалов и т. д.) можно получать цифровые копии станций, выводить данные оперативному персоналу, автоматически анализировать риски в нарушении безопасности в движении и при необходимости вносить корректировки в процесс движения. ■

Литература

1. Hall C. Modern Signalling: 5th edition. — UK, Shepperton: Ian Allan Ltd, 2016. — 144 p.

2. Сапожников, В. В., Сапожников Вл. В., Христов Х. А. и др. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / под ред. Вл. В. Сапожникова. — М.: Транспорт, 1995. — 272 с.
3. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3ed Edition. — Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020. — 552 p.
4. Кокурин, И. М. Интеллектуальная система управления движением поездов на основе автоматизации диспетчерского регулирования и центрального автоведения // Автоматика на транспорте. — 2018. — Том 4. — № 3. — С. 305–314.
5. Микропроцессорные системы централизации: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов, С. А. Куренков, А. А. Лыков, О. А. Наседкин, А. Б. Никитин, А. А. Прокофьев, М. С. Трясов; под ред. Вл. В. Сапожникова. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 398 с.
6. Власенко, С. В., Лунев С. А., Соколов М. М. Централизованная и децентрализованная архитектура постов управления станциями // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 3. — С. 22–25.
7. Сапожников, В. В., Борисенко Л. И., Прокофьев А. А. и др. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики. — М.: Маршрут, 2003. — 336 с.
8. Ефанов, Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. — 171 с.
9. Лупал, Н. В. Устройства сигнализации, централизации и блокировки на железных дорогах Российской Империи / под ред. В. В. Сапожникова, Вл. В. Сапожникова, Д. В. Ефанова. — СПб.: Наука, 2020. — 159 с.
10. Кононов, В. А., Лыков А. А., Никитин А. Б. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. — 348 с.
11. Сапожников, В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Шаманов В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учеб. пособие // Под ред. Вл. В. Сапожникова. — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. — 318 с.
12. Heidmann L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance // Signal+Draht, 2018, issue 9, pp. 70–75.
13. Fritz C. Intelligent Point Machines // Signal+Draht, 2018, (110), issue 12, pp. 12–16.
14. Brandt M. Sidis WS Diagnostic Center // Signal+Draht, 2020 (112), issue 4, pp. 13–16.
15. Ефанов, Д. В., Осадчий Г. В. Эволюция систем управления на железнодорожном транспорте // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 3. — С. 43–47.
16. Dobiáš R., Kubátová H. FPGA Based Design of Railway's Interlocking Equipment // Proceedings of EUROMICRO Symposium on Digital System Design, 2004, pp. 467–473.
17. Ефанов, Д. В., Осадчий Г. В. «Зеленые» технологии на железнодорожном транспорте // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 12. — С. 13–16. — DOI: 10.34649/AT.2019.12.12.003.
18. Efanow D. W., Osadtschiy G. W. Energy Efficiency Categories for Safety Installations // Signal+Draht, 2020 (112), issue 4, pp. 36–42.
19. Belyi A., Osadchy G., Dolinskiy K. Practical Recommendations for Controlling of Angular Displacements of High-Rise and Large Span Elements of Civil Structures // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 176–183, doi: 10.1109/EWDTS.2018.8524743.
20. Kassa E., Skavhaug A., Kaynia A. M. Monitoring of Switches & Crossing (Tornouts) and Tracks. — Decision Support Tool for Rail Infrastructure, EU Project No. 636285., 41 p.
21. Sokolov S. A., Plotnikov D. G., Grachev A. A., Lebedev V. A. Evaluation of Loads Applied on Engineering Structures Based on Structural Health Monitoring // International Review of Mechanical Engineering (IREME), 2020, Vol. 14, No. 2, pp. 146–150.
22. Ефанов, Д. В., Мясин В. Н., Осадчий Г. В. и др. Выбор способа фильтрации диагностических данных в системах непрерывного мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Транспорт Российской Федерации. — 2020. — № 2. — С. 35–40.

Автоматизация учета поездок пассажиров на городском общественном транспорте



А. В. Постоли́т,
д-р техн. наук, |
профессор, директор
компании
Smart Information
Systems

В статье рассматривается программное обеспечение на основе компьютерного зрения и искусственного интеллекта, которое обеспечивает автоматизацию формирования данных для построения матрицы корреспонденции поездок пассажиров.

На рынке программно-технических средств есть масса решений, обеспечивающих автоматизированный сбор данных о пассажиропотоках, но ни одна из систем не дает информации о точках входа-выхода каждого пассажира. Матрица корреспонденции — фундаментальная характеристика транспортной сети, а формирование достоверной матрицы корреспонденции — важнейшая задача при организации пассажирских перевозок. Матрица корреспонденции — это базовая таблица, описывающая характер передвижения населения по городу. Она показывает, сколько жителей перемещается из одного района города в другой, и является базой, на которой строится маршрутная сеть, определяется необходимое количество подвижного состава, формируется расписание движения [1].

В современных городах и крупных мегаполисах возводятся объекты жилой и промышленной инфраструктуры, переносятся предприятия, меняются места приложения труда и проживания, что приводит к динамичному изменению объемов и направлений транспортных корреспонденций. В этих условиях построение истинных матриц корреспонденций требует абсолютно достоверной информации о реальных перемещениях пассажиров.

Программно-технические средства обеспечивают автоматизированный сбор данных о пассажиропотоках. В большинстве случаев они основаны на инфракрасных датчиках [2] и видеокамерах в проемах дверей входа-выхода в транспортное средство [3]. Однако ни одна из существующих систем автоматизации сбора данных о пассажиропотоках не дает сведений о точках входа-выхода каждого пассажира. А именно на этих данных строятся матрицы корреспонденций поездок пассажиров. Из-за отсутствия

таких данных матрицы корреспонденций по-прежнему формируют на основе выборочных обследований, опросов населения, на статистических данных о количестве жителей в тех или иных районах города и работников на предприятиях. Эти данные не отражают реальной картины ежедневной миграции городского населения. Соответственно, принимаемые на основе этой информации решения далеки от оптимальности. Все существующие методы автоматизации учета пассажиропотоков не позволяют получить данные для построения матрицы корреспонденции поездок. Исходя из вышесказанного, автоматизация получения данных для формирования полной и достоверной матрицы корреспонденции передвижения населения на общественном наземном пассажирском транспорте является актуальной задачей.

Описание технологии

При решении задачи оптимизации маршрутной сети общественного транспорта следует четко разделять два понятия: пассажиропоток и матрица корреспонденции перемещения пассажиров. Пассажиропоток в большей степени характеризует общую статистику перемещения пассажиров (их количество в разное время суток, дни недели, время года и т. п.) с привязкой к остановке, маршруту, транспортному предприятию, городу. Матрица корреспонденции — количественная характеристика, которая определяет объем потока пассажиров между каждой парой «точек» (рис. 1). Под «точками» здесь понимаются либо конкретные остановки общественного транспорта, либо условные зоны, которые были получены путем объединения остановочных пунктов в некоторые области (например, районы города).

Матрица корреспонденции — фундаментальная характеристика транспортной

сети, а формирование истинной матрицы корреспонденции — важная задача при организации пассажирских перевозок. На основе матрицы корреспонденции строится маршрутная сеть общественного транспорта и выполняется ее оптимизация. В свою очередь, грамотно построенная маршрутная сеть позволяет определить необходимое количество подвижного состава на маршрутах, усовершенствовать расписание движения, снизить материальные затраты на организацию перевозок и, в конечном итоге, с минимальными затратами удовлетворить потребность населения в транспортных услугах.

Автоматизация учета пассажиропотоков реализована в виде множества различных технических решений: контактные датчики на ступеньках транспортного средства, инфракрасные датчики или видеокамеры в районе входной двери (рис. 2).

Однако статистические данные о пассажиропотоках на маршрутах не дают возможности построить матрицу корреспонденции поездок пассажиров. Это всего лишь общие данные о входящих и выходящих пассажирах.

На текущий момент автоматизация сбора данных для формирования матрицы корреспонденции пассажиров фактически не реализована. Эта задача решается с большой погрешностью и с большими затратами на специально организованные натурные обследования. Натурные методы обследования зачастую связаны со значительными проблемами организационного, финансового и правового характера, поэтому их применение иногда становится невозможным, особенно в крупных городах, где пассажиропотоки велики. На некоторых видах транспорта (железнодорожный, воздушный, водный) задача формирования матрицы корреспонденции может быть решена на основе анализа купленных билетов, где указаны пункты отправления и прибытия.

Натурные обследования (талонные, анкетирование населения, опрос пассажиров счетчиками поездок и т. п.) — классический метод получения данных для построения матрицы корреспонденции, также используются методы математического моделирования [4]. Недостатки натурных обследований: значительная трудоемкость сбора и обработки данных, низкая достоверность данных в силу человеческого фактора, высокая стоимость обследования, отсутствие статистики повторяемости (невозможно выделить погодные условия, время года и другие

особенности текущего дня). Высокая стоимость и трудоемкость обследования приводят к тому, что такие мероприятия проводят раз в 15–20 лет, что не позволяет оперативно корректировать и оптимизировать управленческие решения.

Формирование приблизительной матрицы корреспонденции на метрополитене осуществляется с использованием мобильных телефонов пассажиров [5]. Операторы сотовой связи отслеживают входы и выходы пассажиров из метро, определяя моменты, когда мобильный абонент переключается на базовую станцию, размещенную в метро (входит в метро), или на базовую станцию в городе (выходит из метро). Такие анонимные данные могут служить основой для формирования матрицы корреспонденции

Район прибытия	Районы отправления				
	1	2	3.....	n	Σ
1		P_{12}	P_{13}	P_{1n}	P_1
2	P_{21}		P_{23}	P_{2n}	P_2
3	P_{31}	P_{32}		P_{3n}	P_3
...					
n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}		P_n
	1	2	3	n	



Рис. 1. Матрица корреспонденции поездок пассажиров

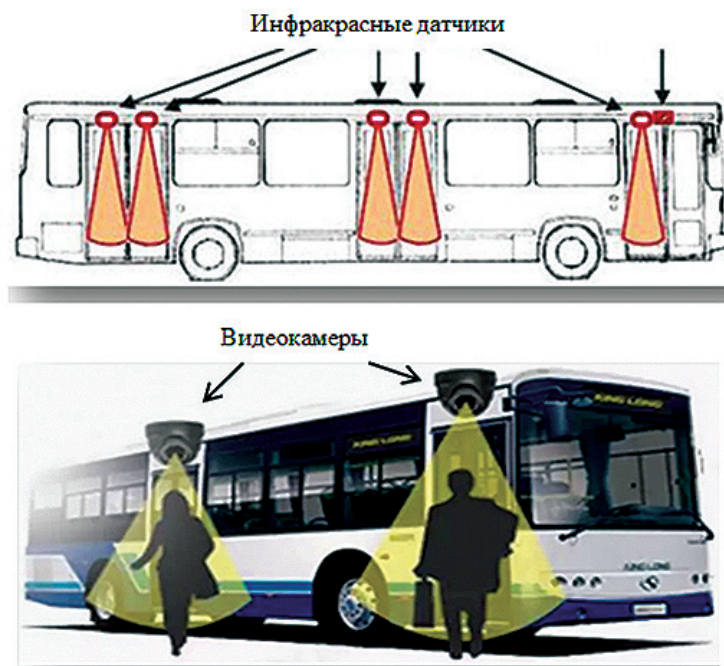


Рис. 2. Автоматизированные системы учета пассажиропотока

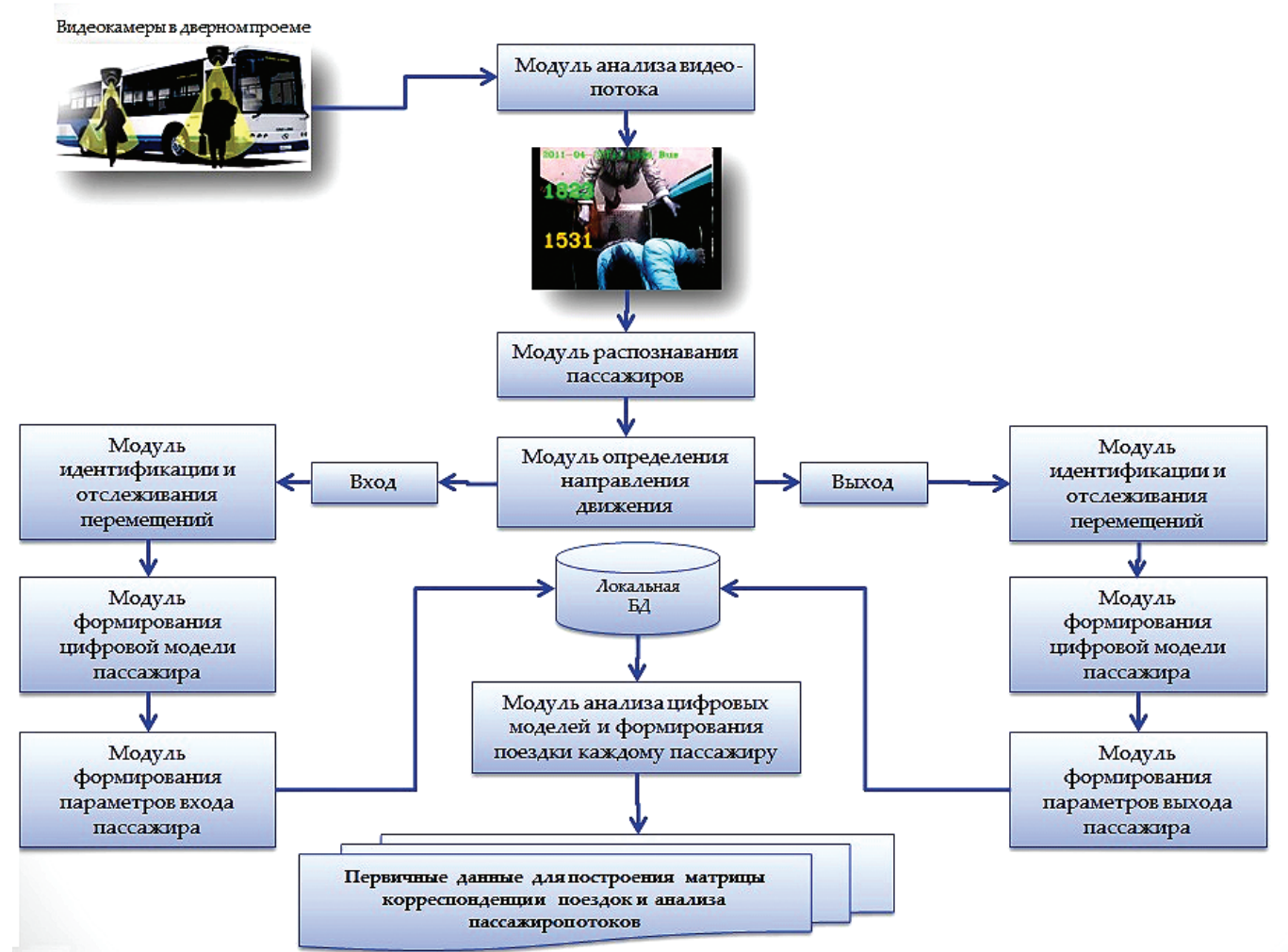


Рис. 3. Принципиальная структура системы автоматизации сбора первичных данных о поездках пассажиров на общественном транспорте на базе нейросетевых технологий

всех передвижений в городе. Для целей оптимизации маршрутной сети такая детализация представляется особенно важной.

А можно ли автоматизировать процесс учета поездок с четкой фиксацией места входа и выхода каждого пассажира? Решить задачу на базе инфракрасных датчиков практически невозможно, поскольку они не позволяют идентифицировать объект. А вот на базе видеокамер это вполне реально. В последние годы с появлением сверточных нейронных сетей (CNN, R-CNN, Mask R-CNN) произошло взрывное развитие нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения. Соответственно, появилась возможность разработки принципиально новых автоматизированных систем учета и анализа пассажиропотоков на базе этих технологий с возможностью формирования достоверной и полной матрицы корреспонденции. Разработка системы, отсутствующей на рынке программно-технических средств, и является новизной данной работы.

Принципиальная структура системы автоматизации сбора первичных данных

о поездках пассажиров на общественном транспорте, которая базируется на нейросетевых технологиях, представлена на рис. 3.

Программно-технический комплекс, приведенный на рис. 3, состоит из следующих элементов:

- видеокамера, расположенная в верхней части проема входной двери транспортного средства;
- бортовой мини-компьютер.

Этот комплекс работает следующим образом. Видеопоток в режиме реального времени поступает с видеокамеры в бортовой компьютер и обрабатывается специализированным программным обеспечением. Оно решает следующие задачи:

- распознает пассажиров, которые входят в салон транспортного средства и выходят из него (детектор пассажиров — вид сверху);
- преобразует изображение каждого входящего пассажира в уникальную цифровую модель и сохраняет ее;
- фиксирует параметры входа каждого пассажира (дата, время, остановка входа);

- преобразует изображение каждого выходящего пассажира в уникальную цифровую модель и сохраняет ее;

- фиксирует параметры выхода каждого пассажира (дата, время, остановка выхода);

- сопоставляет цифровую модель изображения выходящих пассажиров с цифровыми моделями вошедших пассажиров и формирует уникальную пару значений «вход-выход» для каждого пассажира;

- подсчитывает количество пассажиров: вошедших в салон, вышедших из салона, находящихся в салоне транспортного средства на каждом остановочном пункте.

Полученные таким образом параметры поездки каждого пассажира по завершению работы транспортного средства на маршруте передаются на серверную платформу, где на базе серверного программного обеспечения будет формироваться матрица корреспонденций поездок пассажиров и статистика по пассажиропотокам.

На первый взгляд, можно, не используя цифровые модели, просто со-

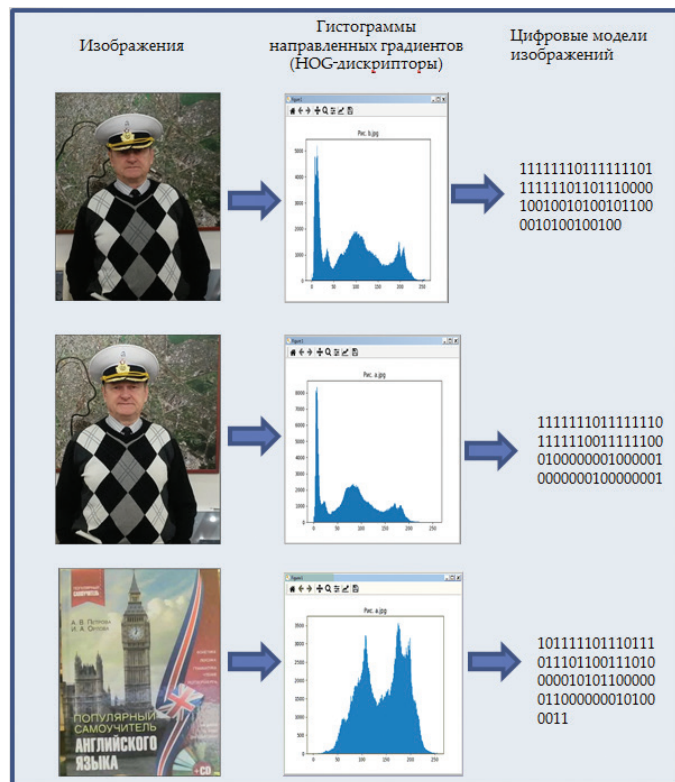


Рис. 4. Цифровые модели изображений на основе гистограммы направленных градиентов

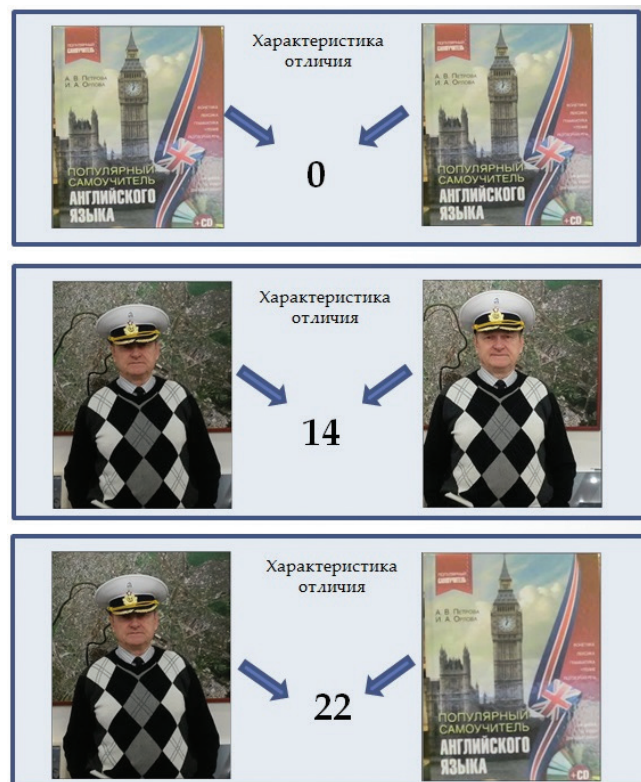


Рис. 5. Примеры сопоставления изображений на основе их цифровых моделей

поставлять снимок пассажира на входе со снимком пассажира на выходе. Однако для такого сопоставления необходима процедура нормализации изображений. Но даже после нее можно не гарантирован нужный результат: пассажир может войти прямо, а выйти боком, под каким-либо углом или даже спиной. Потребуется многократная циклическая процедура поворота и сравнения изображений, т. е. дополнительное время на обработку, что тоже не обязательно приведет к ожидаемому результату. Кроме того, полное изображение занимает большой объем памяти, что сказывается на времени обработки. Более эффективна в этом случае цифровая идентификационная модель изображения. Такие модели строятся на основе выделения на изображениях набора ключевых точек. В качестве основы для моделей используется триангуляция Делоне или диаграммы Вороного, которые применяются в системах сопоставления и морфинга лиц, а также гистограмма направленных градиентов (HOG-дескрипторы особых точек), применяемая в компьютерном зрении для распознавания объектов [6].

Компания Smart Information Systems разрабатывает технологии и программные модули для автоматизации сбора данных о поездках пассажиров на основе нейросетевых технологий и компью-

терного зрения. На рис. 4 даны примеры формирования цифровых моделей изображений, которые построены на основе гистограммы направленных градиентов. Здесь изображения приводились к одному цвету — градациям серого.

Естественно, цифровая модель занимает в памяти компьютера гораздо меньше места и дает возможность сравнивать изображения и оценивать их подобие. На рис. 5 представлены примеры сопоставления изображений на основе их цифровых моделей.

Как видно из рис. 5, для абсолютно одинаковых изображений коэффициент отличия, рассчитанный на основе цифровой модели, равен нулю. С нарастанием разности между фрагментами изображений характеристика отличий увеличивается. Во втором ряду один и тот же

человек сменил положение головы, и это изменение было зафиксировано в гистограмме. Однако характеристика отличия (14) не превысила порогового значения, и изображенные на них объекты можно отнести к идентичным. А вот в третьем ряду характеристика отличия (22) превысила пороговое значение, что говорит о разных объектах на изображениях. С использованием цифровой модели и правильно выбранного порогового значения можно оценивать сходство или различие объектов на изображениях, т. е. для рассматриваемой задачи — найти соответствие между вошедшим и вышедшим пассажирами. С еще большей точностью можно сопоставлять объекты на изображениях с использованием гистограмм не одного цвета, а группы цветов (рис. 6).

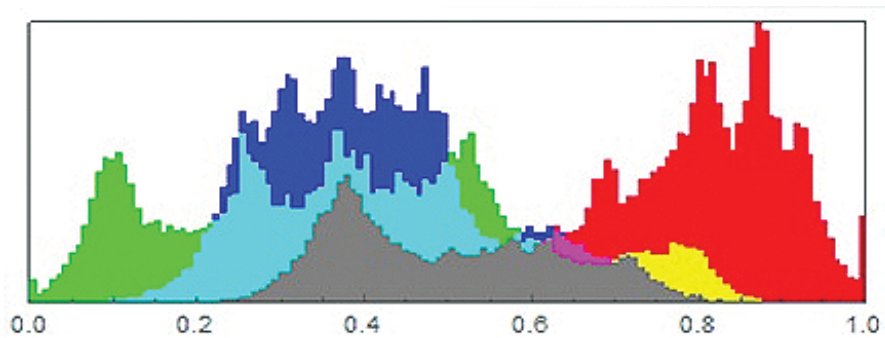


Рис. 6. Пример гистограммы цветов изображения

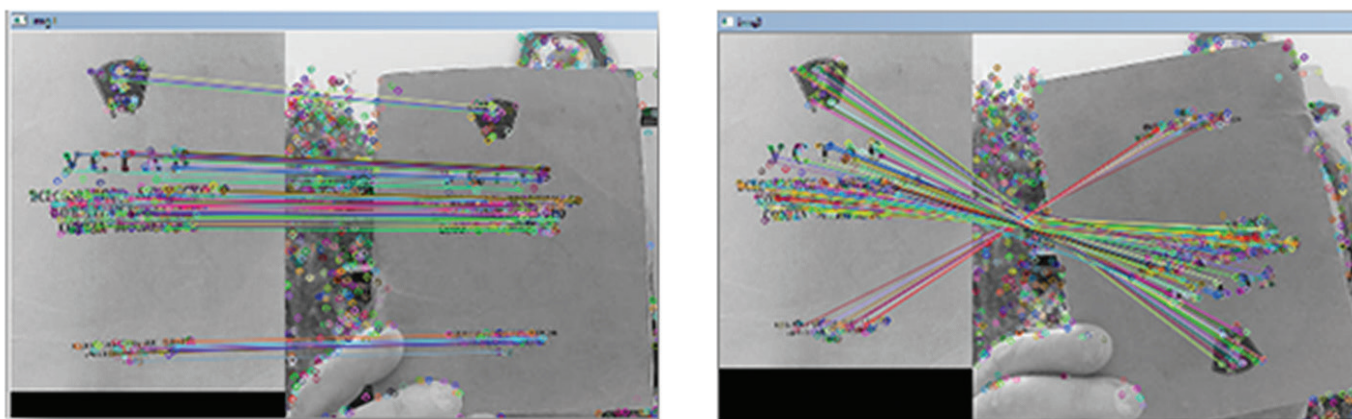


Рис. 7. Визуальное сопоставление изображений методом гомографии

Особый интерес для поиска сходства в изображениях представляют методы гомографии, при использовании которых углы поворота и наклона сравниваемых изображений не имеют принципиального значения [7]. Это особенно важно для решения рассматриваемой задачи, поскольку положение пассажира при перемещении в районе камеры над входной дверью не может быть строго фиксированным. На рис. 7 представлен пример визуального сопоставления изображений методом гомографии. Чтобы обеспечить достаточную точность распознавания пассажира на входе и выходе, потребуется применять комбинацию отмеченных выше способов формирования и сопоставления цифровых моделей.

Чтобы зафиксировать место входа-выхода пассажира на основе его изображения в видеопотоке, необходимо выполнить следующие шаги:

- распознать силуэт пассажира при его входе в салон транспортного средства;
- сегментировать силуэт, преобразовать его в цифровую модель и зафиксировать параметры входа;
- распознать силуэт пассажира при его выходе из салона транспортного средства;
- сегментировать силуэт, преобразовать его в цифровую модель и зафиксировать параметры выхода;

для вышедшего пассажира на основе сопоставления цифровых моделей найти параметры входа и сформировать поездку (остановка входа — остановка выхода).

Место (остановка) входа и выхода пассажира может быть определено с помощью бортовой спутниковой навигационной системы транспортного средства. Синхронизация первичных данных о местах входа-выхода пассажиров с остановочными пунктами осуществляется

либо на уровне транспортного средства (путем интеграции бортового программного обеспечения двух подсистем), либо на серверной части системы обработки навигационных данных (путем сопоставления времени входа-выхода пассажиров из системы учета поездок пассажиров со временем проезда остановочных пунктов, получаемых с навигационной системы).

В результате обработки видеоматериалов программное обеспечение формирует обезличенные данные о поездках пассажиров с указанием следующих параметров:

- остановочный пункт, дата и время посадки в транспортное средство;
- остановочный пункт, дата и время выхода из транспортного средства.

Эта информация записывается в бортовой журнал в виде текстового файла. Такой файл, содержащий, например, сведения о 1000 поездках пассажиров, будет занимать в памяти компьютера не более 50 Кб. После завершения работы транспортного средства на маршруте этот массив данных должен передаваться на стационарный компьютер (или на серверную платформу), где на будет формироваться матрица корреспонденции поездок пассажиров. Кроме того, на основе этого же массива данных можно будет получить и традиционную отчетность о пассажирах в ропотоках.

Решение поставленной задачи основано на использовании нейронных сетей, машинного обучения и различных методов обработки изображений. Для разработки программного обеспечения применялись следующие инструментальные средства:

- язык программирования Python;
- специализированные библиотеки для построения нейронных сетей и машинного обучения (Keras, PyBrain, Scikit-

learn, TensorFlow, PyTorch с torchvision и др.);

- библиотеки для обработки изображений и работы с матрицами (OpenCV, ImageAI, NumPy).

Для упрощения создания аналогичных приложений и сокращения программного кода разработана собственная библиотека постобработки изображений (Postoperative Library for Image Transformation — PostoLIT).

На сегодняшний день с использованием этого инструментария реализованы некоторые базовые модули системы компьютерного зрения для решения поставленной задачи, в частности:

- нейронные сети R-CNN для распознавания объектов;
- модули сегментации и кластеризации изображений на основе каскадов Хаара;
- модули распознавания и сегментации экземпляров объектов на базе сетей Mask R-CNN;
- модули распознавания ключевых точек изображения (на основе технологий поиска лицевых ориентиров и элементов лица);
- модули построения цифровых моделей изображений на основе гистограммы направленных градиентов;
- модули сопоставления изображений на основе гомографии и HOG-детекторов.

Система автоматизированного сбора данных о поездках с фиксацией места входа-выхода каждого пассажира представляет интерес в первую очередь для пассажирских автотранспортных предприятий. Согласно данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», по состоянию на 1 января 2020 года в России насчитывается около 409,9 тыс. автобусов [8], более 8 тыс. трамваев [9] и 4 тыс. троллейбусов [10]. Это довольно большой

парк транспортных средств, на которых может использоваться данная система.

Такие системы необходимы городским и региональным органам власти, обеспечивающим организацию транспортного обслуживания населения. В Российской Федерации 79 субъектов и 1117 городов, из них 173 города с населением свыше 100 тыс. жителей [11]. В России действуют 43 крупнейших поставщика информационных систем для транспортных компаний, которые среди прочих программных продуктов разрабатывают и внедряют системы учета пассажиропотоков [12]. Они смогут использовать разработанные программные модули для встраивания их в свои уже существующие системы учета пассажиропотоков и в автоматизированные системы оплаты проезда, тем самым расширяя их функциональные возможности, а также создавать новые продукты на основе программных и технологических решений.

Кроме того, предлагаемый технологический подход и программное обеспечение могут использоваться и в других сферах производственной деятельности, где требуется фиксация перемещения объектов, имеющих внешние индивидуальные особенности, где необходима оценка времени обслуживания клиентов и оценка эффективности работы персонала сервисных служб. Например, в системах определения времени пребывания покупателей в торговых точках, оценки времени обслуживания клиентов в МФЦ, в поликлиниках, в банках и других организациях. Все это говорит о перспективах развития и востребованности систем компьютерного зрения.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- Компьютерное зрение и искусственный интеллект — пожалуй, самое востребованное направление развития информационных технологий.
- Существующие системы автоматизации сбора данных о поездках пассажиров не позволяют зафиксировать место входа и выхода каждого пассажира. Соответственно, на этих данных не представляется возможным построить матрицу корреспонденции.
- Уровень достижений в области искусственного интеллекта и компьютерного зрения позволяет реализовать автоматизацию сбора данных о поездках пассажиров на общественном транспорте с фиксацией места входа и выхода каждого пассажира.



С учетом того, что на сейчас на рынке программного обеспечения отсутствуют подобные решения, они имеют весомые конкурентные преимущества и хорошую перспективу практической реализации.

Литература

1. Хабаров, В. И. Планирование экспериментов для оценки матрицы транспортных корреспонденций / В. И. Хабаров, А. А. Теселкин, К. П. Косолапов // Доклады АН ВШ РФ, июль–сентябрь 2015. — URL: <https://docplayer.ru/27479223-Planirovanie-eksperimentov-dlya-ocenki-matricy-transportnyh-korrespondenci.html>. (дата обращения: 25.02.2021)
2. Автоматизированная система мониторинга пассажиропотоков (АСМПП). — URL: <https://transsensor.ru/catalog/datchiki-irma/asmpp-irma-basic-can>. (дата обращения: 25.02.2021)
3. Infoteh PasCounter — готовое решение для автоматического подсчета пассажиров. — URL: <https://pascounter.infoteh.ru/>. (дата обращения: 25.02.2021)
4. Лебедева, О. А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования: автореф. диссер. на соискание уч. ст. канд. техн. наук. — Иркутск, 2014. — URL: https://www.istu.edu/docs/science/2014/gefence/lebedeva_ref.pdf. (дата обращения: 25.02.2021)
5. Намиот, Д. Е. Матрицы корреспонденций и анализ пассажирских потоков / Д. Е. Намиот, М. Н. Некраплёная, О. Н. Покусаев, А. Е. Чекмарёв. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matritsy-korrespondentsiy-i-analiz-passazhirskih-potokov/viewer>. (дата обращения: 25.02.2021)
6. Yongzheng X., Guizhen Y., Yunpeng W., Xinkai W., Yalong M. A Hybrid Vehicle Detection Method on Viola-Jones and HOG + SVM from UAV Images — URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/8/1325/htm>. (дата обращения: 25.02.2021)
7. Basic concepts of the homography explained with code. — URL: https://docs.opencv.org/master/d9/dab/tutorial_homography.html. (дата обращения: 25.02.2021)
8. Российский парк автобусов: основные показатели на начало 2020 года. — URL: <https://www.autostat.ru/infographics/43090/>. (дата обращения: 25.02.2021)
9. Состояние трамвайной системы в России. — URL: <http://www.ipem.ru/news/publications/914.html>. (дата обращения: 25.02.2021)
10. Троллейбусные города России. — URL: <http://trollcity.narod.ru/stat.htm>. (дата обращения: 25.02.2021)
11. Федеральное устройство России. — URL: <https://mnogofactov.ru/goroda-i-strany/skolko-sub-ektov-v-rf-na-2019-god.html>. (дата обращения: 25.02.2021)
12. Крупнейшие поставщики ИТ для транспортных компаний 2019. — URL: https://www.cnews.ru/reviews/it_v_transportnoj_otrasli_2020/review_table/bf149373aea1d048bd7ffb7edc98bda8b29f7245. (дата обращения: 25.02.2021)

Мониторинг технического состояния грузовых вагонов на ходу поезда



В. В. Попов,
главный инженер
Октябрьской железной
дороги — филиала
ОАО «РЖД» (ОЖД)



А. Н. Иванов,
главный инженер
Службы Вагонного хозяй-
ства Октябрьской дирек-
ции инфраструктуры



А. В. Смутин,
инженер по автомати-
зированным системам
управления вагонного
хозяйства Октябрьской
дирекции инфраструк-
туры



А. А. Романова,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Вагоны и вагон-
ное хозяйство» Петер-
бургского государствен-
ного университета путей
сообщения Императора
Александра I (ПГУПС)



М. В. Зимакова,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Вагоны и вагон-
ное хозяйство» ПГУПС

Представлен анализ результатов применения систем диагностики технического состояния грузовых вагонов на Октябрьской железной дороге. Предложена схема комплексного контроля технического состояния грузового вагона в пути следования.

Для обеспечения безопасности движения на Октябрьской железной дороге постоянно совершенствуется система контроля технического состояния подвижного состава. На первом этапе это был мониторинг состояния буксового узла за счет установленных приборов обнаружения нагретых аварийных букс (ПОНАБ, ДИСК). На втором этапе началось внедрение многофункциональных комплексов технического состояния (КТСМ-01, —02). С 2018 года на Октябрьской железной дороге используется исключительно аппаратура КТСМ третьего поколения (КТСМ-03), которая обеспечивает высокую точность измерения температуры за счет повышения частоты дискретизации сигнала и применения фотонных датчиков, а также улучшает достоверность распознавания типа буксового узла [1].

Одновременно с применением систем теплового контроля буксового узла были внедрены и находятся в постоянной эксплуатации системы контроля [2–4]:

- схода подвижного состава (УКС-ПС);

- дефектов подшипников (ПАК);
- геометрических параметров колесных пар (КТИ);
- дефектов поверхности катания колеса (ПАУК, ПАУК-11к).

На Октябрьской железной дороге был опыт внедрения системы контроля вертикальных динамических нагрузок WILD (Финляндия), предназначенной для выявления дефектов на поверхности катания колеса и перегруза подвижного состава.

С развитием системы мониторинга подвижного состава и установкой отдельных систем разных разработчиков потребовалась их связь в одной информационной системе и организация своевременной передачи данных о состоянии подвижного состава на ходу поезда частным службам.

Для этого были апробированы системы видеораспознавания номеров подвижного состава, которые позволили перейти к указанию номера неисправного вагона.

Оснащенность Октябрьской железной дороги стационарно установленными автоматизированными системами диагностики подвижного состава на ходу

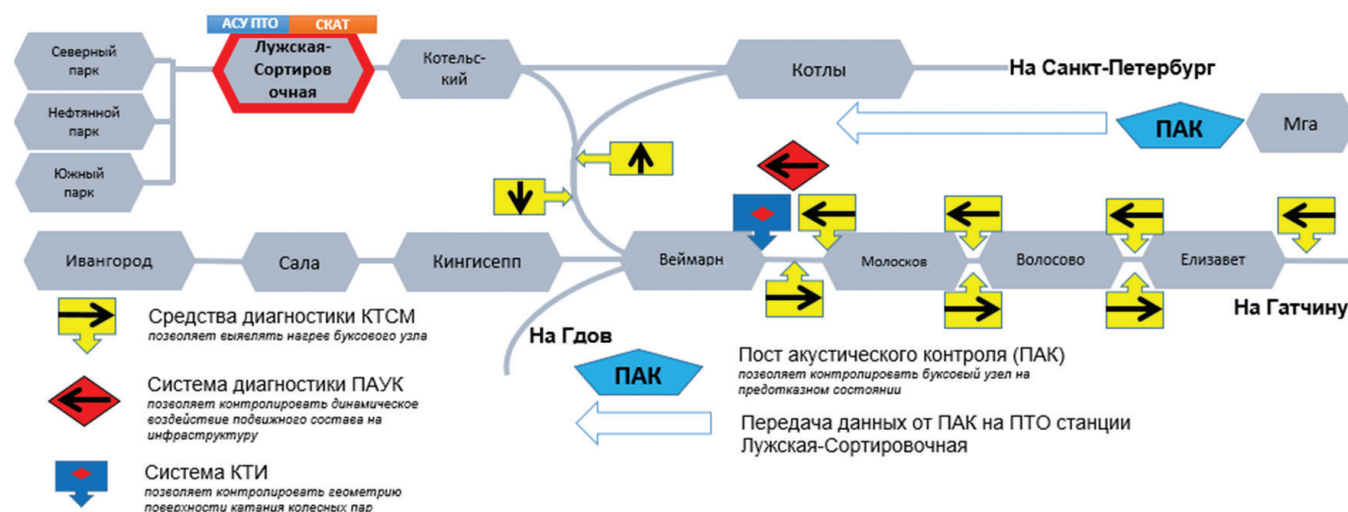


Рис. 1. Схема оснащения средствами диагностики подходов к ПТО, расположенном в Усть-Лужском ж. д. узле

Таблица 1. Установленные системы контроля на Октябрьской железной дороге

Система диагностики	Количество	Контролируемый параметр	Метод контроля	Тревоги
УКСПС (устройство контроля схода подвижного состава)	2012	Сход колеса с рельса, нарушение нижнего габарита подвижного состава	Электрический	—
КТСМ (комплекс технических средств многофункциональный)	563	Температура буксового узла Обнаружение заторможенных колесных пар	Тепловой	«Тревога 0» — предаварийное состояние, остановка поезда не требуется; «Тревога 1» — аварийное состояние, осмотр подвижного состава необходимо провести на станции; «Тревога 2» — аварийное состояние, требуется остановка поезда.
КТИ (комплекс технических измерений)	4	Толщина обода; Расстояние между внутренними гранями колес; Толщина гребня; Диаметр колеса; Равномерный прокат.	Лазерный триангуляционный	«Тревога 1» — предупреждающее, требующее проверку с измерением толщины гребня на ПТО «Тревога 2» — тревожное показание, требующее обязательную отцепку грузового вагона без измерения
Подсистема КТИ сдвиг буксы	1	Сползание буксы.	Оптический	—
ПАУК (подсистема акустического ультразвукового контроля экипажной части подвижного состава)	4	Дефекты поверхности катания колесных пар	Акустико-эмиссионный	«Тревога 1» — предупреждающая о развитии дефекта «Тревога 2» — аварийное состояние
ПАК (пост акустического контроля)	2	Неисправности буксового узла	Акустический	«Тревога 0» — тревога диагностического уровня, остановка поезда не требуется; «Тревога 1» — предаварийный уровень, остановка поезда не требуется; «Тревога 2» — аварийное состояние, требуется остановка поезда для последующей отцепки вагона с обнаруженным дефектом
ППСС (Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях)	2	Габарит Вес, дефекты поверхности катания колесных пар Завышение/занижение фрикционных клиньев	Лазерный Тензометрический Оптический	«К1» — вагон с горки не спускать. Вероятность схода или падения груза; «К2» — на горку в ремонт в техническом или коммерческом отношении; «К3» — на горку в безотцепочный ремонт; «К4» — на горку без ограничений

поезда представлена в табл. 1.

Наибольшее внимание при установке систем мониторинга уделялось подходам к крупным транспортным узлам, где пытались применить новое современное оборудование.

На рис. 1 в качестве примера представлено оснащение станции Лужская средствами диагностики. Их комплексное внедрение позволило своевременно выявлять отклонения в техническом состоянии грузового подвижного состава и тем самым поддерживать исправность вагонов.

В настоящее время наиболее распространенным прибором контроля за безопасностью движения являются устройства контроля схода подвижного состава (УКСПС). 12 февраля 2021 г. по показаниям УКСПС был остановлен грузовой поезд на перегоне Токари-Свирь с сошедшей колесной парой. В таком состоянии вагон проследовал 11,1 км. Благодаря своевременной остановке было предотвращено

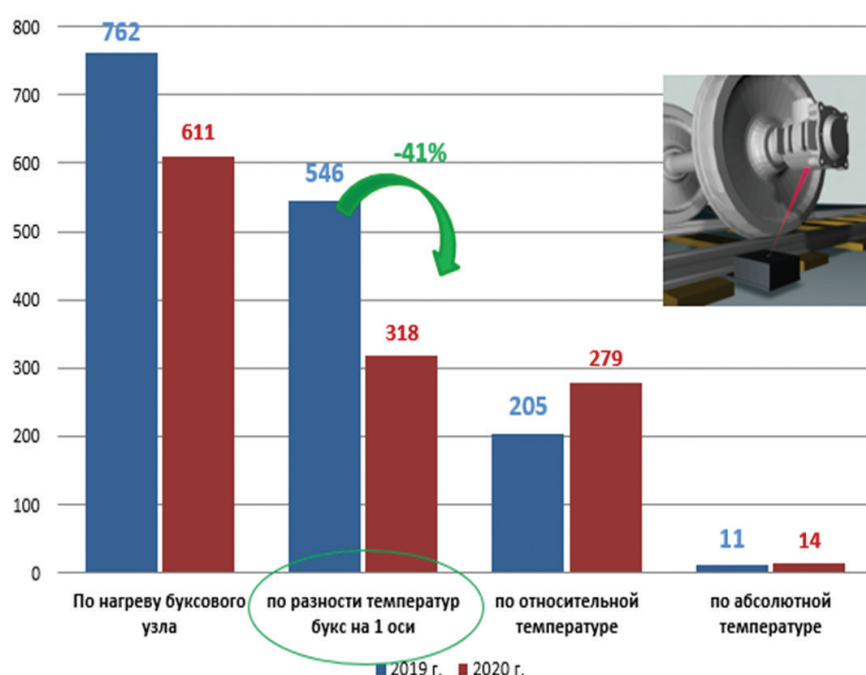


Рис. 2. Сравнение тревожных показаний КТСМ по буксе 2019/2020

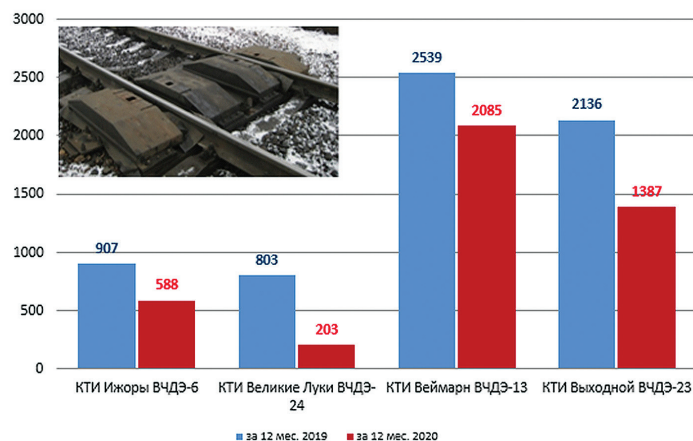


Рис. 3. Анализ срабатываний комплексов КТИ

крупное крушение.

Работа КТСМ первоначально вызывала нарекания, связанные с введением в эксплуатацию инновационного грузового подвижного состава с новой конструкцией буксового узла и с влиянием сезонного температурного фактора на ложные тревожные показания аппаратуры. Для снижения влияния сезонного фактора на количество тревожных срабатываний КТСМ на полигоне Октябрьской железной дороги была проведена опытная эксплуатация программного обеспечения КТСМ с исключенным критерием «Разность температуры букс на одной оси» для «Тревоги-1». По результатам проведенной работы за один месяц 68 показаний перешли из «Тревоги-1» в «Тревогу-0». Вследствие этого не потребовались незапланированные остановки поездов, а визуальный осмотр технического состояния буксового узла проводился на станциях графиковой остановки. Сравнение тревожных показаний КТСМ представлено на рис. 2.

Состояние колесных пар грузовых вагонов в эксплуатации улучшило применение КТИ. Количество отцепок в 2020 г. по установленным КТИ снизилось на 33 % (рис. 3).

Стабильную работу показывают установленные посты ранней диагностики подшипников ПАК. В 2020 г. было зафиксировано 101 показание с тревогой второго уровня, вагоны были переведены в нерабочий парк. Подтверждаемость показаний системы составила 100 % (рис. 4).

В целях улучшения своевременного выявления дефектов на поверхности катания колесных пар в 2020 году были внедрены Подсистемы акустического ультразвукового контроля (ПАУК) экипажной части подвижного состава.

Трудность выявления дефектов поверхности катания связана с действующей

нормативной документацией, устанавливающей допустимые геометрические размеры дефекта. Уровень акустического сигнала во многом зависит от состояния поверхности катания колеса и рельса и не всегда можно установить точную зависимость между уровнем сигнала и геометрическим размером дефекта. Сейчас проходит опытная эксплуатация установленного оборудования, связанная с достижением необходимого уровня подтверждаемости дефектов браковочного размера.

Также в 2020 г. внедрены два поста интегрированного автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС), предназначенные для контроля поездов в техническом и коммерческом отношении. В состав ППСС входит следующее напольное оборудование:

- система лазерного контроля отрицательной динамики и габарита (ЛКПС);
- система контроля веса и вертикальных динамических нагрузок (СЖДК);
- система автоматизированного контроля основных технических характеристик элементов внешней стороны вагонной тележки и автосцепки: (завышение/занижение фрикционных клиньев; наличие/отсутствие тормозных колодок; обнаружение отсутствующих элементов буксы (болты, крышки); смыкание витков пружин; разность высот автосцепки (Техновизор));
- система контроля состояния подвагонного оборудования, распознавания номеров вагонов (АРНВ), контроля крепления груза, закрытия люков, наличия пломб и других коммерческих неисправностей.

Сегодня оборудование ППСС также проходит опытную эксплуатацию.

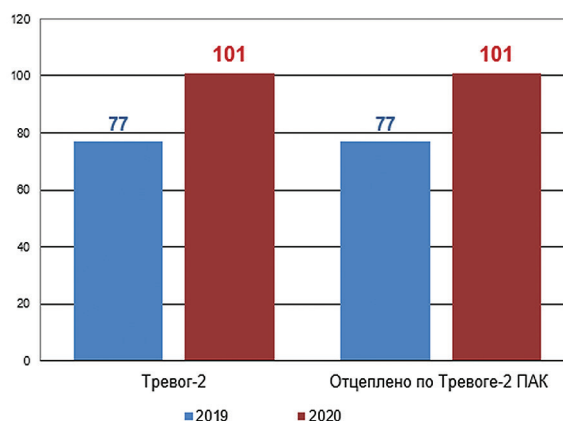


Рис. 4. Количество отцепок по показаниям ПАК (Мга и Мурманск)

Существующая схема передачи информации о техническом состоянии подвижного состава

Открытый в 2016 г. в Санкт-Петербурге Центр диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры (ЦМВ) осуществляет мониторинг устройств, связанных с обеспечением работы всех пяти отделений Октябрьской железной дороги, принимает необходимые решения по устранению отказов технических средств и передает данные в действующую в ОАО «РЖД» Комплексную автоматизированную систему учета, контроля и устранения отказов технических средств (КАСАНТ).

ЦМВ основан на базе центра управления содержанием инфраструктуры (ЦУСИ) [5–6], организационная структура работы представлена на рис. 5.

Основная цель создания ЦМВ — снижение непроизводительных потерь Октябрьской железной дороги, связанных с задержками грузовых, пригородных и пассажирских поездов из-за остановок грузовых поездов по показаниям средств диагностики на промежуточных станциях и перегонах. Для достижения этой цели необходимо произвести:

- выявление неисправного подвижного состава, въезжающего с территории соседних дорог, при помощи диагностических средств с последующим визуальным осмотром на ближайшем ПТО и принятием решения об отцепке неисправного вагона;
- выявление вагонов с неисправным тормозным оборудованием на ранней стадии развития неисправности при помощи организации контроля за скрытыми показаниями КТСМ;
- оперативный анализ данных, поступающих от разных систем диагностики, и выявление вагонов в предотказном состоянии.

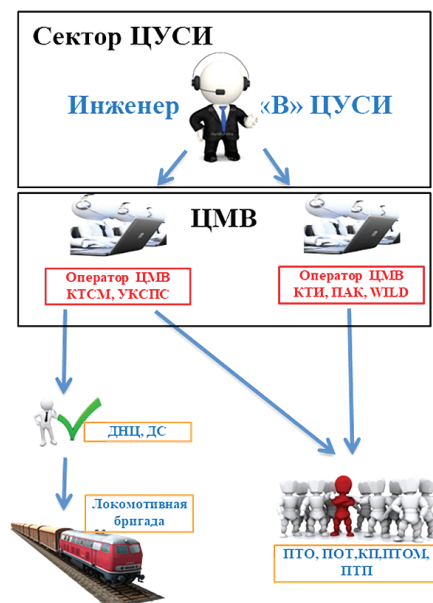


Рис. 5. Организационная структура работы ЦМВ

Открытие ЦМВ позволило оперативно находить неисправности подвижного состава до появления тревожных показаний средств диагностического контроля. Удалось обеспечить координацию смежных участков, оптимизировать работу операторов депо. Была изменена схема передачи информации с установленных систем диагностики подвижного состава (рис. 6).

Техническое состояние подвижного состава контролируется установленными на подходах к станциям и паркам прибытия стационарными комплексами технической диагностики. Информация с автоматизированного диагностического комплекса в автоматическом режиме поступает операторам парков прибытия ПТО на индивидуальные компьютеры.

Установленные комплексы включены в систему многоуровневого оперативного контроля технического состояния подвижного состава и мониторинга работоспособности средств диагностики (СКАТ), которая обеспечивает их постоянную связь с операторами ПТО парков прибытия и ЦМВ службы вагонного хозяйства.

Операторы ЦМВ контролируют данные, поступающие из разных систем диагностики, выявляют вагоны в предостановленном состоянии и совместно с причастными службами принимают меры для предотвращения отказов.

Через АСУ ПТО информация поступает на рабочие места оператора ПТО. Номера вагонов и неисправности, показанные средствами диагностики, а также их место расположения по составу поезда передаются оператором парка осмотрщикам-ремонтникам.



Рис. 6. Схема передачи информации с систем диагностики



Рис. 7. Максимальная вертикальная сила, зарегистрированная в каждом измерительном сечении при движении порожнего вагона-цистерны на скорости 10 км/ч

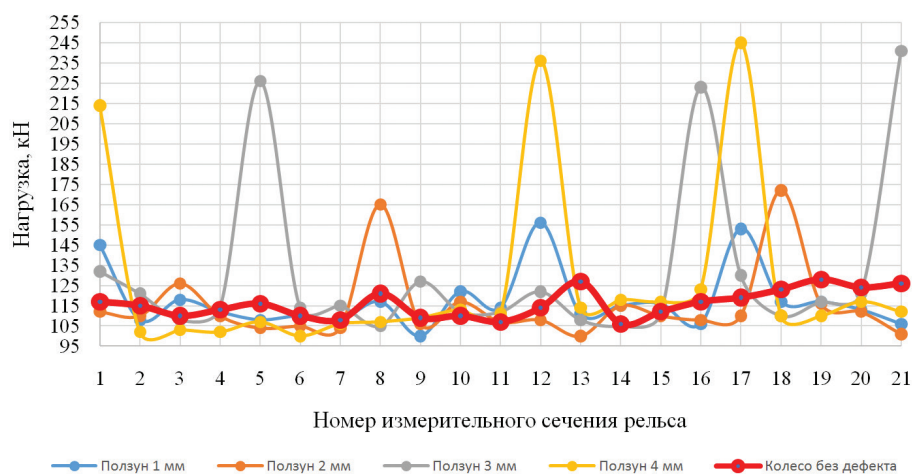


Рис. 8. Максимальная вертикальная сила, зарегистрированная в каждом измерительном сечении при движении гружёного вагона-цистерны на скорости 10 км/ч

Улучшение системы мониторинга технического состояния подвижного состава в пути следования

Созданная на Октябрьской железной дороге система мониторинга грузовых вагонов позволила повысить безопасность движения и внести свой вклад в выполнение «Комплексной программы обеспечения безопасности населения на транспорте». Однако не все задачи решены. Полностью устранить крушения и аварии, связанные с неисправностью вагонов, пока не удастся.

Для дальнейшего повышения безопасности движения необходимо увеличить количество диагностических приборов с повышением их точности и объединением информации от различных средств диагностики в центре мониторинга вагонов. Причем основная часть информации должна обрабатываться непосредственно в напольном оборудовании, чтобы снизить трафик по существующим каналам связи. Уже сегодня сеть передачи данных с трудом справляется с возросшей нагрузкой.

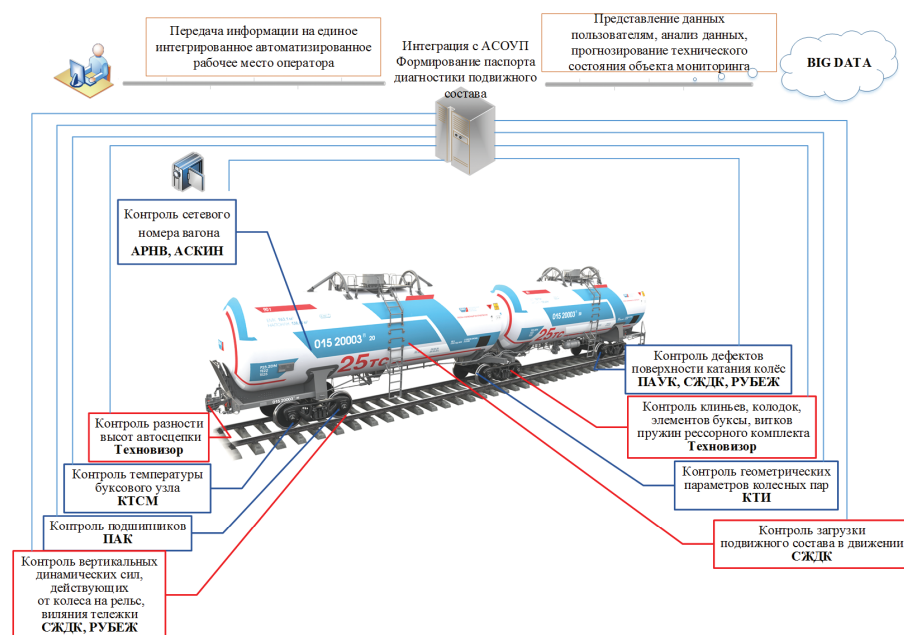


Рис. 9. Схема комплексного контроля технического состояния грузового вагона в пути следования

В ближайшее время важно повысить точность контроля воздействия подвижного состава на железнодорожный путь [7, 8] и выявления дефектов поверхности катания колесных пар по измерению вертикальных динамических нагрузок. Ползун большего размера может производить более слабое воздействие на путь, чем ползун меньшего размера, но в обоих случаях дефекты оказывают негативное влияние на железнодорожный путь.

Исследования по взаимодействию колеса и рельса при различном техническом состоянии колеса [9] показали, что вертикальные силы, действующие на рельс от колеса с дефектом, более чем в 3–4 раза превышают вертикальные силы, передаваемые на рельс от колеса без дефекта. На рис. 7–8 представлено силовое воздействие от колеса порожнего и груженого вагона-цистерны с дефектом на поверхности катания при движении на малой скорости, полученное при апробации кусочно-непрерывной регистрации вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс [10–12].

Вторым важным шагом, на наш взгляд, должно стать создание комплексной системы мониторинга с единым интерфейсом автоматизированного рабочего места для оператора вагонного эксплуатационного депо, в котором отображается работа каждой установленной системы диагностики. К сожалению, пока работу всех установленных систем мониторинга не удастся объединить на одном рабочем месте, оператор вынужден работать с несколькими дисплеями одновременно.

В состав комплексной системы диагностирования (рис. 9) могли бы войти как

существующие и исправно работающие на текущий момент системы мониторинга (КТСМ, КТИ, ПАК, ПАУК), так и вновь разрабатываемые системы, например «Рубеж».

Данные систем диагностирования должны оперативно обрабатываться на месте измерения по специализированным алгоритмам, поступать в готовом виде на автоматизированные рабочие места персонала ОАО «РЖД» и отправляться на хранение и специализированную обработку данных с применением технологии BIG Data для прогноза состояния подвижного состава в целях управления их жизненным циклом.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что внедрение новых средств диагностики и создание центра мониторинга вагонов (ЦМВ) позволили повысить безопасность движения поездов, удлинить гарантийные плечи, сократить штат работников. Дальнейшее развитие видится:

- в увеличении количества комплексных постов диагностики, обследующих техническое состояние вагона в целом;
- в повышении достоверности сигналов тревог за счет увеличения точности измерения и дублирования измерений с использованием различных физических принципов;
- в совершенствовании каналов передачи информации и объемов передаваемых сообщений с обеспечением их доступности;
- в создании цифровых моделей развития дефектов для прогнозирования возможности следования вагонов до ближайшего ПТО.

Литература

1. URL: <http://infotecs-at.ru/products/7#functional>. (дата обращения: 22.02.2021)
2. Диагностика в пути следования. Октябрьская магистраль // Гудок. — 29.03.2018. № 51. — С. 7.
3. Ададуров, А. С. Критерии достоверности результатов диагностики буксовых узлов грузовых вагонов акустическими методами / А. С. Ададуров, А. А. Романова // Транспорт РФ. — 2019. — № 5 (84). — С. 57–61.
4. Ададуров, А. С. Алгоритмы идентификации сигналов дефектного буксового узла постовой системы ранней диагностики // Транспорт РФ. — 2018. — № 5 (78). — С. 58–62.
5. Смышленный центр. Октябрьская магистраль // Гудок. — 16.12.2016. — С. 1.
6. Точный диагноз. Октябрьская магистраль // Гудок. — 26.10.2017. № 191. — С. 7.
7. Попов, В. В. Автоматизированный мониторинг технического состояния колес подвижного состава на Октябрьской железной дороге: оценка эффективности внедрения / В. В. Попов, З. Х. Цеочоева, Ю. П. Бороненко // Транспорт РФ. — 2020. — № 6(91). — С. 23–28.
8. ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2013. — С. 19.
9. Краснов, О. Г. Динамические силы и процессы в рельсах при ударном взаимодействии колес с дефектами / О. Г. Краснов, О. К. Богданов, М. Г. Акашев // Вестник ВНИИЖТ. — 2016. — Т. 75. — № 6. — С. 354–364.
10. Бороненко, Ю. П. Апробация нового метода измерения вертикальной нагрузки от колеса на рельс / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, Д. А. Сергеев, Л. В. Цыганская, А. А. Романова // Транспорт РФ. — 2019. — № 1(80). — С. 56–59.
11. Рахимов, Р. В. Проверка точности восстановления вертикальных нагрузок от колеса на рельс по напряжениям в двух сечениях рельса на стенде / Р. В. Рахимов, А. А. Петров // Транспорт РФ. — 2018. — № 4(77). — С. 55–58.
12. Бороненко, Ю. П. Кусочно-непрерывное измерение сил между колесом и рельсом по касательным напряжениям в двух сечениях рельса / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, А. А. Петров // Транспорт РФ. — 2018. — № 3(76). — С. 58–64.
13. Розенберг, И. Н. Цифровая сортировочная станция / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. — 2018. — № 10. — С. 13–17.

Профессиональная переподготовка кадров на транспорте в условиях цифровизации экономики России



П. В. Журавлев,
д-р экон. наук, профессор
кафедры Торгово-промыш-
ленной палаты «Развитие
человеческого капитала»
ФГБОУ ВО «Российский
экономический универси-
тет имени Г. В. Плеха-
нова», профессор кафе-
дры «Экономика труда
и управление человече-
скими ресурсами» Российского
университета транспор-
та (МИИТ) (РУТ (МИИТ))



Л. А. Каргина,
д-р экон. наук, профессор,
заведующая кафедрой
«Информационные систе-
мы цифровой экономики»
РУТ (МИИТ)



С. Л. Лебедева,
канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры
«Информационные
системы цифровой
экономики» РУТ (МИИТ)

В статье представлено обоснование необходимости непрерывного обучения и переподготовки кадров транспортной отрасли России в части приобретения цифровых компетенций. Рассмотрены актуальные направления в системе профессиональной переподготовки кадров.

Современное развитие российского транспорта — это продолжение процессов, происходящих в обществе и связанных с цифровой логистикой и трансформацией существующей инфраструктуры. Транспорт остается одним из главных звеньев развития цифровой экономики, определяет социально-экономические отношения, обеспечивает мобильность и взаимодействие людей, технологий, коммуникаций [9]. Изменения во всех сферах интеллектуальной, профессиональной и производственной деятельности требуют качественно новых технологий и переподготовки кадров, организации труда и управления им.

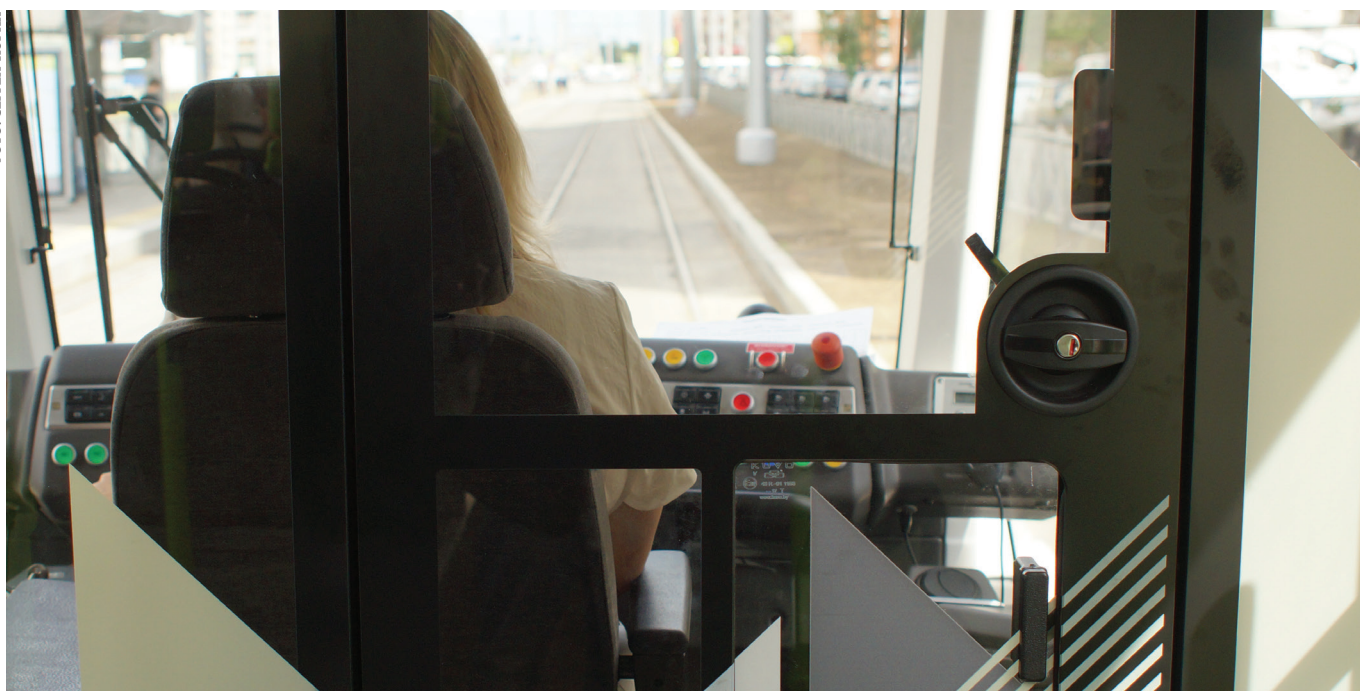
Первостепенное значение здесь имеет правильно выбранная стратегия, соединяющая человеческий фактор и производственный аспект. Цифровизация экономики и повседневной жизни диктует свою четко выстроенную отраслевую перспективу развития.

Специалисты называют следующие тренды цифровизации транспортной сферы в мире: платформенные решения для сбора и обработки данных во всей системе; управляемость на основе аналитики данных, обеспечивающая от 5 до 20 % эффективности; использование автономного транспорта совместно с введением цифровых двойников; смена бизнес-моделей и создание объединений перевозчиков.

Стратегическими направлениями транспортной отрасли являются: устойчивость, безопасность, производительность, соединенность, интероперабельность, конкурентоспособность, привлекательность, рациональная инфраструктурность, подвижной состав мирового уровня, энергоёмкость и экологичность.

Эти основные стратегические направления включают в себя: разработку новых материалов и технологий для инфраструктуры, инновационные материалы, устойчивые конструкции подвижного состава,

ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН



конструкции подвижного состава высокой производительности, интегрированные системы для пассажирских и грузовых перевозок, пропускную способность, транспортную безопасность, взаимодействие между транспортными энергетическими системами и интеллектуальными энергосистемами, оптимизацию энергопотребления, встроенность в европейскую и мировую системы управления движением, постоянную экономическую рентабельность для грузового транспорта, интеллектуальные автоматизированные системы управления движением, управление информацией и комплексные производственные процессы для всех отраслей транспорта.

Таковы основные направления и тематика научной, технической и производственной поддержки долгосрочных целей развития транспортной отрасли. Даже этот далеко не полный перечень остректуальных направлений показывает, насколько востребована цифровизация для развития отрасли. Однако к середине 2021 г. работники явно недостаточно подготовлены к таким перспективам развития. Профессиональная переподготовка кадров на базе цифровизации экономики страны и транспорта объективно требует повышенного внимания.

Применение информационных знаний и навыков на практике переходит в актуальные профессиональные производственные знания и умения, которые все больше внедряются в сетевое цифровое пространство и преобразуются через функционирование транспортных субъектов в развитие цифровой культуры, что определяет уровень развития кадров для цифровой экономики. В связи с этим необходимо выявить принципиальные элементы организации и функционирования системы переподготовки кадров на предприятиях транспортной сферы. Эта система должна быть частью цифровизации всей отрасли, поскольку только компетентный в цифровизационном отношении персонал может успешно решать вопросы её становления и развития в условиях рынка. Современные социально-экономические условия требуют постоянной профессиональной переподготовки кадров. Иначе мы всегда будем проигрывать в конкурентной борьбе.

Необходимость непрерывной переподготовки подтверждается вышеперечисленными обстоятельствами. Именно поэтому нужна компетентностная квалификация должна постоянно изменяться

и совершенствоваться. Отрасли и страны, имеющие гибкую систему переподготовки и программы непрерывного образования инженерного, экономического и управленческого труда, лидируют в условиях отраслевой и международной конкуренции, ведь кадры различной профессиональной функциональности и иерархического уровня способны оперативно решать проблемы. Особая роль здесь принадлежит руководителям, от которых зависит своевременная переподготовка всех работников.

Создание гибкой и динамичной стратегии организации подготовки кадров в современных условиях невозможно без глубокого системного анализа последствий научно-технического прогресса. В настоящее время в системе профессиональной переподготовки актуальны следующие направления:

- разработка методологического и методического инструментария обеспечения кадрами, владеющими цифровыми технологиями функционирования и развития отрасли на уровне мировых стандартов;
- выявление и разрешение противоречий между динамикой и уровнем развития различных видов транспорта с исторически сложившейся системой и методами формирования, организацией и проведением профессиональной переподготовки кадров как в целом по транспортной отрасли, так и по ее видам;
- внедрение нейроинформационных методов, методов глобально-оперативного моделирования, методов цифровизации и алгоритмов анализа, бизнес-проектирования на основе искусственного интеллекта, а также других современных цифровых технологий, связанных с решением проблем организации производственного процесса транспортной отрасли и ее видов;
- формирование актуальных технологий переподготовки руководящих кадров в целях их социально-производственного ориентирования при управлении персоналом, что должно обеспечить конкурентоспособность и конкурентное преимущество российского транспорта на основе создания механизма действенной его мотивации на всех уровнях организационно-должностной иерархии.

Мы так много в последнее время говорим о цифровой экономике, что подчас вкладываем в это понятие совершенно

разные смыслы, отчего возникают разночтения.

С начала XXI века цифровые технологии активно стали завоевывать информационное пространство во всех областях экономики и социальных отношений. Информация стала, по убеждению ученых и практиков, базовым ресурсом во всех областях жизни человека.

Разработка термина «цифровая экономика» принадлежит известному американскому ученому в области информационных технологий Николасу Негропonte, который описал цифровую экономику такой метафорой: «Переход от движения атомов к движению битов». Цифровая экономика стала глобальным трендом интенсивного развития и одним из основных приоритетов нашего государства, а его конкурентоспособность будет определяться уровнем развития цифровой экономики. Ее рассматривают как некую «нефть» будущего [1]. Единого мнения по поводу названия современного этапа развития экономики нет. Одновременно с понятием «цифровая экономика» довольно часто употребляются — «креативная экономика», «экономика приложений», «новый технологический уклад мира», «электронная экономика».

При этом европейское научное сообщество все чаще использует термин «цифровая экономика», а в американском распространено более технологическое название — «AP-экономика» [2]. В понятие включают и компьютерные технологии, и программное обеспечение, и высокотехнологичное производство, и разные интернет-сервисы, электронные услуги вместе с интернет-мессенджерами [3].

Исходя из этого, традиционный подход к профессиональной переподготовке кадров, когда отсутствуют современные концептуальные основы ее организации, базирующиеся на принципах устойчивого развития, модульности и многовариантности решений, делают ее малоэффективной.

Как связать цифровую экономику с системой переподготовки кадров в транспортной отрасли? По нашему мнению, цифровая экономика — это гибкий тип управления и хозяйствования, когда преобладает нейроинформационный / процессный бизнес-подход к обработке данных и методов, определяющий количество и качество используемых ресурсов в сфере производства, распределения, обмена и потребления продуктов и услуг в транспортной сфере. Важным ресурс-

сом являются не только концептуальные, но и прикладные профессиональные знания и умения, которые постоянно меняются из-за ускоренного устаревания.

Следовательно, современное поколение руководителей транспортных организаций должно обеспечивать процесс непрерывного теоретического и практического развития своего персонала посредством обучения, повышения квалификации, профессиональной подготовки и переподготовки, приобретения новых качественных компетенций сотрудниками [4].

Используя новые цифровые технологии, руководители транспортных компаний обязаны создавать собственные корпоративные программы переподготовки и развития персонала, формируя программы на базе вузовских как наиболее приспособленных к изменениям. Это обеспечит оперативное соответствие уровня подготовки сотрудников потребностям конкретной компании. Тогда персонал компании будет четко понимать ее цели и задачи в текущий момент и на перспективу.

Постоянные социальные инвестиции во внутренние области корпоративной ответственности не превратятся в чистые затраты, а превратятся в механизм формирования лояльности, приверженности и включенности персонала в дела своей компании. Это сформирует статус социально ориентированного работодателя.

Включенность в цифровой процесс обязывает руководство транспортной отрасли создать инновационную платформу управления кадрами и перейти к концепции управления человеческими ресурсами, которая обеспечит подход к профессиональной деятельности работников транспортной отрасли с позиций мировых требований при выполнении своих функциональных обязанностей. Они, в свою очередь, будут основываться на соответствующей информационно-цифровой платформе. Проблема очень непростая, поскольку в России на начало 2021 года число специалистов в области информационных систем и технологий составляет примерно 1,5 % от всего работающего персонала. В высокоразвитых странах Европы параметр варьирует примерно от 3 % до 5 % [5]. Это подтверждает тот факт, что на предприятиях и организациях всех форм собственности не хватает высококвалифицированных специалистов в данной сфере. По мнению экспертов транспортной отрасли,

численность персонала, владеющего цифровыми технологиями на необходимом для достижения конкурентоспособности уровне, на начало 2020 г. не превышало 12 %.

Утвержденная 28 июля 2017 г. программа «Цифровая экономика Российской Федерации» определяет цели и задачи нового экономического уклада до 2025 г. [6] в целях реализации «Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 гг.» [7].

Приоритетное направление концепции «Кадры и образование» — решить проблему подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров для создания базы их профессиональной цифровой готовности к 2025 г. Для этого необходимо достигнуть первоочередных целей: подготовить кадры для развития цифрового сегмента отрасли, ликвидировать информационно-цифровую безграмотность всех категорий персонала, добиться непрерывного процесса формирования цифровой культуры у работников отрасли, постепенно заменить потерявшие актуальность бумажные документы (трудовую книжку, диплом, удостоверения) на электронные эквиваленты.

Цифровая трансформация транспортных систем становится одним из приоритетных направлений стратегического развития страны, требует новых технологий и оборудования, экспертных институтов, в том числе международных, научно-образовательного сообщества. Совершенно очевидно, что выход на новый этап развития транспортной отрасли, при котором достигается качественно иной уровень услуг за счет внедрения цифровых технологий, связан с изменениями традиционной модели системы переподготовки кадров. В связи с внедрением технологий цифрового производства, автоматизацией процессов и роботизацией теряется необходимость во многих профессиональных компетенциях.

Однако широкое распространение цифровых технологий вызовет существенные изменения в структуре занятости, приведет к образованию абсолютно новых профессий, что вызовет потребность в новых навыках и умениях сотрудников и их руководителей. Все эти обстоятельства диктуют следующие направления в переподготовке кадров, которые способны будут обеспечить развитие цифровизации в транспортной отрасли России:

Установить экосистему управления цифровизацией через партнерство стейк-

холдеров первого и второго уровней, через взаимодействие принадлежащих им информационных платформ, прикладных интернет-сервисов, нейроаналитических систем, а также информационных систем органов государственной и муниципальной власти, организаций бизнеса, НКО и граждан.

Создать единый консорциум внутренних и внешних стейкхолдеров, заинтересованных в цифровизации транспортной отрасли.

В управлении стейкхолдерами использовать проектный подход, обеспечивая прозрачность трех уровней: стратегического, оперативного и тактического, разрабатывающих систему переподготовки кадров в целях цифровизации отрасли.

Сформировать ориентированную на развитие цифровизации систему, технологию и методику профессиональной переподготовки кадров в отрасли.

Разработать и внедрить научно-исследовательские и прикладные заделы, развивающие профессиональные компетенции кадров в отрасли.

Спроектировать и внедрить в систему переподготовки кадров информационную инфраструктуру, обеспечивающую нормативное регулирование, эффективную и безопасную производственную деятельность.

Создать базовые условия для подготовки и переподготовки кадров, необходимых для полномасштабного перехода отрасли на цифровизацию всех производственных процессов.

Сформировать самонастраивающийся механизм переподготовки кадров, гибко реагирующий на требования развития цифровизации отрасли и обеспечивающий ее компетентными кадрами в любой момент времени и на любой производственный функциональный участок с широким выбором профессий и специальностей.

Какие конкретные мероприятия позволили бы реализовать программу переподготовки кадров для обеспечения цифровизации отрасли на мировом уровне? Прежде всего это создание системы переподготовки, позволяющей получить качественно новых профессионалов: рабочих, специалистов, менеджеров, организаторов и руководителей производства различного уровня, способных ставить и решать проектные и реализационные задачи. Это должны быть специалисты с творческим потенциалом, развитой культурой мышления, умением самостоя-

тельно ориентироваться в производственной и научно-технической информации. Чтобы подготовить их, организаторам системы переподготовки кадров необходимо придерживаться следующих правил.

Предварительно заниматься профориентацией будущих молодых специалистов на перспективные конкретные задачи предприятий, на которых они будут работать после переподготовки.

В основе учебных планов должны быть дисциплины, базирующиеся на применении цифровых технологий.

Подбор вузами и колледжами как отдельных студентов, так и целых групп для транспортных предприятий, которые могут и хотят выполнять поставленные перед ними задачи.

Кооперация вузов с предприятиями транспорта в целях создания необходимого материально-технического обеспечения.

Оперативное изменение учебных планов, объема и содержания дисциплин и видов обучения в соответствии с запросами транспортных предприятий.

Заблаговременная профориентация и более тщательный отбор абитуриентов к поступлению в вуз.

Организация сопровождения выпускников вузов для оказания им помощи и дополнительной подготовки в производственных условиях.

В своей актуализированной программе по достижению ожидаемых результатов развития конкуренции в части подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 г. Министерство транспорта России обозначило целевые установки по переподготовке кадров.

Цифровизация транспортных образовательных организаций будет осуществляться по следующим направлениям:

- формирование единой модели управления данными;
- формирование единой цифровой среды, консолидирующей образовательный и исследовательский контент, цифровые сервисы, внутренние и внешние взаимодействия, для всех групп пользователей;
- обеспечение возможности построения индивидуальной образовательной траектории обучающегося, в том числе адаптации процесса освоения образовательного контента с учетом индивидуальных особенностей обучающихся;
- массовое внедрение в образовательные программы модулей, направ-



ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН

ленных на развитие компетенций цифровой экономики;

- массовое производство собственных и использование качественных сторонних онлайн-курсов;
- целенаправленное повышение цифровых компетенций всех категорий работников транспортных образовательных организаций, в первую очередь педагогического и профессорско-преподавательского состава.
- создание единого информационного портала транспортного образования с размещением на нем доступных всем работникам транспортной отрасли образовательных модулей и программ дистанционного обучения [8].

Концепция предполагает развитие цифровых технологий, системную перестройку на основе цифровых решений всех бизнес-процессов транспортных образовательных организаций, внедрение «цифрового университета» и «цифрового колледжа», где управление будет строиться на основе больших данных и платформенных технологий. Это позволит организовать инновационную организацию учебного процесса и работу административно-управленческого аппарата, повысить эффективность НИР и НИОКР, автоматизировать бухгалтерскую и делопроизводственную деятельность, появится возможность принимать прогнозно-аналитические управленческие решения. ■

Литература

1. Mekhdiev, Sh. Z. Assessment of the quality and efficiency of HR management and enterprise // The Eurasian Scientific Journal. — 2008. — № 6(10). — URL: <https://esj.today/PDF/17ECVN618.pdf>
2. Panshin, B. Digital economy: features and development trends // Belarusian Science Science publishing house, Science and Innovations. — March 2016. — № 157. — P. 17–20.
3. Цифровая экономика / под. ред. проф. И. Б. Тесленко. — М.: Русайнс, 2018. — 378 с.
4. В отделах персонала происходит цифровая революция. — URL: <https://www.vedomosti.ru/>.
5. В отделах персонала происходит цифровая революция. — URL: <https://www.vedomosti.ru/>.
6. Распоряжение Правительства России от 28 июля 2017 г. № 1632-р.
7. Указ Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы».
8. Концепция подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 года. Минтранс России.
9. Kargina L. A., Lebedeva, S. L., Sokolova, I. I., Britvin, M. A. Werkzeuge der digitalen Wirtschaft in der Transportbranche [Текст] / Kargina L. A., Lebedeva S. L., Sokolova I. I. Britvin, M. A. // Der EisenbahnIngenieur; Accepted for publication. — 2019.

Адаптивное регулирование подачи наддувочного воздуха судового дизель-генератора в переходных режимах



П. М. Радченко,
канд. техн. наук, профес-
сор кафедры электрообо-
рудования и автоматики
судов, Морской государ-
ственный университет
им. адм. Г. И. Невельского



В. Е. Крашенинин,
инженер-электромеханик
ОАО «Юником»
(Владивостокский
филиал ПАО
«Совкомфлот»)



М. А. Макаев,
инженер-электромеханик
ОАО «Юником»

Технология воздухопобавления судового дизель-генератора в переходных режимах направлена на повышение экономических и экологических показателей работы: полноту сгорания топлива, минимизацию образования токсичных газов, улучшение приемистости двигателя и повышение качества электроэнергии при внезапном сбросе нагрузки.

Работа дизеля, оборудованного компрессором со свободным турбонаддувом, при частичных нагрузках совершается, как известно, при неполном сгорании топлива, сопровождающемся отложением сажи на всем протяжении выхлопного тракта, закоксовыванием форсунок и выбросом в атмосферу порта твердых частиц и токсичных газов [1, 2]. Причиной является недостаточная подача воздуха в камеры сгорания при частичных нагрузках двигателя. Это объясняется низким вращающим моментом, кото-

рый развивает газовая турбина, из-за невысокого энергетического потенциала отработавших газов, направляемых на лопатки ее рабочего колеса.

В ряде публикаций авторов [1, 2, 3] была предложена запатентованная технология адаптивного регулирования подачи наддувочного воздуха в камеры сгорания первичного двигателя дизель-генератора (ДГ) для установившихся режимов его работы. В основу новой технологии наддува положен принцип использования комбинированного газотурбоэлектрического привода компрессора наддува 19–20–21 (рис. 1) дизель-генератора 1–2. От традиционного турбокомпрессора (ТК) 19–20 он отличается тем, что с валом последнего соосно сочленяется вал бустерного синхронного двигателя/генератора (БСДГ) 21, якорная обмотка которого электрически соединена с питающей сетью посредством обратимого статического полупроводникового преобразователя (СПП) 22. Там же рассматривается способ управления предложенным приводом в установившихся режимах во всем диапазоне нагрузок ДГ и его эффективность.

В переходных режимах, связанных с внезапным набросом нагрузки на ДГ, оборудованный ТК со свободным наддувом, изменения подачи воздуха запаздывают от аналогичных изменений цикловой подачи топлива вследствие инерционности ТК. По этой причине происходит дымный выхлоп отработавших газов в атмосферу, сопровождаемый всплеском содержания в нем сажи и токсичных составляющих — угарного газа CO, углеводородных осколков C_xH_y , альдегидов и др. [4]. Для нейтрализации столь нежелательного результата автора-

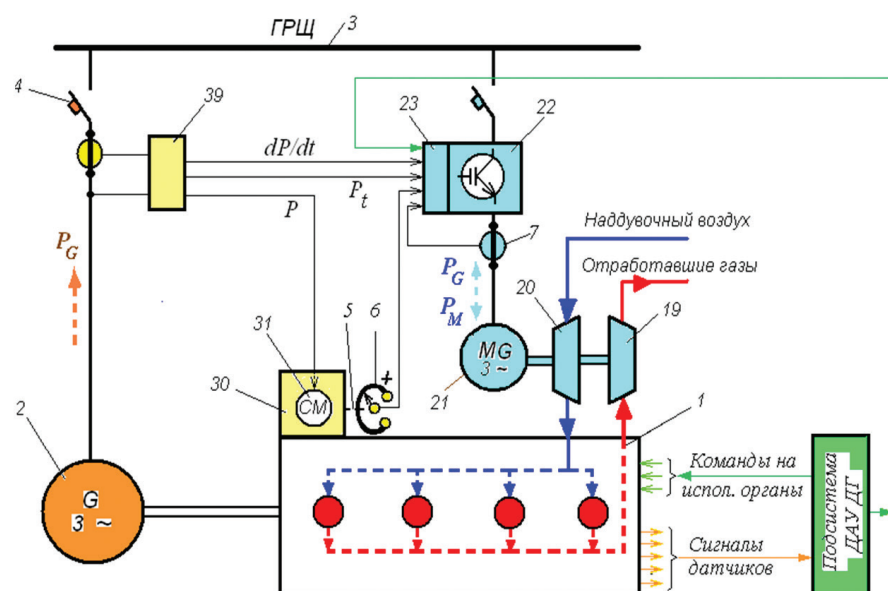


Рис. 1. Упрощенная схема адаптивного регулирования подачи наддувочного воздуха дизель-генератора. 1, 2 – дизель-генератор; 3 – главный распределитель; 4 – генераторный АВВ; 5 – топливная рейка насосов высокого давления; 6 – потенциометр (датчик подачи топлива); 7 – датчик направления мощности БСДГ; 19–20 – газотурбонаддувочный компрессор; 21 – бустерный синхронный двигатель-генератор (БСДГ); 22–23 – полупроводниковый преобразователь и его система управления; 30 – механический регулятор подачи топлива (МРПТ); 31 – серводвигатель МРПТ; 39 – датчик активной мощности ДГ; P_G/P_M – потоки мощности БСДГ в двигательном и генераторном режимах соответственно.

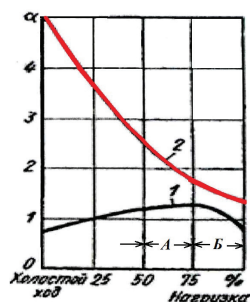


Рис. 2. Пределы изменения коэффициента избытка воздуха α в зависимости от нагрузки двигателя: 1 – карбюраторный двигатель; 2 – дизель

ми предложена в [5, 6] технология последовательного двухэтапного воздействия на быстродействующую (безынерционную) электрическую часть привода — СПП 22 — турбоэлектрического компрессора наддува (ТЭКН) 19–21 в период переходного процесса, чтобы ликвидировать запаздывание изменения параметров наддувочного воздуха от изменений в цикловой подаче топлива.

При сбросе нагрузки с ДГ 1–2, оборудованного ТК со свободным наддувом, кратковременно, до вступления в действие регулятора подачи топлива, на коленчатом валу двигателя создается избыток вращающего момента. Под его действием увеличивается частота вращения ДГ и происходит всплеск частоты напряжения $+\Delta f$ в электросети судна (рис. 5, в; рис. 6, в: пунктирная кривая 1). После вступления в действие механического (либо электронного) регулятора подачи топлива (МРПТ) 30 (рис. 1) и уменьшения подачи топлива в камеры сгорания двигателя, его ТК 19–20 под действием запасенной им кинетической энергии совершает замедленный переход-выбег с первоначального скоростного уровня на пониженный, соответствующий уменьшившемуся значению энергетического потенциала отработавших газов двигателя 1 и вращающего момента газовой турбины 19. В процессе выбега ТК снижается в квадратичной зависимости его производительность, вследствие чего уменьшается коэффициент α избытка воздуха вместо ожидаемого его увеличения после сброса нагрузки (согласно стехиометрической зависимости 2 на рис. 2). В результате столь очевидного расхождения в подачах топлива и воздуха в камеры сгорания двигателя стехиометрическое сгорание топливной смеси в его цилиндрах нарушается. Следствием уменьшения количества подаваемого воздуха будет снижение его давления

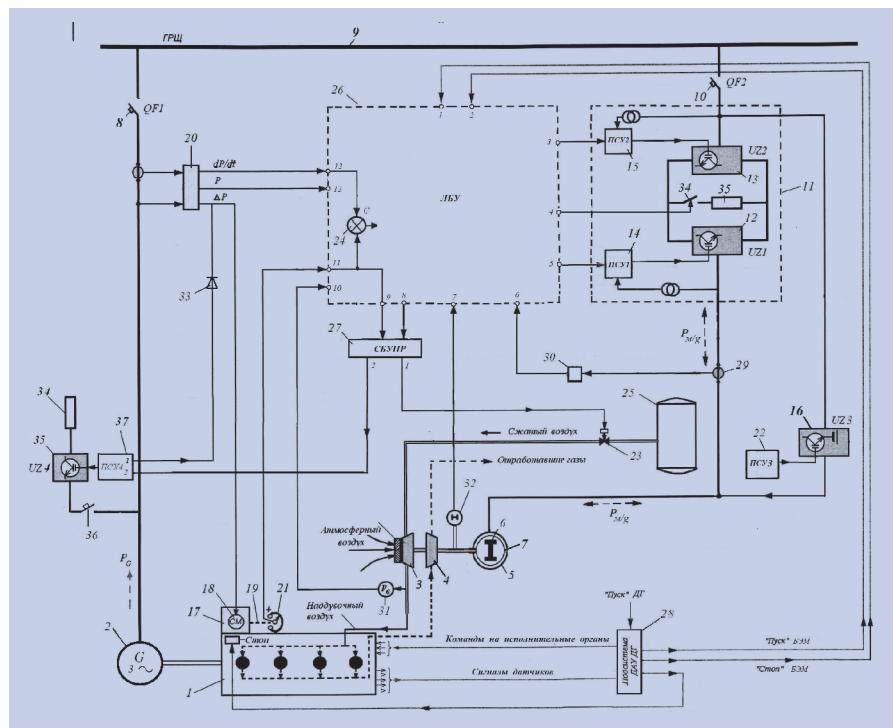


Рис. 3. Принципиально-функциональная схема регулирования подачи топлива и воздуха в ДГ в переходных режимах наброса/сброса нагрузки

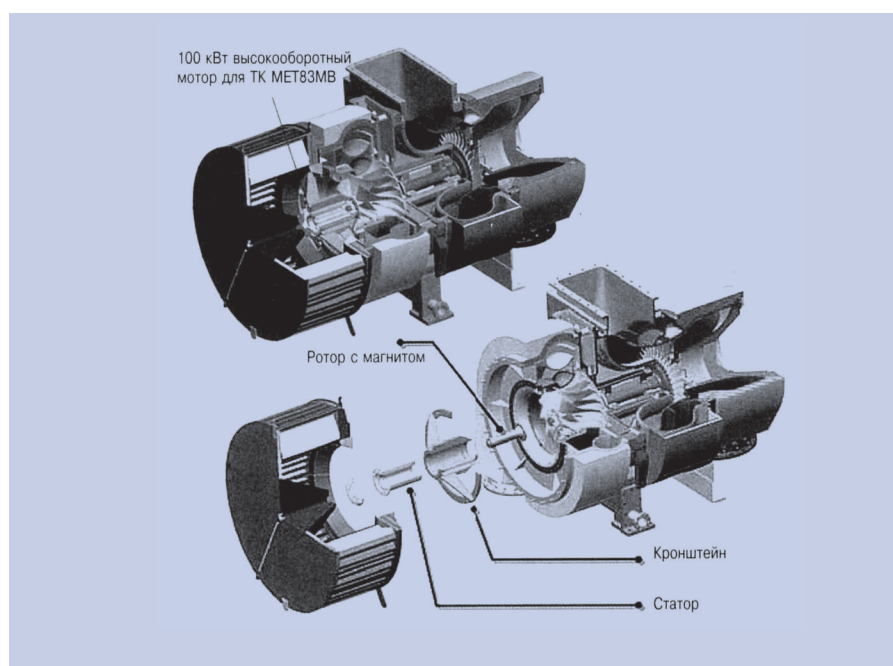


Рис. 4. Конструкция газотурбоэлектрического компрессора наддува с комбинированным приводом: вверху — внешний вид в сборе; внизу — элементы бустерного двигателя/генератора, встроенного в приемную полость компрессора

и температуры в конце тактов сжатия. Снижение давления воздуха приводит к ухудшению образования горючей смеси в момент впрыска топлива форсункой, а температуры (катализатора химической реакции) — к ослаблению реакции окисления углерода. Оба эти явления ведут к неполному сгоранию топлива, сопровождаемому дымлением отработавших газов двигателя из-за усиления образования сажи, увеличением концентрации

угарного СО и других токсичных газов на общем фоне падения экономичности. Особенно заметно расхождение подач топлива и воздуха наблюдается в частичных режимах работы ДГ. При сбросе нагрузки и следующим за ним уменьшении цикловой подачи топлива снижается и без того относительно невысокая температура в камерах сгорания в отмеченных режимах, к которой добавляется еще и упомянутое выше

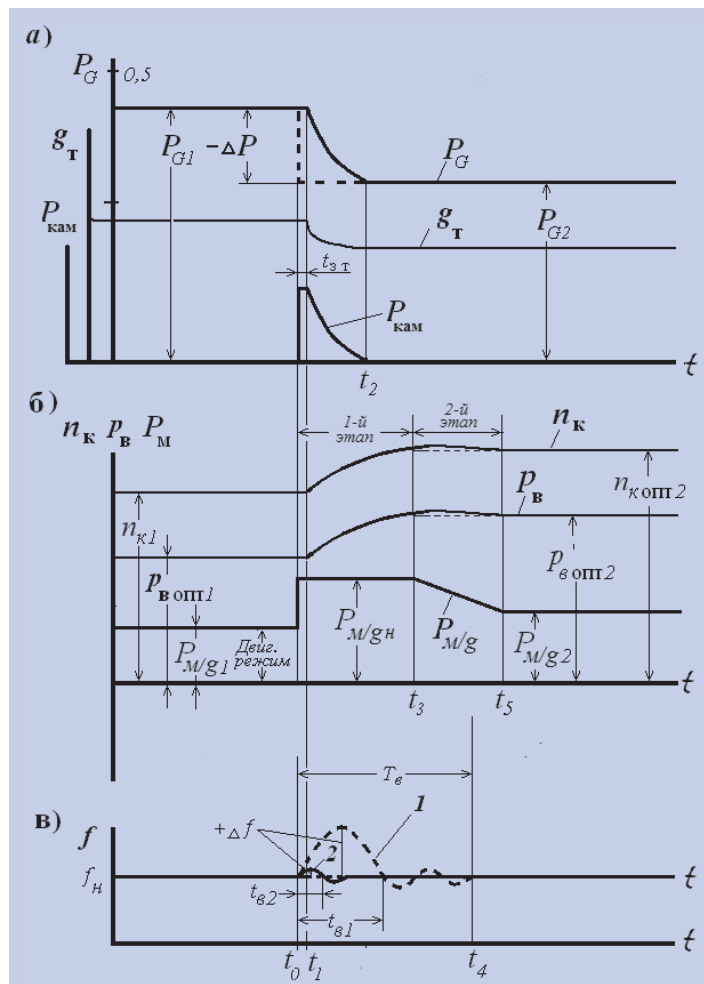


Рис. 5. Временные диаграммы при внезапном сбросе нагрузки с дизель-генератора в режиме его работы со статической нагрузкой менее 50 % от номинальной

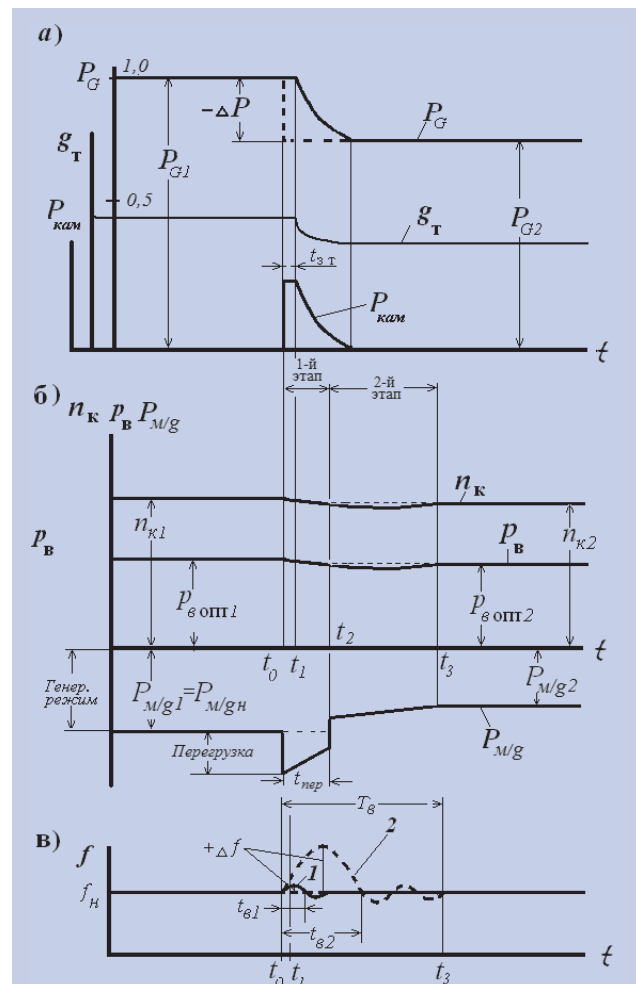


Рис. 6. Временные диаграммы при внезапном сбросе нагрузки с дизель-генератора в режиме его работы с номинальной статической нагрузкой

снижение температуры воздуха в конце такта сжатия.

Нейтрализовать эти негативные факторы возможно за счет активизации другого катализатора реакции окисления — более качественного смешения исходных продуктов окисления: топлива и кислорода воздуха. Для этого при понижении нагрузки ДГ следует повысить расход наддувочного воздуха, т. е. увеличить коэффициент α избытка воздуха. Увеличение количества воздуха, поданного в цилиндр, приводит к росту его температуры и давления при последующем такте сжатия. Снижение температуры в камере сгорания, вызванное уменьшением цикловой подачи топлива, будет компенсироваться ее повышением от сжатия большего количества воздуха. Что касается давления, то оно играет роль преграды на пути впрыскиваемой форсункой жидкой струи топлива, встречая которую она рассеивается на тем более мелкие капельки-частицы, чем выше давление воздуха. Следствием более мелкого распыления струи топлива становится более интенсивное и полное испарение

и расщепление ее частиц на составляющие элементы — углерод и водород, за которым уже следует непосредственно процесс их окисления с выделением энергии — горение. С другой стороны, увеличение количества и давления воздуха создает гарантии образования однородной горючей смеси по всему объему камеры сгорания, а не только в районе факела, что дополнительно способствует полноте сгорания впрыснутой порции топлива еще до начала такта расширения.

Но в ТК со свободным наддувом, как отмечено выше, указанная нейтрализация недостижима в принципе.

Целью настоящей публикации является разработка алгоритма адаптивного автоматического управления комбинированным турбоэлектрическим компрессором наддува в переходных режимах ДГ при внезапном сбросе его нагрузки в произвольных статических режимах, направленного на синхронизацию подач топлива и наддувочного воздуха и согласование их параметров для оптимизации процесса образования и сгорания горючей смеси.

Конструктивной основой ТЭКН для разработки новой технологии регулирования подачи наддувочного воздуха явилась его новейшая модель фирмы Мицубиси (рис. 3, рис. 4) [7, 8], применяемая на судовых главных двигателях с 2011 г.

Комбинированный привод ТЭКН 3–5 первичного двигателя 1 (рис. 3) дизель-генератора 1–2 представляет собой сочетание высокоскоростного наддувочного ТК 3–4 (с частотой вращения $50 \cdot 10^3$ – $90 \cdot 10^3$ мин⁻¹ по сравнению с $8 \cdot 10^3$ – $30 \cdot 10^3$ мин⁻¹ в ТК традиционного исполнения), в приемную полость компрессора 3 которого встроен на его валу бустерный синхронный двигатель/генератор 5 с постоянными магнитами 6 на роторе 7. По цепи питания БСДГ 5 соединен с электрической сетью судна — шинами 9 ГРЩ — посредством реверсивного СПП 11 со звеном постоянного тока и автоматического выключателя 10 (QF2). СПП 11 состоит из двух одинаковых обратимых полупроводниковых преобразователей: электромашинного 12 (UZ1) и сетевого 13 (UZ2), выполненных на силовых транзисторах типа IGBT и снабженных

каждый подсистемами управления: 14 (ПСУ1) и 15 (ПСУ2).

Внешний вид и детализированная конструкция ТЭКН 3–5 показана на рис. 4. Перечислим отличительные особенности конструкции его высокоскоростного ротора.

- Применяются всего два воздушных подшипника [9], не нуждающиеся в жидкостной смазке, так как при отмеченных высоких оборотах ротора в подшипниках создается воздушная прослойка, удерживающая миниатюрный ротор в подвешенном состоянии.

- БСДГ 5, встроенный в приемную полость компрессора и охлаждаемый его воздушным потоком, в дополнительной вентиляции не нуждается и установка крылатки самовентиляции для него не требуется.

- Индуктор встроенного БСДГ 5 выполнен на постоянных магнитах, поэтому в применении вращающихся возбуждателя, выпрямителя и подвозбудителя, как это мы наблюдаем у традиционного бесщеточного синхронного генератора он не нуждается.

В результате наряду с упрощением конструкции ТЭКН (что повышает его надежность, безотказность и ресурс) и миниатюризацией ротора, благоприятно сказывающейся на снижении инерционности вращающихся частей, уменьшаются потери на охлаждение БСДГ и на трение в подшипниках ТЭКН, т. е. повышается КПД агрегата в целом, его эффективность.

Регулирование подач топлива и наддувочного воздуха осуществляется по командам датчика 20 активной мощности ДГ (рис. 3). Сигналы, формируемые выходными каналами этого датчика — первой производной $\langle dP/dt \rangle$, статической нагрузки $\langle P \rangle$ и ее приращения $\langle \Delta P \rangle$ — посылаются одновременно на механический (либо электронный) регулятор 17 подачи топлива и на регулятор подачи наддувочного воздуха.

Последний регулятор включает блок 26 логического управления (БЛУ) бустерным синхронным двигателем/генератором 5 и субблок 27 управления переходными режимами (СБУПР), которые управляют программно исполнительными органами данного регулятора по сигналам датчиков обратной связи. В комплект датчиков регулятора подачи наддувочного воздуха входят: датчик 21 положения топливной рейки 19 (он же датчик цикловой подачи топлива); реверсивный датчик 29 текущего режима БСДГ 5; датчик 31 давления наддувочного воздуха в ресивере; датчик 32 частоты вращения ТЭКН.

После обработки сигналов обратной связи модулями БЛУ 26 и СБУПР 27 команды, ими формируемые, направляются на исполнительные органы регулятора подачи наддувочного воздуха: управляемый электромагнитный клапан 23 сжатого воздуха (используется при набросе нагрузки [6]); подсистемы 14 (ПСУ1) и 15 (ПСУ2) управления обратимыми электромашинным 12 (UZ1) и сетевым 13 (UZ2) полупроводниковыми преобразователями реверсивного СПП 11.

Алгоритм управления, реализуемый регулятором 26–27 подачи наддувочного воздуха ДГ 1–2, зависит от текущей статической нагрузки последнего, так как в режиме частичных нагрузок до 50 % номинальной БСДГ 5 используется в режиме двигателя, а при нагрузках выше 50 % — в режиме генератора [6]. Информирование БЛУ 26 о текущем режиме работы БСДГ 5 производится его датчиком 29 направления мощности. Для работы БСДГ 5 двигателем его сетевой преобразователь 13 (UZ2) переключают в режим выпрямителя, а электромашинный преобразователь 12 (UZ1) — режим инвертора. Алгоритм двухэтапного автоматического управления подачей наддувочного воздуха при внезапном набросе нагрузки на ДГ 1–2 рассмотрены, как заявлено, в [5] и [6].

На рис. 5 представлены временные диаграммы переходного процесса ДГ при внезапном сбросе нагрузки в период его работы со статической нагрузкой менее 50 % номинальной. Сигнал первой производной $\langle -dP/dt \rangle$ внезапного понижения нагрузки, формируемый датчиком 20 активной мощности ДГ 1–2 (рис. 3), посылают на первом этапе переходного процесса, в момент t_0 сброса нагрузки (рис. 5, а: пунктирная кривая P_c), на сумматор 24 блока логического управления 26 бустерным синхронным двигателем/генератором 5 с целью упреждающего форсированного увеличения частоты вращения и производительности ТЭКН 3. Такой маневр необходим для того, чтобы после понижения цикловой подачи топлива ДГ 1–2 повысить коэффициент α избытка воздуха, подаваемого в его цилиндры, до оптимального значения для его нового понизившегося нагрузочного режима (рис. 2). Он достигается за счет безынерционного изменения посредством СПП 11, нагрузочного режима БСДГ 5, работающего двигателем (рис. 5, б; кривая $P_{m/g}$), с нагрузки $P_{m/g1}$ до номинальной $P_{m/gn}$. В результате в момент t_0 скачком увеличивают вращающий момент БСДГ 5.

Следом сигналом « $-\Delta P$ » статического понижения нагрузки того же датчика 20 активной мощности ДГ 1–2 воздействуют на МРПТ 17 и уменьшают с некоторой задержкой $t_{зт}$, равной постоянной времени данного регулятора, цикловую подачу топлива в камеры сгорания двигателя (рис. 5, а; кривая g_r). При этом сигнал снижения топливоподачи, формируемый датчиком 21 положения топливной рейки 19, посылают в БЛУ 26 на тот же сумматор 24 для подтверждения первоначального сигнала « $-dP/dt$ ».

В промежутке $t_1 - t_3$ переходного процесса давление наддувочного воздуха (рис. 5, б: кривая p_v), которое измеряется в воздушном ресивере датчиком давления 31, возрастает вследствие увеличения частоты вращения (рис. 5, б: кривая n_k) компрессора 3, его производительности и расхода воздуха в цилиндры двигателя при его подаче. Измеряемый сигнал p_v давления наддувочного воздуха, направляемый в БЛУ 26, сравнивают с установленным в нем программой оптимальным значением p_{vopt2} для нового статического уровня нагрузки P_{G2} дизель-генератора 1–2. В момент t_3 , когда измеренное p_v и программное p_{vopt2} значения данного сигнала становятся равными, в БЛУ 26 формируют сигнал завершения первого этапа переходного процесса.

К этому моменту под действием кинетической энергии, накопленной ротором 7 турбоэлектромотора 3–5 в процессе увеличения его частоты вращения, последний по инерции переходит в область перерегулирования возрастающего давления наддува p_v . Поэтому на втором этапе по сигналу разности $p_v - p_{vopt2}$, который формируют в БЛУ 26 (рис. 3) и посылают на подсистемы 14 (ПСУ1) и 15 (ПСУ2) управления полупроводниковыми преобразователями 12 (UZ1) и 13 (UZ2), производят корректировку (снижение) мощности $P_{m/g}$ (рис. 5, б: кривая $P_{m/g}$) и электромагнитного двигательного момента БСДГ 5. Корректирующий сигнал на подсистемы управления 14 (ПСУ1) и 15 (ПСУ2) будет подаваться до тех пор, пока в момент времени t_5 разность сигналов $p_v - p_{vopt2}$ не станет равной нулю. Поскольку вращающий момент газовой турбины 4 к этому моменту устанавливается на более низком уровне в соответствии со снизившимся энергетическим потенциалом отработавших газов двигателя 1, мощность, потребляемую БСДГ 5, к концу переходного процесса устанавливают возросшей до значения $P_{m/g2}$ против

$P_{м/г1}$ предшествующего режима. На этом переходный процесс, сопровождающий сброс нагрузки с ДГ 1–2 при его загрузке статической мощностью менее 50 % от номинальной, завершается.

Переходный процесс при сбросе нагрузки с ДГ 1–2 в период его работы со статической мощностью более 50 % от номинальной (рис. 6) отличается от рассмотренного выше аналогичного процесса тем, что БСДГ 5 работает до сброса нагрузки, как отмечено, в генераторном режиме, развивая мощность $P_{м/г1}$ (рис. 6, б; кривая $P_{м/г1}$). Для этого электромашиный преобразователь 12 (UZ1) переключают в режим выпрямителя с углом управления α , а сетевой преобразователь 13 (UZ2) — инвертором с углом опережения $\beta = 180 - \alpha$. В таком режиме преобразователи и БСДГ работают с постоянным, номинальным током, развивая при неизменном магнитном потоке бустерного Д/Г 5 генераторную мощность, пропорциональную его текущей частоте вращения.

В указанном диапазоне нагрузок дизель-генератора 1–2 зависимость коэффициента α избытка наддувочного воздуха от его нагрузки (рис. 2; кривая 2) переходит на нелинейный участок своей экспоненциальной кривой, на котором можно выделить две нагрузочные зоны: менее и более значения 75 % $P_{Гн}$, отличающихся перепадом значений коэффициента α в два раза: в зоне А (нагрузка ДГ менее 75 % $P_{Гн}$) он составляет: $2,5 - 1,7 = 0,8$; в зоне Б (нагрузка ДГ более 75 % $P_{Гн}$): $1,7 - 1,3 = 0,4$. Следовательно, при сбросе одинаковой по величине нагрузки с ДГ 1–2 в этих зонах снижать производительность ТЭКН 3–5 в первой из них следует на меньшее значение, чем во второй. Указанный фактор должен быть учтен при разработке алгоритма регулирования подачи наддувочного воздуха в ДГ 1–2.

На рис. 6 представлен вариант внезапного сброса нагрузки с ДГ 1–2 при его работе в номинальном режиме (нагрузочная зона Б кривой 2 на рис. 2). В таком же — номинальном — режиме работает и БСДГ 5 (рис. 6, б; кривая $P_{м/г1}$). На первом этапе, в момент t_0 сброса нагрузки (рис. 6, а: пунктирная кривая $P_{сг}$) по сигналу « $-dP/dt$ » внезапного понижения нагрузки, формируемом датчиком 20 активной мощности ДГ 1–2 (рис. 3), блок логического управления 26 бустерным синхронным Д/Г 5 посылает команду увеличения его генераторной мощности сверх номинальной за счет перевода Д/Г 5 в режим кратковременной перегрузки (рис. 6, б; кривая $P_{м/г2}$). Для этого к выходу электромашиного

преобразователя-выпрямителя 12 (UZ1) на стороне постоянного тока контактором 34 подключают динамический резистор 35. Под действием возросшего скачком тормозного момента, создаваемого БСДГ 5, при снизившемся вращающем моменте газовой турбины 4 вследствие уменьшения подачи топлива в камеры сгорания ДГ 1–2 снижается частота вращения (рис. 6, б; кривая n_k) и производительность ТЭКН 3–5. Это вызывает понижение давления наддувочного воздуха в воздушном ресивере (рис. 6, б; кривая p_v), измеряемое датчиком 31 (рис. 3) и направляемое в БЛУ 26. Пропорционально снижению частоты вращения ТЭКН в промежутке $t_0 - t_2$ уменьшается генерируемая БСДГ 5 мощность перегрузки (рис. 6, б; кривая $P_{м/г2}$). Измеряемое в этот период давление p_v воздуха сравнивается со значением $p_{вопт2}$ для нового значения нагрузки ДГ 1–2 (хранится в памяти БЛУ 26). В момент t_2 совпадения их значений (рис. 6, б; кривая p_v) по команде БЛУ 26 динамический резистор 35 отключают. Генераторная мощность БСДГ 5 уменьшается скачком до промежуточного значения (рис. 6, б; кривая $P_{м/г2}$), определяемого его снизившейся угловой скоростью. На этом первый этап переходного процесса завершается.

В период $t_2 - t_3$ второго этапа переходного процесса ТЭКН 3–5 по инерции переходит в режим перерегулирования давления (рис. 6, б; кривая p_v). БЛУ 26 сигналом $p_v - p_{вопт2}$ обратной полярности воздействует посредством систем управления 14 (ПСУ1) и 15 (ПСУ2) на углы управления силовых транзисторов электромашиного 12 (UZ1) и сетевого 13 (UZ2) полупроводниковых преобразователей. Тем самым снижается мощность, развиваемая БСДГ 5, и тормозной момент на валу ТЭКН 3–5 (рис. 6, б; кривая $P_{м/г2}$), а его частота вращения повышается (рис. 6, б; кривая n_k). В момент t_3 сигнал $p_v - p_{вопт2}$ обратной полярности становится равным нулю, и по команде из БЛУ 26 переходный процесс завершается.

Внезапный сброс такой же нагрузки с ДГ 1–2 в нагрузочной зоне А кривой 2 (рис. 2) отличается от рассмотренного следующими признаками. С одной стороны, БСДГ 5, загруженный номинальным током, развивает в этой зоне из-за меньшей частоты вращения генераторную мощность $P_{м/г}$ менее 50 % от номинальной. С другой стороны, в этой зоне коэффициент α избытка наддувочного воздуха следует увеличить после сброса нагрузки в два раза по сравнению с зоной

Б. Значит, производительность ТЭКН 3–5 и частоту его вращения следует снизить на меньшее значение. Иными словами, кривая изменения мощности $P_{м/г}$ бустерного синхронного Д/Г 5 в переходном режиме сохранит свой вид, представленный на рис. 6, б, но при меньших значениях ее значения в начале первого этапа (момент t_0 сброса нагрузки) будет равен $P_{м/гн}$. Этого можно достичь управляющими воздействиями только на углы управления полупроводниковых преобразователей 12 (UZ1) и 13 (UZ2), не прибегая к помощи динамического резистора 35.

Если после сброса нагрузки в зоне А (рис. 2) дизель-генератор 1–2 оказывается загруженным мощностью менее 50 % от номинальной, то коэффициент α избытка наддувочного воздуха следует увеличить еще более круто, чем в нагрузочной зоне А. Вращающего момента, развиваемого газовой турбиной 4 после снижения цикловой подачи топлива, становится недостаточно для обеспечения оптимального давления $p_{вопт2}$ для понизившейся нагрузки ДГ 1–2. И тогда, в момент t_0 сброса нагрузки, БСДГ 5 переводят скачком из генераторного в двигательный номинальный режим (не показано) для увеличения частоты вращения ТЭКН 3–5, его производительности, расхода наддувочного воздуха и давления p_v до значения $p_{вопт2}$. А затем, на втором этапе переходного процесса, оперируют так, как это рассмотрено выше для режима загрузки ДГ 1–2 менее 50 % от номинальной.

На рис. 7 граф-схема рассмотренного алгоритма наглядно демонстрирует его управляющие воздействия во всех режимах.

Ограничение всплесков частоты напряжения в электросети. Рассмотренный выше двухэтапный способ регулирования подачи наддувочного воздуха при внезапном сбросе с ДГ 1–2 нагрузки улучшает экологические показатели переходного процесса, но практически не влияет на приемистость двигателя и качество электроэнергии: всплеск частоты напряжения в электросети и время ее восстановления. Данные показатели предлагается улучшить методом кратковременной (динамической) компенсации активной мощности ДГ [7], который можно использовать независимо либо в комплексе с изложенным выше способом двухэтапного регулирования подачи наддувочного воздуха.

В качестве динамического компенсатора активной мощности (КАМ) может

быть использован любой вспомогательный управляемый приемник 34 активной мощности (рис. 3), подключенный к работающему генератору так, чтобы его ток нагрузки не влиял на показания датчика 20 активной мощности. Это может быть электронагревательный прибор, подключенный непосредственно к клеммам ДГ 1–2 с помощью быстродействующего (полупроводникового) коммутатора-регулятора 35 и автоматического выключателя 36. В статических режимах работы ДГ 1–2, а также при набросе на него нагрузки, вспомогательный приемник 34 находится в отключенном состоянии при запертых полупроводниковых вентилях коммутатора-регулятора 35. Он снабжен подсистемой управления 37 (ПСУ4), соединенной с выходом « dP/dt » датчика 20 активной мощности через развязывающий диод 33, и выходом «2» субблока 27 управления переходным режимом.

Алгоритм управления КАМ состоит в следующем. При выключении в момент t_0 (рис. 5, а; рис. 6, а: пунктирная кривая P_G) штатного сетевого приемника, питаемого с шин 9 ГРЩ, датчик 20 мощности формирует сигнал « $-dP/dt$ » внезапного понижения его нагрузки. Чтобы предупредить всплеск частоты вращения ДГ 1–2, этот сигнал посылают через диод 33 на вход «1» подсистемы управления 37 (ПСУ4) полупроводниковым коммутатором-регулятором 35. С помощью последнего подают питание на вспомогательный приемник 34, мощность которого равна мощности отключенного штатного сетевого приемника, непосредственно с клемм ДГ 1–2. В результате этой операции момент сопротивления на коленчатом валу двигателя 1 в момент t_0 не меняется (рис. 5, а; рис. 6, а: сплошная кривая P_G), и всплеск частоты вращения ДГ 1–2 практически незаметен.

Другим сигналом « $-\Delta P$ » датчик 20 активной мощности ДГ приступает с задержкой t_{37} , равной постоянной времени МРПТ 17, к уменьшению цикловой подачи топлива (рис. 5, а; рис. 6, а: кривая g_s). Сигнал снижения топливоподачи с датчика 21 положения топливной рейки 19 приходит в СБУПР 27, с выхода «2» которого снимают и посылают на вход «2» подсистемы управления 37 (ПСУ4) коммутатором-регулятором 35 сигнал плавного снижения потребляемой мощности включенным вспомогательным приемником 34. Это достигается за счет изменения угла управления полупроводниковыми вентилями его коммутатора-регулятора 35 со скоростью, равной скорости понижения подачи

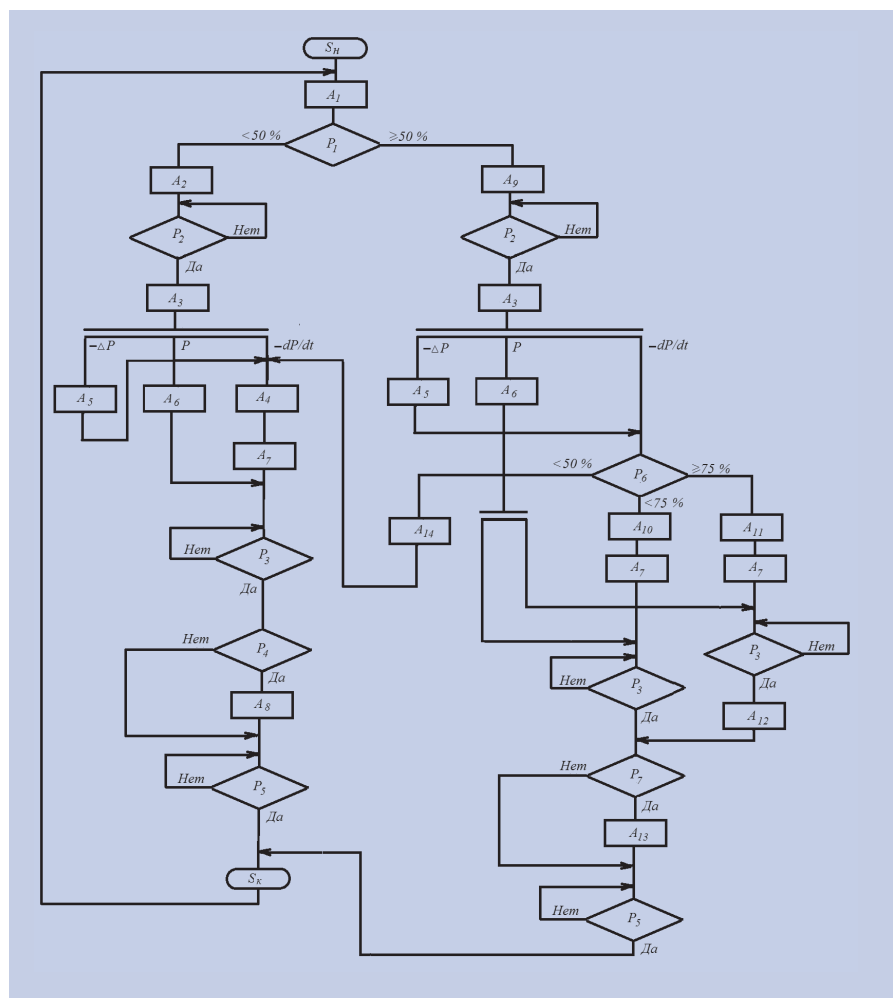


Рис. 7. Граф-схема алгоритма управления системой воздухообеспечения первичного двигателя генератора в переходном режиме после сброса нагрузки: s_n – начало алгоритма: работа ДГ в установившемся режиме; s_k – конец алгоритма; A_1 – измерение нагрузки ДГ; A_2 – БСДГ работает двигателем; A_3 – измерение параметров нагрузки ДГ в переходном режиме; A_4 – форсировка двигательной мощности БСДГ до номинальной; A_5 – изменение цикловой подачи топлива; A_6 – определение значения $P_{омт2}$ для снизившегося значения P нагрузки ДГ; A_7 – измерение давления воздуха p_a ; A_8 – плавное снижение двигательной мощности БСДГ и частоты вращения компрессора; A_9 – БСДГ работает генератором; A_{10} – форсировка генераторной мощности БСДГ до номинальной; A_{11} – форсировка генераторной мощности БСДГ сверх номинальной (режим перегрузки); A_{12} – снятие перегрузки БСДГ; A_{13} – плавное снижение генераторной мощности БСДГ; P_1 – текущая нагрузка ДГ; A_{14} – переключение БСДГ в режим двигателя; P_2 – внезапный сброс нагрузки; P_3 – « $p_a = p_{омт2}$ »; P_4 – « $p_a > p_{омт2}$ »; P_5 – повторно « $p_a = p_{омт2}$ »; P_6 – текущая нагрузка ДГ в режиме более 50 % номинальной; P_7 – « $p_a < p_{омт2}$ ».

топлива в камеры сгорания двигателя (рис. 5, а; рис. 6, а: сплошная кривая $P_{кам}$). К моменту окончания уменьшения подачи топлива в двигатель ДГ 1–2 вспомогательный приемник 34 оказывается снова отключенным, а статическая нагрузка ДГ 1–2 при этом снижается до значения P_{G2} (рис. 5, а; рис. 6, а: сплошная кривая P_G). В итоге колебание частоты напряжения генератора 2 будет происходить по сплошной кривой 1 на рис. 5, в и рис. 6, в с меньшими значениями амплитуды Δf_1 всплеска частоты напряжения и временем t_1 ее восстановления.

При этом функциональные узлы системы регулирования подачи топлива и наддувочного воздуха ДГ 1–2 при сбросе нагрузки работают так, как описано выше.

При набросе нагрузки на ДГ 1–2 сигнал « $+dP/dt$ », формируемый датчиком 20 (рис. 3), на КАМ влияния не оказывает, так как этот сигнал положительной полярности не пропускается развязывающим диодом 33 на вход «1» подсистемы 37 (ПСУ4) управления коммутатором-регулятором 35.

В комплект оборудования БСДГ 5 (рис. 3) входит вспомогательный модуль 16 бесперебойного питания и его подсистема управления 22, предназначенные для запуска БСДГ 5 в режиме двигателя на период ввода в действие резервного ДГ 1–2 при обесточенной электрической сети [7]. Это необходимо для обеспечения гарантированного пуска первичного двигателя 1 с первой попытки, чтобы уско-



рить возобновление электроснабжения при нештатной ситуации.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Комбинированный турбоэлектрический привод компрессора наддува является эффективным решением по оптимизации подачи воздуха для первичных двигателей генераторов, нацеленной на улучшение их экономических и экологических характеристик в установившихся и переходных режимах.

2. Разработан алгоритм управления турбоэлектрической системой наддува ДГ в переходных режимах при внезапном сбросе нагрузки. В комплексе с аналогичным алгоритмом, ранее предложенным в [5, 6] для внезапного наброса нагрузки, он составляет альтернативную технологию адаптивного регулирования подачи воздуха для дизельного двигателя, направленную на достижение полноты сгорания топлива с минимальным ущербом для окружающей среды.

Технология может оказаться полезной любой отрасли экономики, в которой находит применение дизельный привод, прежде всего, автономной электроэнергетике и подвижному транспорту: морскому, речному, железнодорожному, автомобильному. Ее применение эффективно для главных судовых двигателей при плавании

судна в штормовую погоду, когда нагрузка на валу двигателя циклично меняется в такт с волнением моря.



Литература

1. Данилович, А. П. Экологичный и энергосберегающий турбонаддув дизель-генераторов / А. П. Данилович, П. М. Радченко // Мат. 9-й Межд. науч.-практ. конф. FEBRAT-11 «Проблемы транспорта ДВ». — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. — С. 156–157.
2. Радченко, П. М. Адаптивный турбонаддув дизель-генераторов / П. М. Радченко, А. Г. Резник, А. П. Данилович, // Транспорт РФ. Морской и речной транспорт. Судостроение. — 2015. — № 4 (59). — С. 53.
3. Патент 2488708 РФ. МПК⁶ F02D29/06, F02D41/06. F01M 5/02, H02P 9/08. Способ автоматизированного управления синхронным дизель-генератором / П. М. Радченко, А. П. Данилович. Мор. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского. — № 2011137398/06; заяв. 09.09.2011; опуб. 27.07.2013; бюл. № 21 // Открытия. Изобр. — 2013. — № 21.
4. Марков, В. А. Токсичность отработавших газов дизелей / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов — М., 2002. — 376 с.
5. Патент 2637793 РФ. МПК⁶ F02D29/06, F02D23/00, F01M5/00, H02P9/00. Способ автоматического регулирования давления наддувочного воздуха дизель-генератора в динамических режимах / П. М. Радченко, А. П. Данилович. Мор. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского. — № 2015117174; заяв. 05.05.2015; опуб. 12.07.2017; номер публ. пат.: 34.
6. Радченко, П. М. Комбинированный двухэтапный наддув дизель-генератора в переходных режимах. / П. М. Радченко, В. Е. Крашенинин, М. А. Макаев // Двигателестроение. — 2020. — № 2 (280). — С. 13–18.
7. Патент 2714022 РФ. МПК⁶ F02D29/06, F02D23/00 F01M5/00, H02P9/00. Способ адаптивного автоматического регулирования давления наддувочного воздуха дизель-генератора / П. М. Радченко. Мор. гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского. — № 2018112122; заяв. 03.04.2018; опуб. 11.02.2020: бюл. № 5.
8. Цыпленкин, Г. Е. Улучшение топливной экономичности двигателей за счет оптимизации систем наддува / Г. Е. Цыпленкин, В. И. Иовлев // Двигателестроение. — 2014. — № 2. — С. 16–22.
9. Лицкевич, С. А. Оценка надежности микротурбинных генераторов при использовании их на береговых объектах морского транспорта / С. А. Лицкевич // Наука и транспорт, морской и речной транспорт. — 2012. — № 2. — С. 66–68.

Методика оценки уровня обслуживания велосипедного движения



В. Н. Мячин,
д-р техн. наук, профессор,
генеральный директор
Научно-исследовательско-
го и проектного институ-
та территориального
развития и транспортной
инфраструктуры
(НИПИ ТРТИ)



В. А. Флячинский,
канд. воен. наук,
главный специалист
НИПИ ТРТИ



В. В. Шуляев,
заместитель
генерального директора,
руководитель департа-
мента транспортных
систем НИПИ ТРТИ



М. Г. Кондрашкин,
руководитель проектного
направления пассажирских
перевозок и грузовой
логистики НИПИ ТРТИ

В статье проведены результаты анализа существующих методических подходов к оценке качества велосипедной инфраструктуры на основе международного опыта, которые позволили разработать методический подход к оценке качества уровня велосипедного движения без привлечения сложных инструментальных замеров состояния велосипедной инфраструктуры.

Разработка предложений для проектировщиков и заинтересованных лиц по развитию велосипедного движения в городах требует оценки состояния существующей инфраструктуры и возможностей свободного и безопасного перемещения велосипедистов. Для реализации данного мероприятия не всегда возможно провести сложные инструментальные замеры состояния велосипедной инфраструктуры, а в некоторых случаях и нет такой необходимости.

Сегодня система критериев оценки не сформирована. Общий подход, который используется в разных странах, в том числе и в России [1], позволяет оценить велосипедную маршрутную сеть, но не дает оценки технического состояния самих велодорожек и условий движения велосипедистов.

Для технической оценки велодорожной инфраструктуры необходимо специализированное оборудование, позволяющее обследовать состояние дорожного покрытия. После обработки полученной информации выдается общая оценка состояния улично-дорожной сети, включая оценку велотранспортной инфраструк-

туры. Эта информация не дает четкого понимания качества велосипедной инфраструктуры и велосипедного движения в целом, только состояния дорожного покрытия. Оба метода параллельны и требуют привлечения дополнительных ресурсов.

Для решения этого комплексного вопроса в США и странах Евросоюза разработаны рекомендации по оценке [2, 3] для проектных организаций. Но они не адаптированы под местные условия.

Обобщив данные из международных рекомендаций, мы предлагаем методический подход, который позволяет без привлечения большого числа специалистов и технических средств обследовать и выработать предложения по улучшению велосипедного движения.

Методический подход к оценке уровня обслуживания велосипедного движения

Качество велосипедного движения в мировой практике оценивается уровнем сервиса (Level of Service — LOS) [2, 3], это наиболее распространенный показатель. Основная методика основывается на рекомендациях Национального управления транспорта Дублина, действующего под эгидой Ирландского департамента транспорта, туризма и спорта [3].

Измерение уровня обслуживания велосипедной инфраструктуры производится по пяти критериям. Они описывают передвижения на велосипеде в зависимости от условий движения пешеходов и транспорта, технического состояния существующей инфраструктуры, созданной для велодвижения. Значимость критерия определяется числовыми или процентными значениями. [3].

Pavement Condition Index (PCI) показывает состояние дорожного покрытия

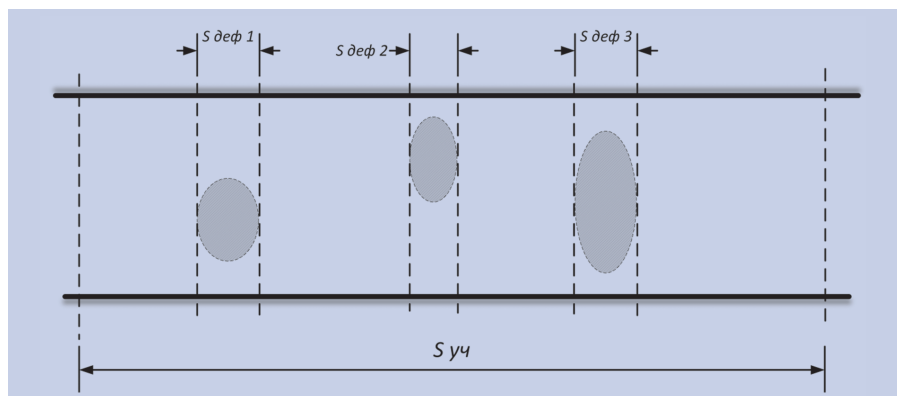


Рис. 1. Схема участка велотранспортной сети с выявленными дефектами для определения величины значений показателя PCI

и учитывает типичные дефекты улично-дорожной сети, используемой для движения велосипедистов. Показатель определяется на основании визуального контроля по шкале оценки качества состояния дорожного покрытия от 0 до 100.

Число соседних велосипедистов учитывает ширину велосипедной дорожки и описывает возможность передвижения на велосипеде в два ряда в одном направлении и/или обгона. Значение «2+1» показывает перемещение велосипедистов в два ряда плюс один на обгон.

Количество конфликтов — мера потенциальных препятствий для велосипедиста на протяжении участка движения длиной в 100 м. Основные препятствия: автобусные остановки, выезды из дворов, пересечения и примыкания улиц и дорог, пешеходные переходы, парковки для автомобилей и т. д.

Временная задержка в передвижении — мера фактической временной задержки на маршруте с учетом задержки времени на регулируемых и нерегулируемых перекрестках. Определяется как процент общего времени задержек от общего времени поездки. При расчете общего времени поездки принимается средняя маршрутная скорость велосипедиста 15 км/ч.

Влияние большегрузных автомобилей — общее количество грузовых автомобилей и автобусов, двигающихся параллельно с велосипедистом, определяемое как процент от общего трафика в час пик.

Градации уровней обслуживания представляется следующим образом:

- уровень А+ — свободный поток движения велосипедистов, свободные условия для выполнения маневров, задержки на регулируемых перекрестках отсутствуют или минимальны, высокое качество покрытия велосипедных дорожек;

- уровень А — свободный поток, свободные условия для выполнения маневров, задержки на регулируемых перекрестках минимальны, нормальное качество покрытия велосипедных дорожек;

- уровень В — незначительные помехи движению и выполнению маневров, задержки на регулируемых перекрестках незначительны, покрытие велосипедных дорожек имеет незначительное разрушение верхнего слоя;

- уровень С — стабильный поток, но маневры на перекрестках затруднены, затруднен обгон велосипедистами на протяжении участка движения, уменьшение средней скорости движе-

ния, разрушения дорожного покрытия;

- уровень D — снижение скорости сообщения, затруднен обгон велосипедистами на протяжении участка движения, плохая координация режимов регулирования светофоров, создающая условия для образования заторов на перекрестках, низкое качество покрытия велосипедной дорожки или его отсутствие.

Уровень обслуживания велосипедных маршрутов оценивается по протяженности участков улично-дорожной сети, оборудованных велоинфраструктурой и без нее, где планируется движение велосипедистов, а также количеству пересечений дороги по регулируемым и нерегулируемым перекресткам. В соответствии с общей методикой, оценке подлежат следующие элементы велотранспортной инфраструктуры:

- велодорожки, предназначенные только для движения велосипедистов;
- велодорожки, предусматривающие совмещенное движение велосипедистов и пешеходов;
- велодорожки с пересечением нерегулируемых перекрестков;
- велодорожки с пересечением перекрестков со светофорным регулированием;

ванием;

- участки городских улиц для совместного движения автотранспорта и велосипедистов с пересечением перекрестков или выездов из территорий.

Расчет показателей производится по результатам натурного обследования существующей велосипедной сети.

Показатель Pavement Condition Index (PCI) определяется на основе визуальной экспертной оценки дорожной сети, по которой организовано велосипедное движение, включая существующие велосипедные дорожки и участки совместного движения с транспортом. Значения показателя определяются по площадям и линейным параметрам выявленных дефектов состояния улично-дорожной сети, представленным в табл. 1.

Значение показателя, характеризующего степень дефекта участка сети, определяется как отношение площади всех участков с рассматриваемым дефектом ($S_{\text{деф}}$) к общей площади обследуемого участка сети ($S_{\text{уч}}$) (рис. 1).

Полученное значение каждого из дефектов оценивается по балльной системе в соответствии с табл. 1 и суммируется, а затем выявляется значение уровня ка-

Таблица 1. Определение значения показателя по выявленным дефектам на велотранспортной сети

№ п/п	Название повреждения на участке велосипедной сети	Значение повреждения	Баллы
1	Общая площадь покрытия участка, предназначенного для движения велосипедов, поврежденного необработанными трещинами с шириной раскрытия до 1 см (от площади обследуемого участка)	до 10 %	30–27
		10–20 %	26–23
		20–30 %	22–19
		30–50 %	18–15
		51 % и более	14–0
2	Допустимая площадь участка, предназначенного для движения велосипедов, с наличием колеи, гребенки, отдельных выбоин или нарушением профиля покрытия глубиной/высотой не более 2 см (в % от площади обследуемого участка)	до 10 %	30–27
		10–20 %	26–23
		20–30 %	22–19
		30–50 %	18–15
		51 % и более	14–0
3	Допустимая площадь отдельных повреждений, просадок и застоя воды глубиной до 2 см (от площади обследуемого участка) в местах временной или постоянной стоянки велосипедов	до 10 %	30–27
		10–20 %	26–23
		20–30 %	22–19
		30–50 %	18–15
		51 % и более	14–0
4	Допустимый перепад высот в местах пересечения участка, предназначенного для движения велосипедов, с элементами УДС (бордюрный камень, сопряжение с мостом и т. д.)	нет	10–9
		менее 1 см	8–7
		до 2 см	6–5
		до 3 см	4–3
		до 4 см	2–0

Примечание. Величина значения, превышающего значение показателя дефекта в таблице, считается критической для велосипедной дорожки или участка сети, что приводит к невозможности пользования данной инфраструктурой. Для расчета данный элемент необходимо отнести к категории LOS D.

Таблица 2. Значения критериев оценки уровня обслуживания велосипедного движения

Качество обслуживания	Pavement Condition Index (PCI)	Число смежных велосипедистов	Количество конфликтов	Временная задержка в передвижении	Влияние большегрузных автомобилей (% от общего объема трафика)
Уровень А+	86–100	2+1	0–1	0–5 %	0–1 %
Уровень А	66–85	1+1	0–1	6–10 %	0–1 %
Уровень В	51–65	1+1	1–3	11–25 %	2–5 %
Уровень С	41–50	1+0	4–10	26–50 %	6–10 %
Уровень D	20–40	1+0	>10	>50 %	>10 %

чества обслуживания (LOS) по табл. 2.

Показатель временной задержки в передвижении учитывает потери времени на все вынужденные остановки или снижение скорости передвижения велосипедистов на маршруте, которые включают в себя время на движение по перегону и пересечение перекрестков.

Задержка времени на перегонах велосипедной сети может быть связана со снижением скорости из-за препятствий, возникающих на пути (дефекты дорожек, остановки общественного транспорта или иные объекты на пути движения, а также пешеходы, пересекающие дорожку или следующие по ней).

Задержки времени на перекрестках разделяются на задержки пересечения регулируемых и нерегулируемых перекрестков. Задержка времени при пересечении нерегулируемого перекрестка ($t_{\text{перекр.}}$) принимается равной 6–8 с (при пересечении двухполосной дороги). Показатель выявлен аналитически.

Значение задержки при пересечении регулируемого перекрестка определяется по результатам обследований на основе средней длительности фазы светофорного регулирования, в которой разрешено движение велосипедистов в данном направлении на характерных перекрестках по трассе обследуемого маршрута. Полученное числовое значение в дальнейшем принимается для расчетов на данном участке велосипедной сети.

Таким образом, расчетное время движения велосипедиста по участку маршрута определяется по формуле:

$$t_{\text{расч}} = t_{\text{движ}} + \sum t_{\text{рег}} + \sum t_{\text{перекр.}}$$

где $t_{\text{расч}}$ – расчетное время движения велосипедиста по обследуемому маршруту;

$t_{\text{движ}}$ – общее время движения велосипедиста по обследуемому маршруту без учета задержек на перекрестках;

$\sum t_{\text{рег}}$ – время ожидания велосипедиста при пересечении регулируемого перекрестка;

$\sum t_{\text{перекр.}}$ – время ожидания велосипедиста при пересечении нерегулируемого перекрестка (принимается равным 6–8 с).

Полученное значение времени движения велосипедиста по данному участку маршрутной сети ($t_{\text{расч}}$) сравнивается с фактическим ($t_{\text{факт}}$) значением времени проезда велосипедиста по участку (по результатам натурного обследования). Полученное процентное значение разницы задержки времени при движении велосипедиста сравнивается со значением в табл. 2 и определяется уровнем обслуживания велосипедного движения LOS на данном участке.

Качество уровня обслуживания велосипедного движения (LOS) оценивается от уровня А+ (самый высокий) к уровню D (самый низкий). Определение общей величины конкретного LOS для участка основывается, по крайней мере, на четырех одинаковых значениях уровня из пяти критериев. Пятый показатель может быть на один уровень ниже. Например, у маршрута, соответствующего четырем критериям на уровне В и одному на уровне С, выставляется уровень В.

Итоговые результаты метода позволяют произвести совокупную оценку как велосипедного движения (качество маршрутной сети), так и велосипедной инфраструктуры (качество дорожного покрытия). При этом метод не требует привлечения специалистов и применения специального оборудования для оценки качества дорожного покрытия.

Методический подход был апробирован при оценке качества существующего велосипедного движения в Полоцке (Беларусь). Оценка качества состояния велосипедной инфраструктуры от производства замеров до выдачи результатов составила два рабочих дня при минимальных затратах, что позволило сэкономить финансовые и человеческие ресурсы во время камеральных работ. Полученные результаты позволили администрации города выявить проблемные участки на сети и выработать предложения по их устранению.

Описанный методический подход предлагается заинтересованным лицам для оценки качества существующего

велосипедного движения, разработки проектов развития велосипедной инфраструктуры в городах, если не предусмотрены иные подходы к реализации данной задачи.

Полученная оценка качества с указанием проблемных мест отражается в работах по обоснованию строительства и развития велосипедной инфраструктуры. Органы местного самоуправления при формировании документов смогут предусмотреть мероприятия, направленные на проведение ремонтных или строительных работ подрядными организациями. ■

Литература

1. Велотранспортная инфраструктура. Принципы и практика проектирования / пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 272 с.
2. Highway Capacity Manual. – TRB, Washington, DC, 2010. – 1475 p.
3. National Cycle Manual. National Transport Authority. – Dublin, 2011. – 227 p.
4. Руководство по развитию велодорожек AASHTO Executive Committee (США) / пер. с англ. – [Б.м.], 1999. – 78 с.
5. CBA of Cycling. TemaNord 2005:556. Nordic Council of Ministers. – Copenhagen, 2005. – 556 с.
6. Евсеева, А. И. Мониторинг велосипедного трафика в условиях города // Государственное управление. – 2017. – № 64. – С. 82–108.
7. Завьялов, Д. В. [и др.] Концепция и структура мониторинга велотранспортной инфраструктуры в г. Москве // Российское предпринимательство. – 2018. – Т. 19. – № 4. – С. 1273–1288.
8. Методические рекомендации по разработке мероприятий по организации дорожного движения. Требования к планированию развития инфраструктуры велосипедного транспорта поселений, городских округов в РФ / Митранс России. – М., 2018.
9. Шелмаков, П. С. Методика оценки эффективности веломаршрута / П. С. Шелмаков, С. В. Шелмаков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 9–1 (16). – С. 131–134.
10. Галышев, А. Б. Решение экологических и социально-экономических проблем крупных городов путем развития велосипедного движения / А. Б. Галышев, Ю. В. Трофименко // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–3. – С. 318–319.
11. Трофименко, Ю. В. [и др.] Велосипедный транспорт в городах. – М.: МАДИ, 2020. – 154 с.

Численная оценка остаточных напряжений в длинномерных рельсах после дифференцированной заковки и механической правки



В. С. Коссов,
д-р техн. наук, проф.,
генеральный директор
АО «Научно-иссследо-
вательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКИ»)



А. Л. Протопопов,
канд. техн. наук,
старший научный
сотрудник АО «ВНИКИ»



Г. М. Волохов,
д-р техн. наук,
заведующий отделением
динамики и прочности
подвижного состава
и инфраструктуры
АО «ВНИКИ»



Э. С. Оганьян,
д-р техн. наук,
главный научный
сотрудник отдела
прочности
АО «ВНИКИ»

Разработанная методика моделирования и расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) длинномерных рельсов позволяет с повышенной точностью оценить напряженно-деформированное состояние исследуемых конструкций и обеспечивает графическое отображение результатов расчета.

От надежности и долговечности рельсов как одного из важнейших элементов железнодорожного пути во многом зависит безопасность эксплуатации железнодорожного транспорта. На усталостную прочность существенно влияет распределение полей остаточных напряжений и деформаций по сечению рельса и длине, появляющихся вследствие технологических особенностей его изготовления. Одна из самых частых причин разрушения рельсов — высокий уровень остаточных напряжений, которые могут достигать предела текучести, особенно в зоне дефектов [1–3].

Процесс изготовления рельсов состоит из трех основных этапов: горячая прокатка, заковка и правка. После первого этапа температура рельса более 850 °С, на втором этапе он подвергается дифференцированной заковке и остывает до температуры окружающей среды. При этом распад переохлажденного аустенита на фракции придает материалу рельса определенные механические свойства. В результате этих процессов рельс искривляется, а в материале появляются остаточные деформации и напряжения вследствие разной скорости охлаждения различных частей рельса. На третьем этапе рельс подвергается механической правке на рельсоправильной машине (РПМ) — проходит ряд изгибных циклов для устранения непрямолинейности. Происходит не только глобальный упругопластический изгиб рельса, но и пластические деформации вследствие контактного взаимодействия рельса с роликами.

Решению задачи определения остаточных напряжений после финальной стадии изготовления рельсов посвящены зарубежные и отечественные работы [4–10]. Не все методики в этих работах достаточно точны. Некоторые основаны на двумерных моделях, в них используется упрощенная геометрия, не учитываются контактные пластические деформации, остаточные напряжения после заковки оцениваются по косвенным характеристикам (раскрытие паза). В настоящей работе для моделирования и прогнозирования распределения напряжений при заковке и правке применен трехмерный термоупругопластический расчет по методу конечных элементов, использующий истинную геометрию рельса Р65. Математическая модель учитывает сложные физические явления в ходе этого процесса: структурные изменения

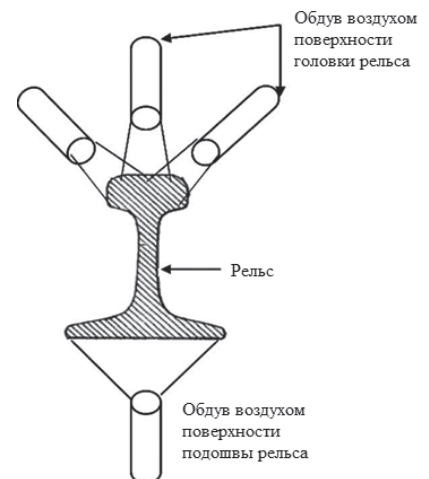


Рис. 1. Схема дифференцированной заковки рельса

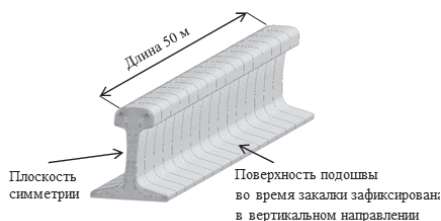


Рис. 2. Расчетная конечно-элементная модель рельса

и существенную нелинейность физико-механических свойств материала рельса в условиях высоких температур.

В результате проведенных исследований получены распределения остаточных напряжений и деформаций в рельсе после дифференцированной закалки и правки на РПМ. Показано удовлетворительное совпадение полученных результатов с экспериментальными данными.

Математическое моделирование НДС длинномерных рельсов после дифференцированной закалки

Метод исследования. Моделирование процесса дифференцированной закалки состоит из двух связанных частей: нелинейного переходного термического анализа и нелинейного статического структурного анализа.

Численный метод исследования процесса закалки рельса подразумевает решение задачи нестационарной теплопроводности, когда температура в исследуемом теле меняется со временем в результате конвективного обмена его поверхности с внешним подвижным теплоносителем. Схема обдува воздухом поверхности длинномерного рельса, принятая в этой работе, представлена на рис. 1. Аналогичная схема приводится в [11] и реализована на АО «Евраз 3СМК». При дифференцированной закалке в качестве теплоносителя используется воздух.

Как показано на рис. 1, дифференцированная закалка заключается в обдуве воздухом разного давления поверхности головки рельса и его подошвы. Авторы расширили эти исследования в рамках этой расчетной математической модели, варьируя коэффициенты теплоотдачи по поверхности головки и подошвы.

Было обнаружено, что в результате неравномерного изменения температуры в объеме материала рельса происходят структурные превращения (возможное наличие разных фаз состояния материала, таких как аустенит, перлит, бейнит и мартенсит). Вследствие неравномерности температуры и фазового состояния материала возможно возникновение

необратимых пластических деформаций, которые и приводят к конечным остаточным напряжениям и искажениям формы рельса после закалки.

Авторы использовали так называемый метод связанной задачи, когда на каждом временном шаге решается задача НДС с учетом разного фазового состояния материала рельса.

Математическая модель. Условия охлаждения при закалке рельса подразумевают применение принципа симметрии при формировании расчетной модели. На рис. 2 показана конечно-элементная модель половины 100-метрового рельса. Здесь же показаны кинематические граничные условия. В плоскости симметрии фиксируются перемещения в продольном направлении рельса. По подошве фиксируются перемещения в вертикальном направлении во время закалки. При дальнейшем остывании рельса после закалки ограничения по этим перемещениям снимаются. В плоскости сечения и по длине рельса на основании серии расчетов был подобран необходимый размер конечного элемента, обеспечивающий уверенность в достоверности полученных результатов расчета.

Материал и его свойства. При расчетах использовалась рельсовая сталь марки Э76Ф. Физико-механические свойства и параметры термокинетической диаграммы для фазовых составляющих при распаде переохлажденного аустенита взяты из [12].

Условия теплообмена и режима закалки. Условия теплообмена выбирались на основании результатов исследований, приведенных в [10], исходя из того, что при начальных температурах термообработки 850 °С и соответствующих скоростях охлаждения в диапазоне 2...3,3 град/с получаются наиболее стабильные результаты по однородной перлитной микроструктуре всего сечения рельса и необходимым механическим свойствам приповерхностной области катания головки рельса.

В ходе решения задачи нестационарной теплопроводности использовалось граничное условие, при котором задается зависимость теплоотдачи между поверхностью тела и окружающей средой согласно закону Ньютона — Рихмана:

$$q = \alpha(T_{\text{п}} - T_{\text{ср}}), \quad (1)$$

где q — плотность теплового потока, Вт/м²;
 α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С);
 $T_{\text{п}}$ — температура поверхности тела, °С;
 $T_{\text{ср}}$ — температура окружающей среды, °С.

При расчетах начальная температура рельса и, соответственно, его поверхности принималась равной 850 °С, а температура окружающей среды 20 °С. Время закалки принималось равным 120 с [11]. Коэффициент теплоотдачи при закалке для серии расчетов подбирался так, чтобы обеспечить вышеуказанные скорости охлаждения головки рельса. Далее по поверхности головки он не менялся. По поверхности основания подошвы при расчетах коэффициент теплоотдачи варьировался в процентном соотношении к величине коэффициента теплоотдачи на поверхности головки рельса для исследования влияния синхронизации структурных изменений в материале на конечное НДС рельса после его закалки.

Результаты расчетов. На рис. 3 представлены результаты окончательного искривления рельса после его охлаждения до температуры окружающей среды в виде зависимости вертикальных перемещений его концов относительно середины от процентного соотношения K коэффициентов теплоотдачи при закалке по подошве $\alpha_{\text{п}}$ и при закалке по головке $\alpha_{\text{г}}$:

$$K = \frac{\alpha_{\text{п}}}{\alpha_{\text{г}}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Из рис. 3 видно, что есть оптимальное соотношение между коэффициентами теплоотдачи на головке и подошве рельса, при котором рельс после закалки принимает прямолинейную форму.

На рис. 4 показано распределение остаточных продольных напряжений, перпендикулярных сечению рельса после закалки. Анализ рисунка показывает, что уровень остаточных напряжений по сечению рельса меняется от –185 до 108 МПа. На поверхности головки они сжимающие и меняются в диапазоне от –80 до –185 МПа. На поверхности подошвы присутствуют растягивающие напряжения уровня 100 МПа в середине и сжимающие напряжения на кромках — около 100 МПа. В середине шейки рельса напряжения близки к нулевым.

Математическое моделирование НДС длинномерных рельсов после правки

Наиболее распространена правка знакопеременным упругопластическим изгибом на РПМ (рис. 5). Под настройкой РПМ понимают задание величин вертикальных перемещений роликов относительно «нулевого» положения.

На рис. 6 показана конечно-элементная модель для моделирования правки.

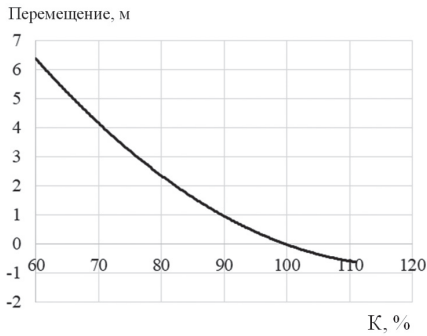


Рис. 3. Зависимость искривленности концов рельса относительно его середины от коэффициента K

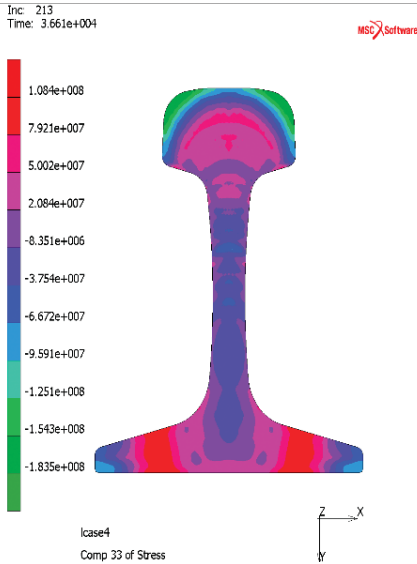


Рис. 4. Поле продольных остаточных напряжений σ в сечении рельса

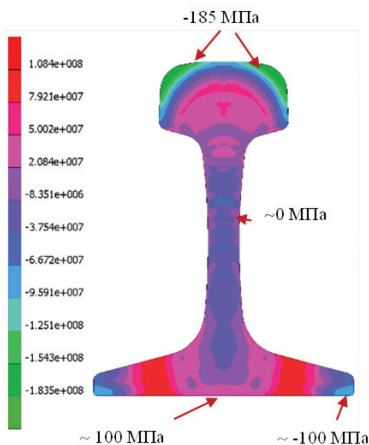


Рис. 8. Продольные остаточные напряжения σ (расчетные) в срединном сечении 100-метрового рельса: а) после его дифференцированной закалки; б) после холодной правки

Ролики моделировались как абсолютно жесткие тела. Принимается во внимание контактное взаимодействие между ними и рельсом с учетом трения и вращения роликов.

При закалке рельса последующее остаточное изменение геометрии рельса при остывании характеризуется постоянным значением кривизны в вертикальной плоскости вдоль рельса. Поэтому для

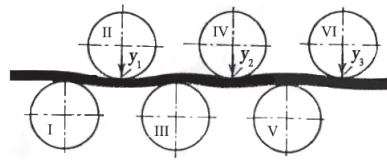


Рис. 5. Схема роликовой правильной машины РПМ-2: y_1, y_2, y_3 — прогибы рельса при правке

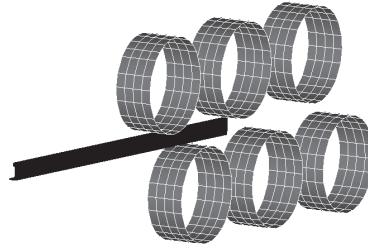


Рис. 6. Конечного-элементная модель правки рельса

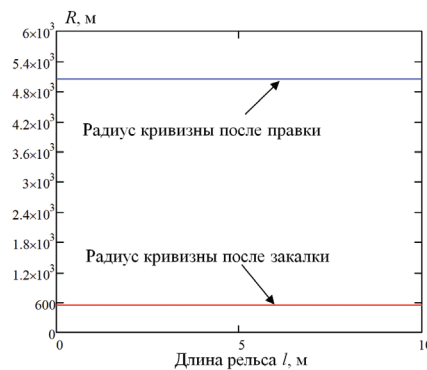


Рис. 7. Радиусы кривизны рельса R , м

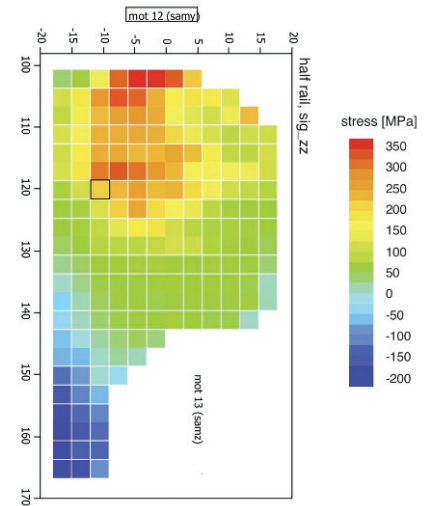
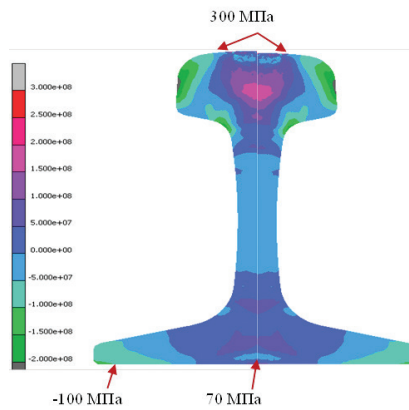


Рис. 9. Продольные остаточные напряжения σ (экспериментальные) в образце длиной 300 мм, полученные методом нейтронной дифракции после закалки и холодной правки рельса компанией ArcelorMittal

кривизны рельса до механической правки и после нее.

Таким образом, радиус кривизны рельса меняется с 600 м после закалки до 5000 м после механической правки. Отклонение от прямолинейности в вертикальной плоскости на базовой длине 1 м после правки составило 0,1 мм.

На рис. 8 видны распределения расчетных остаточных продольных напряжений в поперечном сечении рельса после закалки и правки, на рис. 9 — полученные экспериментально после правки. Следует отметить, что наблюдается качественное изменение их величин в поверхностном слое головки рельса с сжимающих на растягивающие, что подтверждается экспериментальными исследованиями [14].

После дифференцированной закалки длинномерных рельсов без холодной правки в целом складывается благоприятная картина распределения поля остаточных напряжений — сжимающие напряжения у поверхности головки рельса и кромок его подошвы. В середине шейки рельса напряжения практически нулевые. Однако после холодной правки на РПМ распределение напряжений при конечной значительной искривленности рельса в его вертикальной плоскости может серьезно измениться. У поверхности катания, там, где были сжимающие напряжения, могут появиться растягивающие, способные отрицательно влиять на усталостную долговечность рельса [12, 13]. По предложенной методике возможна оптимизация условий закалки для минимизации искривления рельса, рационализации технологии и конструкции правильных машин.

Литература

1. Электромагнитно-акустический метод исследования напряженно-деформированного состояния рельсов / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, А. В. Платунов и др. // Дефектоскопия. — 2016. — № 7. — С. 12–19.
2. Формирование структурно-фазовых градиентов в рельсах при длительной эксплуатации / Ю. Ф. Иванов, К. В. Морозов, О. А. Перегудов и др. // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2015. — № 3. — С. 59–65.
3. Эволюция структурно-фазовых состояний рельсов при длительной эксплуатации / Ю. Ф. Иванов, В. Е. Громов, О. А. Перегудов и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2015. — Т. 58. — № 4. — С. 262–267.
4. Simulation of Crack Propagation of Fatigue in Iran Rail Road Wheels and Effect of Residual Stresses / Masoudi Nejad R., et al. // Proceedings of the 21st International Conference on Mechanical Engineering Tehran. — Iran, 2013.
5. Effect of Wear on Rolling Contact Fatigue Crack Growth in Rails / Masoudi Nejad R., et al. // Tribology International. — 2016. — Vol. 94. — P. 118–125.
6. A Study on the Vibrational Effects of Adding an Auxiliary Chassis to a 6-Ton Truck / Hadipour M., et al. // Journal of American Science. — 2011. — Vol. 7. — № 6. — P. 1219–1226.
7. Biempica, C. B. Nonlinear Analysis of Residual Stresses in a Rail Manufacturing Process by FEM / Biempica C. B., et al. // Applied Mathematical Modeling. — 2009. — Vol. 33. N 1. — P. 34–53.
8. Муравьев, В. В. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов при изготовлении / В. В. Муравьев, К. А. Тапков // Приборы и методы измерений. — 2017. — Т. 8. — № 3. — С. 263–270.
9. Храмова, Д. А. Расчет и моделирование остаточных напряжений в рельсе Р65 / Д. А. Храмова, Д. А. Егорова, Я. Д. Жилин // Политехнический молодежный журнал МГТУ им. Н. Э. Баумана. — 2018. — № 1. — С. 1–8.
10. Покровский, А. М. Численное моделирование температурно-структурного и напряженного состояний в процессе закалки железнодорожного рельса / А. М. Покровский, Ю. В. Воронов, Д. Н. Третьяков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. — 2016. — № 6. — С. 13–20.
11. Полевой, Е. В. Разработка ресурсосберегающей технологии дифференцированной термической обработки длиномерных железнодорожных рельсов: специальность 05.16.01: дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. — Новокузнецк, 2018. — 132 с.
12. Термически упрочненные рельсы / А. Ф. Золотарский, Я. Р. Раузин, Е. А. Шур и др. — М.: Транспорт, 1976. — 264 с.
13. Результаты испытаний рельсов, подвергнутых дифференцированной закалке с прокатного нагрева, влияние особенностей технологии производства на их свойства / А. И. Борц, Е. А. Шур, В. А. Рейхарт и др. // Промышленный транспорт. XXI век. — 2009. — № 4. — С. 32–36.
14. Kizildemir, S. Defect Growth Characterization in Modern Rail Steel. A Thesis. URL: <https://preserve.lehigh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5295&context=etd>. (дата обращения: 26.02.2021)

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОРТАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Портал **ROSTRANSPORT.COM** — это информационная площадка для встречи специалистов транспорта.

Пишите,
и Ваше мнение узнает
вся транспортная
Россия.



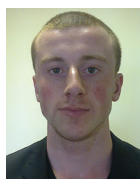
Требования к шумо- и виброизоляции в современных конструкциях трамвайного пути



Е. П. Дудкин,
д. т. н., профессор, руководи-
тель НОЦ «Промышлен-
ный и городской транс-
порт» Петербургского
государственного универ-
ситета путей сообщения
Императора Александра I
(ПГУПС)



К. А. Гмыря,
магистр,
аспирант ПГУПС



Н. Н. Султанов,
к. т. н., доцент кафедры
«Строительство дорог
транспортного комплек-
са» ПГУПС

В современных конструкциях трамвайных путей используются прирельсовые вкладыши, большое разнообразие которых усложняет их эксплуатацию. В статье предложен метод, позволяющий прогнозировать работоспособность и эффективность вкладышей различной конструкции при замене рельсов через 25 лет и сроке службы монолитного железобетонного основания 50 лет.

Развитие трамвайного пути на современном этапе сосредоточено на создании линий, позволяющих реализовать динамические качества нового подвижного состава и обеспечить их эксплуатацию с высокими скоростями и экологическими показателями. До недавнего времени трамвай отличался повышенным шумовым воздействием на окружающую среду. Поэтому создание современных конструкций трамвайных путей требует применения таких элементов, которые не только повышают экономическую эффективность, но и существенно уменьшают негативное воздействие на окружающую среду, в частности вибрацию и шум при взаимодействии пути и подвижного состава [1, 2].

Одним из основных методов снижения шума и вибрации в трамвайных путях является использование прирельсовых вкладышей:

- подошвенные предназначены для установки под подошву рельса;
- боковые (наружные и внутренние) предназначены для установки в пазухи рельсов при укладке нового пути или ремонте старого.

Вкладыши изготавливаются из различных материалов и имеют различные геометрические параметры, условия их эксплуатации также весьма разнообразны. Это требует многочисленных исследований по обоснованию их параметров, что фактически невозможно без применения компьютерного моделирования. Поэтому выбор и обоснование методов компьютерного моделирования на данном этапе весьма актуальны [3, 4, 5].

В 2014 г. для стендовых испытаний вкладышей была изготовлена натурная модель (рис. 1) [6].

Работоспособность вкладышей определяется на период 25 лет, кото-

рый обоснован сроком службы рельсов. За это время, в соответствии с данными ГУП «Горэлектротранс», среднее количество циклов нагружения составляет около 5 млн [7]. Поэтому задачей исследования стало определение работоспособности вкладышей за этот период. Также определялась работоспособность основания из фибробетона, влияние динамических нагрузок на целостность асфальтового покрытия, изменение упругих характеристик и напряженно-деформированного состояния вкладышей, бетонного основания, асфальтового покрытия.

Исходные данные:

- размеры модели $1000 \times 450 \times 505$ мм;
- основание фибробетон В35;
- рельсы трамвайные;
- осевая нагрузка 83,35 кН/ось;
- приложение нагрузки вертикальное.
- вкладыши компании Prefarails, геометрические характеристики которых представлены на рис. 2;
- количество циклов нагружения 12 млн;
- частота 5 Гц.

Результаты измерений регистрировались тензометрической станцией «Геркулес». Использовались датчики тензометры Strain Gauges сопротивлением 120 Ом и базой 20 мм, деформометры М-023-03. Регистрация напряжений и перемещений производилась при 0; 3,3; 6,8; 9,9 и 12,1 млн циклов (рис. 3).

Нагружение модели проводилось динамической вертикальной возмущающей силой с частотой 5 Гц. Значение силы идентично нагрузке от трамвайного колеса на рельс и составляет 4,25 тс. Минимальное значение силы в момент разгрузки принято 0,5 тс во избежание удара.

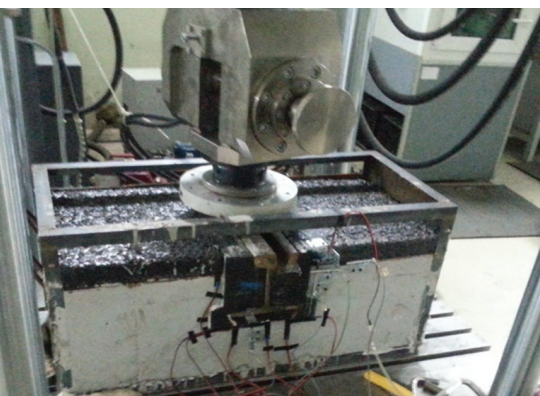


Рис. 1. Испытание натурной модели

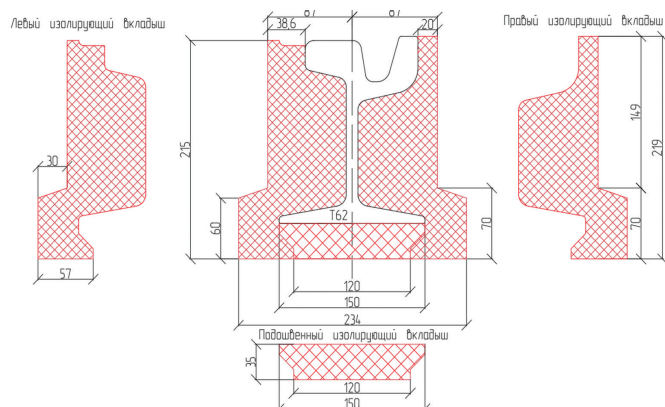


Рис. 2. Трамвайный рельс со специальными шумо- и виброзащитными вкладышами

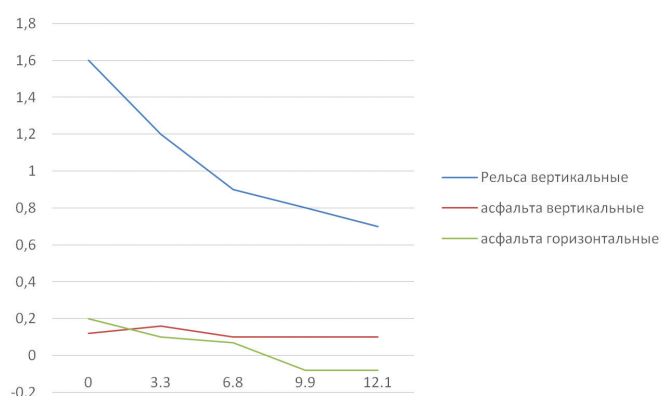


Рис. 3. График перемещений при млн циклов нагрузки в стендовых испытаниях

Анализ результатов

Конструкция пути доказала свою работоспособность без существенных изменений напряженно-деформированного состояния и упругих характеристик при количестве циклов 12,096 млн, что более чем в два раза превышает среднее количество циклов за расчетный срок эксплуатации. За весь период испытания никаких визуальных разрушений асфальтового покрытия и бетонного основания не отмечено. Максимальные горизонтальные смещения асфальта отмечены в начальный период испытания (период приработки) и составляют 0,28 мм; после 3,37 млн циклов — 0,2 мм; после 6,755 млн циклов — 0,1 мм, после 9,94 млн — 0,08 мм. Напряжения в фибробетоне значительно меньше допустимых, что подтверждает работоспособность вкладышей во всем диапазоне циклических нагрузок. В начальный период происходит увеличение напряжений в 2–3 раза за счет большей жесткости вкладышей, а в дальнейшем

напряжения стабилизируются (что хорошо коррелируется с результатами измерения перемещений рельса).

Аналогичная задача была решена при помощи специализированного проектно-вычислительного комплекса, предназначенного для численного исследования напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкций, а также для автоматизированного выполнения ряда процессов конструирования. Для решения используется метод модельного исследования, а именно — метод конечных элементов (МКЭ).

Исходные данные для решения поставленной задачи:

- 1) модель представляет собой элемент трамвайного пути с трамвайными рельсами на фибробетонном основании с применением вкладышей и асфальтовым покрытием;
- 2) геометрические параметры боковых и подшпленного вкладышей представлены на рис. 2;

3) осевая нагрузка от подвижного состава — 8,5 тс (83,38 кН/ось);

4) количество циклов нагружения — 5 млн циклов;

5) частота приложения нагрузки — 5 Гц;

6) угол приложения нагрузки — 35°. Трамвайное колесо и рельс имеют сложные геометрические очертания и в любой момент времени угол приложения может быть различным, однако по выполненным ранее исследованиям этот угол варьируется от 30 до 39° [8];

7) нагрузка прикладывается путем имитации пятна контакта «колесо-рельс» (рис. 4).

Результаты испытания представлены на рис. 4, 5 и в табл. 1.

Полученные результаты показывают следующее.

1. Конструкция пути доказала свою работоспособность без существенных изменений напряженно-деформированного состояния и упругих характеристик при

Таблица 1. Результаты испытаний

№ испытания	Конструкция	Плотность вкладышей * (г/см ³)	Толщина вкладыша, мм			Перемещения рельса – вертикальные, мм			Перемещения асфаль- та горизонтальные/ вертикальные, мм		Напряжения в бетоне K _{тс} /см ²	
			подо- швенный	наруж- ный	внутрен- ний	Количество циклов нагружения (млн)						
						1,5	3	5	1,5	3	5	5
1	На сплошном бе- тонном основании, (нагрузка от 1 колеса)	1,0	35,0	38,6	20,0	1,63	1,15	0,7	-	-	-	1,3
2		0,95				1,79	1,32	0,83	-	-	-	1,31
3		1,15				1,5	1,08	0,7	-	0,1/0,9	0,8/0,7	1,3
4		1,0	35,0	37,0	19,0	1,72	1,23	0,9	0,2/0,1	0,13/0,92	0,91/0,8	1,33
5		1,0	34,0	38,6	38,6	2,09	1,69	0,97	0,31/0,19	0,21/0,92	0,92/0,8	6,1
6	На сплошном бе- тонном основании, (нагрузка от 2-х колес)	1,0	35,0	38,6	20,0	1,65	1,19	0,73	-	-	-	1,39
7			35,0	37,0	19,0	1,76	1,26	0,94	0,23/0,11	0,15/0,93	0,93/0,8	1,45
8			34,0	38,6	38,6	2,09	1,69	0,97	0,33/0,2	0,22/0,93	0,92/0,82	7,3

* Согласно ТУ на вкладыши [9, 10], плотность вкладышей варьируется в диапазоне: 0,95–1,15 г/см³.

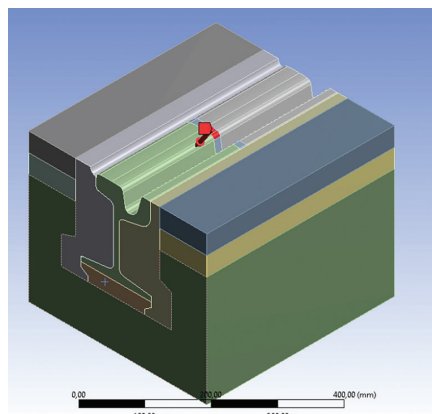


Рис. 4. 3-D модель конструкции трамвайного пути с использованием вкладышей

количестве циклов 5 млн.

2. Максимальные вертикальные перемещения рельса отмечены в начальный период испытания (период приработки) и составляют 2–1,6 мм после 1,5 млн циклов, 1,7–1,1 мм после 2,5 млн циклов и 0,9–0,7 мм после 5 млн циклов нагрузки.

3. Перемещений асфальта не зафиксировано. Вертикальные упругие пере-

мещения рельсов с увеличением количества циклов уменьшились, что говорит о повышении жесткости подошвенного вкладыша. Вертикальные перемещения рельсов находятся в пределах $1 \div 1,5$ мм, что является наиболее благоприятным с точки зрения динамического взаимодействия трамвая и пути и комфортности пассажиров.

4. Вкладыши сохранили свою работоспособность на весь период службы рельса — 25 лет.

Проведенные исследования показали полную идентичность физической модели, используемой при лабораторных испытаниях, и рассмотренной математической модели. Сходимость результатов по ряду измеренных параметров составляет 5–15 %. Качественные показатели совпадают полностью. При этом возможности варьирования параметров при математическом моделировании несопоставимо больше. Это подтверждает необходимость использования рассмотренного специализированного проектно-вычислительного

комплекса для исследования работоспособности вкладышей при различных условиях эксплуатации и обоснования требований к их характеристикам. **Т**

Литература

1. Лосин, Л. А. Определение приоритетного развития общественного пассажирского транспорта в городах / Л. А. Лосин, Н. В. Левадная, В. А. Черняева // Транспорт РФ. — 2013. — № 4 (37). — С. 43–48.
2. Дудкин, Е. П. Повышение эффективности и конкурентоспособности трамвая на рынке пассажирских перевозок / Е. П. Дудкин, В. А. Черняева, С. А. Дороничева, К. А. Смирнов // Изв. Петерб. гос. ун-та путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2017. — Т. 14, вып. 2. — С. 230–238.
3. Левадная, Н. В. Рациональные меры и средства для снижения городского шума / Н. В. Левадная, В. А. Черняева // Транспорт РФ. — 2013. — № 4 (53). — С. 76–78.
4. Дудкин, Е. П. Основные аспекты проектирования системы рельсового транспорта в городах / Е. П. Дудкин, В. А. Черняева, С. А. Дороничева // Современные проблемы транспортного комплекса России. — 2016. — Т. 6. № 1. — С. 38–44.
5. Dudkin, E. P., Gmirya, K. A. // Requirements for tramway filler block during construction in cold regions (2020) / Lecture Notes in Civil Engineering, 49, pp. 303–309.
6. Бенин, А. В. Лабораторные испытания конструкции трамвайного пути на циклические нагрузки / А. В. Бенин, Е. П. Дудкин, Ю. Г. Параскевопуло, Н. Н. Султанов // Транспорт РФ. — 2014. — № 4 (53). — С. 28–30.
7. Harald Loy, Roger Hofle. Ermittlung der Danczsehwelldfestigkeit der Getzner Rillensehcnlaqers (GW RSL 2010/11) in Anlehnung anndic DIN45673–08 Getzner Werkstoffe GmbH. Herrenau 5 A-6706. Burs/Bludenz.
8. Report No. VAK 01/04 on the Examination of the Performance Capability of a New Elastic Rail Bedding System «Rheinfeder» with Ri 60 Rails for Trams/ Technische Universität Berlin — January 2005.
9. ТУ 2539–002–03222089–2011 «Профили резиновые боковые для рельсов РТ60Е и РТ62Е».
10. ТУ 2539–001–03222089–2011 «Профили резиновые подошвенные под рельсы РТ60Е и РТ62Е».

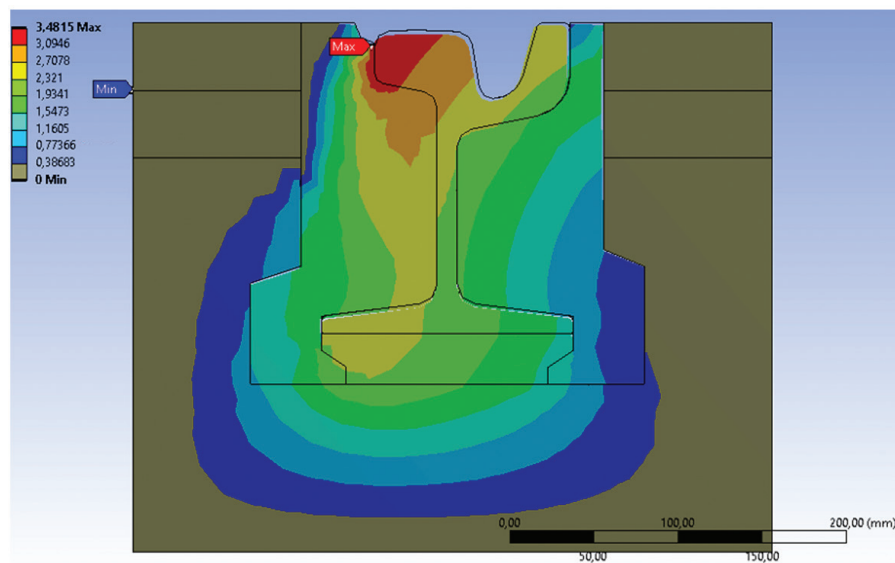


Рис. 5. Эпюра общей деформации модели трамвайного пути после 5 млн циклов нагружения

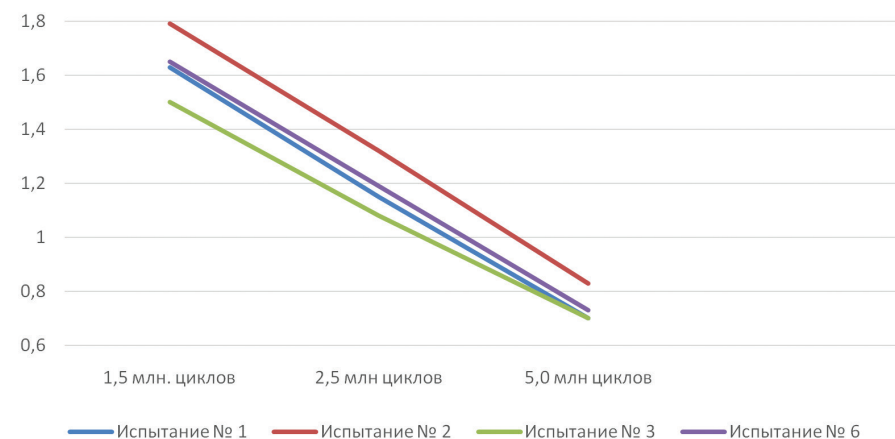


Рис. 6. Перемещения при млн циклов нагружения

Султан В. Жанказиев, д — р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация и безопасность движения» Московского автомобильно-дорожного института (МАДИ)

Андрей И. Воробьев, канд. техн. наук, доцент кафедры «Организация и безопасность движения» МАДИ

Максим В. Гаврилюк, старший преподаватель кафедры «Организация и безопасность движения» МАДИ

Принципы формирования государственной системы сертификации элементов ИТС в Российской Федерации // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С3–6.

В статье дается структура национальной сети интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и описано формирование структуры государственной системы сертификации элементов ИТС в Российской Федерации. Формирование системы выдачи сертификатов безопасности необходимо для обеспечения должного уровня информационной и кибербезопасности ИТС и интеллектуальной дорожной инфраструктуры, в том числе в вопросах обезличивания персональных данных пользователей.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, интеллектуальная дорожная инфраструктура, национальная ИТС-сеть, стандартизация оборудования и технологий.

Контактные данные: sultanv@mail.ru, andrey552@yandex.ru, polygonmadi@gmail.com

Сергей А. Семенов, начальник ФБУ «Служба морской безопасности»

Защита акваторий морских портов. Группы быстрого реагирования — обязанность или излишество? // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С7–11.

В статье дана краткая оценка нормативно-правового регулирования защиты акваторий морских торговых портов от актов незаконного вмешательства в части, касающейся применения групп быстрого реагирования подразделений транспортной безопасности.

Ключевые слова: транспортная безопасность, силы обеспечения транспортной безопасности, группа быстрого реагирования, группа реагирования.

Контактные данные: semenov@mssecurity.ru

Илья М. Гулий, канд. экон. наук, доцент Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

Подход к экономической оценке инвестиционных проектов развития железнодорожной инфраструктуры // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С12–14.

Экономическая оценка транспортных проектов, в том числе в сфере развития железнодорожной инфраструктуры, является актуальной практической задачей и важным научным направлением. Ее результаты позволяют объективно и достоверно понять целесообразность реализации проекта, сравнить альтернативные варианты, выбрать наилучший. В статье предложен подход к экономической оценке инфраструктурных проектов развития железнодорожного транспорта, основанный на эконометрических расчетах влияния инвестиций на изменение добавленной стоимости железнодорожных перевозок, на показатели перекрестной эластичности, характеризующие воздействие проектов на другие виды транспорта, а также на общий макроэкономический рост в регионах.

Ключевые слова: экономическая оценка транспортных проектов, эконометрическое моделирование на транспорте, добавленная стоимость, эластичность экономического роста.

Контактные данные: ilya.guliy@mail.ru

Олег Н. Дунаев, д-р экон. наук, профессор, председатель подкомитета по транспорту и логистике комитета РСПП по международному сотрудничеству, директор Центра стратегического развития логистики

Алексей В. Гущ, начальник отдела маркетинга Дирекции скоростного сообщения — филиала ОАО «РЖД»

Мобильность в организации мультимодальных пассажирских перевозок // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С15–20.

Авторами рассмотрена мобильность как услуга мультимодальных пассажирских перевозок для населения при консолидирующей роли железнодорожного транспорта. На основе анализа динамики и структуры изменений на рынке пассажирских перевозок под влиянием внутренних и внешнеэкономических факторов, неопределенности, связанной с пандемией, обоснована актуальность разработки экономической системы мобильности мультимодальных пассажирских перевозок на базе сетевого взаимодействия. Предложен инновационный продукт — бесшовная мобильность как услуга в организации мультимодальных пассажирских перевозок. Сформулированы управленческие решения по организации сетевого взаимодействия, позволяющие последовательно улучшать фактор «ценности времени» и обеспечивать бесшовную мобильность как услугу.

Ключевые слова: спрос и предложение, пассажирские перевозки, мобильность, мультимодальность, сетевое

взаимодействие, ценность времени, бесшовная мобильность

Контактные данные: oleg.dunaev@mail.ru

Дмитрий Ю. Левин, д-р техн. наук

Логистика перевозочного процесса железных дорог // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С21–27.

Логистика эксплуатационной работы железных дорог изучает помехи, риски, возникающие в перевозочном процессе, и вырабатывает механизмы борьбы с ними. В первой части статьи представлен развернутый анализ узких мест при организации перевозочного процесса на железных дорогах России. Окончание статьи читайте в следующем номере журнала.

Ключевые слова: железнодорожный конвейер, логистические цепи перевозочного процесса, неравномерность, стихийность, системность, взаимодействие, бесперебойность, конечные финансовые результаты.

Контактные данные: levindu@yandex.ru

Игорь П. Киселёв, инженер путей сообщения, д-р ист. наук, профессор кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» и кафедры «История, философия, политология и социология» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПУПС)

Александр А. Китунин, инженер путей сообщения, канд. ист. наук, доцент кафедры «История, философия политологии и социология» ПУПС

Высокоскоростные грузовые железнодорожные перевозки: проблема дисгармонии технологий // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С28–33.

Представлен обзор организации высокоскоростных грузовых перевозок со скоростями более 250 км/ч во Франции и Италии, которые не имели широкого распространения. Создание в КНР в 2020 г. нового высокоскоростного электропоезда, предназначенного для перевозки грузовых контейнеров класса ULD со скоростью до 350 км/ч, создает новые предпосылки для грузовых перевозок по ВСМ. При этом обострется проблема так называемой дисгармонии технологий — погрузо-разгрузочные работы требуются больших затрат ручного труда. Развитие контейнерных перевозок по ВСМ напрямую зависит от успеха создания вагонов с механизированной погрузкой и разгрузкой контейнеров типа ULD.

Ключевые слова: высокоскоростной грузовой поезд, контейнеры типа ULD, гармоничное сочетание технологий.

Контактная информация: kis1347@mail.ru; kitunin@mail.ru

Сергей П. Вакуленко, канд. техн. наук, профессор, директор Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (МИИТ) (РУТ (МИИТ))

Дмитрий Ю. Роменский, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» РУТ (МИИТ)

Кирилл А. Калинин, ассистент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» РУТ (МИИТ)

Метод прогнозирования пассажиропотоков при организации высокоскоростных перевозок // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С34–39.

Определение перспективного спроса на пассажирские перевозки на вновь создаваемой инфраструктуре является важнейшим при обосновании целесообразности привлечения инвестиций. Создание инструментария для оценки перспективных пассажиропотоков проектируемых линий высокоскоростных железнодорожных магистралей в России позволит оценить принимаемые стратегические решения по развитию пассажирских железнодорожных перевозок. В статье предлагается новый метод оценки спроса на пассажирские перевозки, основанный на определении качественной характеристики формируемого сообщения, с учетом гравитационного подхода.

Ключевые слова: высокоскоростной железнодорожный транспорт, ВСМ, ВСЖМ, транспортные коридоры, железнодорожный транспорт, пассажиропоток, проводимость транспортного коридора

Контактные данные: post-iuit@bk.ru, romensky@miit.ru, kalinin.k.a@mail.ru

Дмитрий В. Ефанов, д-р техн. наук, доцент, заместитель ген. директора по научно-исследовательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта

Герман В. Осадчий, зам. генерального директора — главный инженер ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Пе-

тербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

Радиоцентрализация с распределенными вычислительными ресурсами и развитыми функциями самодиагностирования // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С40–45.

Предложена современная архитектура системы управления движением поездов, подразумевающая дооснащение каждого объектного контроллера периферийных средств железнодорожной автоматики специализированными легкосъемными диагностическими модулями. В такой системе отделяются цепи управления и диагностические цепи, а также используется выделенное вычислительное ядро для диагностирования, мониторинга и прогнозирования. Описаны возможные способы реализации системы управления как с централизованным, так и с децентрализованным размещением оборудования. Отмечаются возможности реализации систем с распределенными вычислительными ресурсами и использование киберзащищенных радиоканалов для управления децентрализованными объектами железнодорожной автоматики, а также для получения диагностических данных. Фактически описаны новые виды централизации управления движением на железных дорогах — радиоцентрализация и виртуальная централизация стрелок и сигналов. При развитии данных технологий управления движением станет возможным маршрутизация перемещений прямо с тяговой подвижной единицы.

Ключевые слова: управление движением на железных дорогах; электрическая централизация; диагностирование и мониторинг устройств управления движением; железнодорожная автоматика; радиоцентрализация; виртуальная централизация.

Контактные данные: TrES-4b@yandex.ru, osgerman@mail.ru

Анатолий В. Постолит, д-р техн. наук, профессор, директор компании Smart Information Systems

Автоматизация учета поездов пассажиров на городском общественном транспорте // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С46–51.

В статье показана возможность создания программного обеспечения на основе компьютерного зрения и искусственного интеллекта, которое обеспечит автоматизацию сбора первичной информации о перемещении каждого пассажира от места посадки в транспортное средство до выхода из него, то есть автоматизацию формирования данных для построения матрицы корреспонденции поездов пассажиров.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, пассажиропотоки, матрица корреспонденции, искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение, компьютерное зрение.

Контактные данные: anat_post@mail.ru.

Виталий В. Попов, главный инженер Октябрьской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» (ОЖД)

Александр Н. Иванов, главный инженер Службы Вагонного хозяйства Октябрьской дирекции инфраструктуры

Андрей В. Смутин, инженер по автоматизированным системам управления вагонного хозяйства Октябрьской дирекции инфраструктуры

Анна А. Романова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПУПС)

Мария В. Зимак, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПУПС

Мониторинг технического состояния грузовых вагонов на ходу поезда // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С52–56.

Проанализировано применение систем диагностики технического состояния грузовых вагонов на Октябрьской железной дороге. Представлена действующая система передачи данных о контроле состояния узлов грузового вагона, изложены недостатки системы мониторинга и предложена схема комплексного контроля технического состояния грузового вагона в пути следования, указаны направления по развитию системы мониторинга.

Ключевые слова: грузовой вагон, системы мониторинга, направления развития

Контактные данные: mazimm1987@hotmail.com

Петр В. Журавлев, д — р экон. наук, профессор, профессор кафедры Торгово-промышленной палаты «Развитие человеческого капитала» ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», профессор кафедры «Экономика труда и управление человеческими ресурсами» Российского университета транспорта (МИИТ) (РУТ (МИИТ))

Лариса А. Каргина, д — р экон. наук, профессор, заведующая кафедрой «Информационные системы цифровой экономики» РУТ (МИИТ)

София Л. Лебедева, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы цифровой экономики» РУТ (МИИТ)

Профессиональная переподготовка кадров на тран-

спорте в условиях цифровизации экономики России // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С57–60.

Проанализирована и обоснована необходимость процессов непрерывного обучения и переподготовки кадров транспортной отрасли России. Определена авторская трактовка цифровизации транспортной отрасли. Рассмотрены ключевые направления в системе профессиональной переподготовки кадров, которые являются актуальными для формирования и развития цифровой культуры в транспортной отрасли в современных условиях.

Ключевые слова: цифровизация экономики, переподготовка кадров, цифровая культура, цифровые технологии, развитие человеческих ресурсов, эффективность, непрерывное образование, нейроинформационные методы, направления в переподготовке кадров.

Контактные данные: pzhurav@mail.ru, Kargina_larissa@hotmail.com, 4s.lebedeva@gmail.com

Петр М. Радченко, канд. техн. наук, профессор кафедры электрооборудования и автоматики судов, Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского

Валентин Е. Крашенинник, инженер-электромеханик ОАО «Юником» (Владивостокский филиал ПАО «Совкомфлот»)

Максим А. Макаев, инженер-электромеханик ОАО «Юником»

Адаптивное регулирование подачи наддувочного воздуха судового дизель-генератора в переходных режимах // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С61–67.

В статье предложена технология воздушного снабжения судового дизель-генератора в переходных режимах, направленная на повышение экономических и экологических показателей его работы: полноты сгорания топлива, минимизации образования токсичных газов, улучшение приемистости двигателя и повышение качества электроэнергии при внезапном сбросе нагрузки.

Ключевые слова: воздушное снабжение, судовый дизель-генератор, переходные режимы.

Контактные данные: mikhaylovich2010@mail.ru, zveroboy-1994@mail.ru, makaeval@yandex.ru

Валерий Н. Мячин, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (НИПИ ТРТИ)

Владимир А. Флячинский, канд. воен. наук, главный специалист НИПИ ТРТИ

Владимир В. Шуляев, заместитель генерального директора, руководитель департамента транспортных систем НИПИ ТРТИ

Михаил Г. Кондрашкин, руководитель проектного направления пассажирских перевозок и грузовой логистики НИПИ ТРТИ

Методика оценки уровня обслуживания велосипедного движения // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С68–70.

В статье проведен анализ имеющихся методических подходов к оценке качества велосипедной инфраструктуры на основе международных рекомендаций. Анализ позволил разработать методический подход к оценке качества уровня велосипедного движения без привлечения сложных инструментальных замеров состояния велосипедной инфраструктуры.

Ключевые слова: качество велосипедного движения, уровень сервиса, велосипедная инфраструктура.

Контактные данные: vmyachin@ipr.ru, fva@ipr.ru, vs@ipr.ru, mkondrashkin@ipr.ru.

Валерий С. Коссов, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКИ»)

Андрей Л. Протопопов, канд. техн. наук, старший научный сотрудник АО «ВНИКИ»

Григорий М. Волохов, д-р техн. наук, заведующий отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры АО «ВНИКИ»

Эдуард С. Оганьян, д-р техн. наук, главный научный сотрудник отдела прочности АО «ВНИКИ»

Численная оценка остаточных напряжений в длинномерных рельсах после дифференцированной заделки и механической правки // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С71–74.

Авторами предложена методика оценки напряженно-деформированного состояния длинномерных железнодорожных рельсов, которая позволяет определить остаточные напряжения в длинномерных рельсах после их дифференцированной заделки и правки. Результаты оценки остаточных напряжений в рельсе сравнивались с экспериментальными результатами, корреляция хорошая. Анализ полученных результатов говорит о том, что на поверхности головки рельса качественно изменяются

продольные остаточные напряжения со знака минус (сжимающие) после дифференцированной заделки на знак плюс (растягивающие) после механической правки. Разработанная методика расчетов, в отличие от традиционных аналитических методов, позволяет с повышенной точностью оценить напряженно-деформированное состояние исследуемых конструкций и обеспечивает графическое отображение результатов расчета.

Ключевые слова: рельс, конечный элемент, остаточные напряжения, напряженно-деформированное состояние, заделка.

Контактные данные: info@vnikti.com

Евгений П. Дудкин, д-р техн. наук, профессор, руководитель НОЦ «Промышленный и городской транспорт» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)

Кирилл А. Гмыря, магистр, аспирант ПГУПС

Нариман Н. Султанов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» ПГУПС

Требования к шумо- и виброизоляции в современных конструкциях трамвайного пути // Транспорт РФ. 2021. № 1–2(92–93). С75–77.

В современных конструкциях трамвайных путей используются прирельсовые вкладыши, благодаря упругим свойствам которых достигается значительное уменьшение шума и вибрации. Большое разнообразие материалов и конструкций вкладышей усложняет их использование в различных условиях эксплуатации, что приводит к необходимости обоснования требований к ним. Достижение поставленных целей выполнялось компьютерным моделированием при помощи специализированного расчетно-вычислительного комплекса и сравнением полученных результатов с натурными исследованиями. Методом конечных элементов произведен расчет основных характеристик, определяющих работоспособность вкладышей и сравнение этих показателей с результатами лабораторных исследований. Доказана возможность использования предлагаемого метода для обоснования параметров вкладышей. Расчеты позволяют прогнозировать работоспособность и эффективность вкладышей различной конструкции при замене рельсов через 25 лет (5 млн циклов нагрузки) и сроке службы монолитного железобетонного основания – 50 лет.

Ключевые слова: трамвайный путь, вкладыши, трамвайная конструкция, шум, вибрация.

Контактные данные: ed@pgups-tempus.ru, gmirykirill@mail.ru, 79046117746@yandex.ru

Sultan V. Zhankaziev, Dr. Sc. Eng., professor, chair of the Traffic Organisation and Safety, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Andrei I. Vorob'ev, Cand. Sc. Eng., senior lecturer of the Traffic Organisation and Safety, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Maksim V. Gavriluk, senior instructor of the Traffic Organisation and Safety, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Principles of forming a state certification system for intelligent transport system elements in the Russian Federation // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1–2 (92–93). P. 3 – 6.

The paper provides a structure of the national network of intelligent transport systems and describes forming the structure of state system for certification of intelligent transport elements in the Russian Federation. Formation of a system for issuing safety certificates is required to ensure the due level information and cyber safety of intelligent transport systems and intelligent road infrastructure, including in depersonalisation of users' personal data.

Keywords: intelligent transport system, intelligent road infrastructure, national intelligent transport system network, standardisation of equipment and technologies.

Contacts: sultanv@mail.ru, andrey552@yandex.ru, poligonmadi@gmail.com

Sergei A. Semenov, head of the Russian Maritime Security Service

Protection of seaport waters: are rapid response teams an obligation or a superfluity? // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1–2 (92–93). P. 7 – 11.

The paper provides a brief evaluation of legal and regulatory framework for protection of commercial seaport waters from acts of unlawful interference as regards the application of rapid response teams of transport security units.

Keywords: transport security, transport security enabling forces, rapid reaction team, response unit.

Contact: semenov@msecurity.ru

Il'ia M. Gulyi, Cand. Sc. Econ., senior lecturer, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Approach to economic evaluation of investment projects of development of railway infrastructure // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1–2 (92–93). P. 12 – 14.

Economic evaluation of transport projects, including in the sphere of railway infrastructure development, is a topical practical task and an important scientific direction. Its results allow objectively and credibly understand the practicability of implementation of projects, compare alternative options, and select the best one. The paper proposes an approach to economic evaluation of infrastructural projects for development of railway transport based on econometric calculations of influence of investments on changes to the added value of railway transportation, on cross elasticity indices that characterise influence of the projects on other types of transport, and on the general macroeconomic growth in the regions.

Keywords: economic evaluation of transport projects, econometric modelling, added value, economic growth elasticity.

Contact: ilya.gulyi@mail.ru

Oleg N. Dunaev, Dr. Sc. Econ., professor, chairman of the transport and logistics subcommittee of the international co-operation committee of the Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs, director of the Centre for Strategic Development of Logistics

Aleksei V. Guts, head of marketing department of the High-Speed Transportation Directorate, branch of the Russian Railways JSC

Mobility in organisation of multimodal passenger transportation // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1–2 (92–93). P. 15 – 20.

The authors consider mobility as a service of multimodal passenger transportation for the population with consolidating role of railway transport. On the basis of analysis of dynamics and structure of changes in the passenger transportation market under the influence of domestic and international-economic factors and pandemic-linked uncertainties, topicality of development of an economic system for forming an economic system of mobility of multimodal passenger transportation on the basis of network interaction is justified. An innovative product, seamless mobility as a service in organisation of multi-

modal passenger transportation, is proposed. Management solutions for organisation of network interaction that allow consistently improving the time value factor and provide seamless mobility as a service.

Keywords: supply and demand, passenger transportation, mobility, multimodality, network interaction, time value, seamless mobility.

Contact: oleg.dunaev@mail.ru

Dmitrii Iu. Levin, Dr. Sc. Eng.

Logistics of railway transportation process // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1–2 (92–93). P. 21 – 27.

Logistics of railway field operation studies disruptions and risks occurring in transportation process, and develops mechanisms for fighting against them. The first part of the paper presents an extensive analysis of bottlenecks in organisation of transportation process on Russia's railways. Concluding part of the paper is to be found in the next issue of the journal.

Keywords: railway conveyor, logistical chains of a transportation process, irregularity, spontaneity, systemic approach, interaction, regularity, final financial results.

Contact: levindu@yandex.ru

Igor' P. Kiselev, railway engineer, Dr. Sc. Hist., professor of the Transport System Road Construction and History, Philosophy, Political Science and Sociology departments, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Aleksandr A. Kitunin, railway engineer, Cand. Sc. Hist., senior lecturer of the History, Philosophy, Political Science and Sociology department, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

High-speed rail cargo transportation: the problem of technological disharmony // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1–2 (92–93). P. 28 – 33.

The paper presents an overview of organisation of high-speed cargo transportation with speeds of over 250 km/h in France and Italy, which had limited scale. Creation in 2020 in the People's Republic of China of a new high-speed electrical train designed for transportation of ULD-class cargo containers at speeds of up to 350 km/h creates new prerequisites for cargo transportation by high-speed railways. At the same time, the problem of so-called tech-

nological disharmony is exacerbated as cargo handling consumes much manual labour. Development of container transportation on high-speed railways directly depends on success in designing wagons equipped for mechanised handling of ULD-class containers.

Keywords: high-speed cargo train, ULD-class containers, technological harmony.

Contacts: kis1347@mail.ru; kitunin@mail.ru

Sergei P. Vakulenko, Cand. Sc. Eng., professor, director of the Management and Digital Technologies Institute, Russian University of Transport (MIIT)

Dmitrii Iu. Romenskii, senior instructor of the Transport Business Management and Intelligent Systems department, Russian University of Transport (MIIT)

Kirill A. Kalinin, assistant of the Transport Business Management and Intelligent Systems department, Russian University of Transport (MIIT)

Method of forecasting passenger flows in organisation of high-speed transportation // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 34 – 39.

Estimation of projected demand for passenger transportation on newly created infrastructure is very important for justification of expedience of attracting investments. Creation of instruments for estimation of projected passenger flows of planned high-speed railway mainlines in Russia will allow evaluation of strategic decisions in development of passenger railway transportation. The paper proposes a new method for evaluation of demand for passenger transportation based on determination of qualitative characteristic of the communication being formed, accounting for gravitational approach.

Keywords: high-speed railway transport, high-speed mainline, high-speed railway mainline, transport corridors, railway transport, passenger flow, transport corridor capacity.

Contact: post-iiut@bk.ru, romensky@miit.ru, kalinin.k.a@mail.ru

Dmitrii V. Efanov, Dr. Sc. Eng., senior lecturer, deputy director general for science of research of the Complex Monitoring Systems research and engineering centre, professor of the Higher Transport School of the Engineering, Materials and Transport Institute of the Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, professor of the Automation, Telemechanics and Communications in Railway Transport department, Russian University of Transport (MIIT)

German V. Osadchii, deputy director general and chief engineer of the Complex Monitoring Systems research and engineering centre, senior instructor of the Automation and Telemechanics on the Railways department, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Radio centralised control with dispersed computational resources and advanced self-diagnosis functions // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 40 – 45.

The authors propose contemporary system architecture for a train movement control system which entails fitting up each facility-level controller of peripheral railway automation equipment with specialised easily detachable diagnostic modules. In such a system, command circuits and diagnostic circuits are separated, and a segregated compute core is used for diagnosis, monitoring and forecasting. Possible methods of implementation of the control system with both centralised and decentralised distribution of equipment are described. Authors note possibilities for implementation of systems with dispersed computational resources and the use of cyber protected radio channels for controlling decentralised railway automation objects and for obtaining diagnostic data. New types of centralisation of railway movement control are described: radio centralised control and virtual centralised control of railway switches and signals. Development of these movement control technologies will make routing directly from traction vehicle possible.

Keywords: railway movement control, electric centralised control, diagnosis and monitoring of movement control equipment, railway automation, radio centralised control, virtual centralised control.

Contacts: TrES-4b@yandex.ru, osgerman@mail.ru

Anatolii V. Postolit, Dr. Sc. Eng., professor, director of the Smart Information Systems company

Automation of passenger journey monitoring in urban public transport // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 46 – 51.

The paper demonstrates the possibility of creating software on basis of computer vision and artificial intelligence to ensure automation of collection of primary information about each passenger's movement from the point

of boarding a transport vehicle through to the point of disembarkation, that is, automation of forming data for building a mobility plan of passenger journeys.

Keywords: passenger transport, passenger flows, mobility plan, artificial intelligence, neural networks, machine learning, computer vision.

Contact: anat_post@mail.ru.

Vitalii V. Popov, chief engineer of the Oktyabrskaya Railway, branch of the Russian Railways JSC

Aleksandr N. Ivanov, chief engineer of the Rolling Stock Service of the Oktyabrskaya infrastructure directorate

Andrei V. Smutin, automated rolling stock control systems engineer of the Oktyabrskaya infrastructure directorate

Anna A. Romanova, Cand. Sc. Eng., senior lecturer of the Wagons and Rolling Stock department, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Mariia V. Zimakova, Cand. Sc. Eng., senior lecturer of the Wagons and Rolling Stock department, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Monitoring of technical condition of cargo wagons of a moving train // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 52 – 56.

The paper provides an analysis of application of systems for diagnosing the technical state of cargo wagons on the Oktyabrskaya railway. The authors present the existing system of data transfer on control of the state of cargo wagon's parts, outline shortcomings of the monitoring system, propose a scheme for complex control of the technical state of a cargo wagon on the travel route, and point out directions of development.

Keywords: cargo wagon, monitoring systems, development directions

Contact: mazimm1987@hotmail.com

Petr V. Zhuravlev, Dr. Sc. Econ., professor of the Human Capital Development department, Plekhanov Russian University of Economics, professor of the Labour Economy and Human Resources Management department, Russian University of Transport (MIIT)

Larisa A. Kargina, Dr. Sc. Econ., professor, chair of the Digital Economy Information Systems, Russian University of Transport (MIIT)

Sof'ia L. Lebedeva, Cand. Sc. Phys. Math., senior lecturer of the Digital Economy Information Systems, Russian University of Transport (MIIT)

Professional retraining of transport staff under conditions of digitalisation of Russia's economy // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 57 – 60.

The paper analyses and justifies the need for continuous education and retraining of staff of Russia's transport industry. Authors' own approach to digitalisation of transport industry is defined. Key directions in the system of professional staff retraining that are topical for forming and developing digital culture in the transport industry under modern conditions are considered.

Keywords: digitalisation of economy, staff retraining, digital culture, digital technologies, development of human resources, continuous education efficiency, neural information methods, staff retraining directions.

Contacts: pzhurav@mail.ru, Kargina_larissa@hotmail.com, 4s.lebedeva@gmail.com

Petr M. Radchenko, Cand. Sc. Eng., professor of the Vessel Electric and Automation, Admiral G. I. Nevelskoy Maritime State University

Valentin E. Krashenin, electrical engineer, Unicom JSC (Vladivostok branch of PAO Sovcomflot)

Maksim A. Makaev, electrical engineer, Unicom JSC

Adaptive charged air feed control of a shipboard diesel generator in transition regimes // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 61 – 67.

The paper proposes a technology for air supply of a shipboard diesel generator in transition regimes aimed at increasing economic and environmental operation indices – combustion efficiency, minimisation of formation of toxic products, improvement of engine intake, and increasing electrical energy quality in case of sudden loss of load.

Keywords: air supply, shipboard diesel generator, transition regimes.

Contacts: mikhaylovich2010@mail.ru, zveroboy-1994@mail.ru, makaev@yandex.ru

Valerii N. Miachin, Dr. Sc. Eng., professor, director general of the Scientific Research and Design Institute for Spatial Development and Transport Infrastructure

Vladimir A. Fliachinskii, Cand. Sc. Mil., chief specialist, Scientific Research and Design Institute for Spatial

Development and Transport Infrastructure

Vladimir V. Shuliaev, deputy director general, head of transport systems department, Scientific Research and Design Institute for Spatial Development and Transport Infrastructure

Mikhail G. Kondrashkin, head of passenger transportation and cargo logistics project stream, Scientific Research and Design Institute for Spatial Development and Transport Infrastructure

Method of evaluation of bicycle traffic service level // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 68 – 70.

The paper presents an analysis of existing methodological approaches to evaluation of bicycle infrastructure quality on the basis of international recommendations. The analysis permitted to develop a methodological approach to evaluation of quality level of bicycle traffic without resorting to complex instrumental measurements of the state of bicycle infrastructure.

Keywords: bicycle traffic quality, service level, bicycle infrastructure.

Contact: vmachin@ipr.ru, fva@ipr.ru, vs@ipr.ru, mkondrashkin@ipr.ru.

Valerii S. Kossov, Dr. Sc. Eng., professor, director general of the Scientific Research and Design Technology Institute of Rolling Stock

Andrei L. Protopopov, Cand. Sc. Eng., senior researcher, Scientific Research and Design Technology Institute of Rolling Stock

Grigori M. Volkhov, Dr. Sc. Eng., head of the rolling stock and infrastructure dynamics and strength section, Scientific Research and Design Technology Institute of Rolling Stock

Eduard S. Ogan'ian, Dr. Sc. Eng., chief researcher of the strength department, Scientific Research and Design Technology Institute of Rolling Stock

Numerical evaluation of residual stress in long-length rails after differential hardening and mechanical levelling // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 71 – 74.

Authors propose a method for evaluation of strain-stress state of long-length railway rails which permits to determine residual stress in long-length rails after differential hardening and levelling. Results of evaluation of residual stress in the rail were compared to experimental results, with a good degree of correlation. Analysis of results obtained indicates that on the rail head surface longitudinal residual stresses qualitatively change from the negative (compressive strain) after differential hardening to the positive (expansion stress) after mechanical levelling. The calculation method developed, unlike the traditional analytical methods, allows evaluating the stress-strain state of structures being studied with increased accuracy, and provides graphic representation of calculation results.

Keywords: rail, finite element, residual stress, strain-stress state, hardening.

Contact: info@vnikti.com

Evgenii P. Dudkin, Dr. Sc. Eng., professor, head of the Industrial and Urban Transport research and education centre, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Kirill A. Gmyria, MA, PhD student, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Nariman N. Sultanov, Cand. Sc. Eng., senior lecturer of the Transport System Road Construction department, Emperor Alexander I St Petersburg State Transport University

Requirements for noise and vibration insulation in modern tram track designs // Transport of the Russian Federation. 2021. № 1-2 (92-93). P. 75 – 77.

Rail filler blocks are used in modern tram track design, and their elastic properties help achieve significant reduction of noise and vibration. Large variety of filler materials and designs complicates their use under different operational conditions, which makes it necessary to justify requirements for them. Achievement of objectives set was carried out by computer simulation using specialised computation and analysis software and comparison of results obtained to field studies. Finite elements method was used for calculation of basic characteristics that determine the fillers' working capacity and for comparison of these indices to results of laboratory studies. Possibility of applying the proposed method to justify fillers' parameters is outlined. Calculations allow forecasting working capacity and efficiency of fillers of various designs when replacing rails after 25 years (5 million load cycles) and operational life of monolithic reinforced concrete foundation (50 years).

Keywords: tram track, fillers, tram design, noise, vibration.

Contacts: ed@pgups-tempus.ru, gmyryk_kirill@mail.ru, 79046117746@yandex.ru



AdBlue®
AUS 32



**РЕАГЕНТ
ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ**

AdBlue®



УРАЛХИМ

Тел.: +7 495 721 89 89 /доб. 11103/
+7 985 203 77 91
E-mail: industrial@uralchem.com

www.uralchem.ru
www.adblue.uralchem.ru



Научно-исследовательские институты и центры Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

**Центр компьютерных
и железнодорожных технологий
(812) 457-89-01**

**Институт прикладной экономики
и бухгалтерского учета
железнодорожного транспорта
(812) 572-62-55**

**Испытательный центр
“Экологическая безопасность
и охрана труда”
(812) 457-88-19, (812) 457-87-15**

**Центр транспортной безопасности (ЦТБ)
(812) 233-84-70, (812) 498-40-72**

**Научно-образовательный центр
инновационного развития пассажирских
железнодорожных перевозок
(812) 570-75-55**