

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЖУРНАЛ О НАУКЕ, ПРАКТИКЕ, ЭКОНОМИКЕ

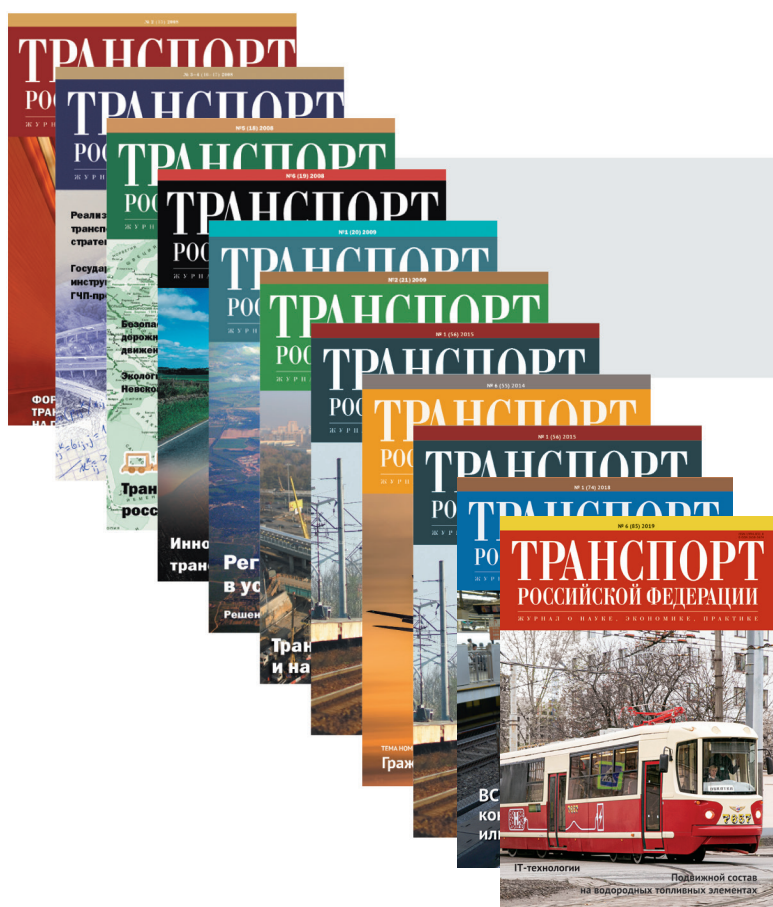
**Строительство комплекса
по производству
высокоскоростных поездов
в Верхней Пышме**



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
- по телефону: **8 (495) 970-74-09**,
- по электронной почте: **info@rosacademtrans.ru**



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>

№ 3 (118) 2025

Содержание

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

- А. С. Мишарин, И. П. Потапов.**
Четыре года трансформации: векторы развития
транспортной науки и итоги деятельности
Российской академии транспорта 3

ГОСУДАРСТВО И ТРАНСПОРТ

- Н. С. Мигда.**
Финансово-правовое обеспечение развития транспорт-
ных технологий и информационного обеспечения 5

ЭКОНОМИКА И ФИНАНСЫ

- Н. А. Журавлева, И. Л. Сакович, Е. В. Новикова.**
Использование больших данных в сценарном анализе
развития транспортного полигона Северо-Западного
федерального округа 10

БЕЗОПАСНОСТЬ

- А. А. Головина.**
Совершенствование законодательства об ответствен-
ности за совершение актов морского пиратства 15

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта.**
Технологические основы разработки интеллектуальных
систем управления движением поездов с тесно
интегрированными безопасными комплексами
мониторинга объектов инфраструктуры 18

- О. А. Баранникова, А. К. Вороненко.**
Проблемы подготовки данных для обучения нейросети
с целью анализа и прогнозирования тарифов
на морском транспорте 26

- Н. Г. Шешера, И. Н. Пугачев, Д. Е. Григоров.**
Исследование интенсивности транспортных потоков
методами машинного обучения для интеллектуальных
транспортных систем 31

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ДВИЖЕНИЕ

- А. А. Воробьев, Я. С. Ватулин, А. С. Ватаев,
Э. Ю. Чистяков**
Оценка динамического воздействия высокоскоростного
подвижного состава на эстакадные и мостовые
сооружения на грунтах с пониженной несущей
способностью 37

ПЕРЕВОЗКИ

- О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, А. А. Грузд.**
Научно-методический подход к интеграции цифровых
технологий в работу железнодорожных грузовых станций
и примыкающих путей необщего пользования 43

НАУКА И ТРАНСПОРТ

- И. В. Моргунова, Н. В. Якунина, В. В. Котов.**
Модель рисков несвоевременного прибытия пассажиров
в пункт назначения при регулярных городских
перевозках 48

- А. Н. Антропов, Т. А. Антропова, К. М. Колясов.**
Сходства и различия базовых подходов к вопросам
взаимодействия колеса и рельса на отечественных
и иностранных железных дорогах 52

ЭКОЛОГИЯ

- В. Ю. Ланцева.**
Снижение вредного воздействия морского транспорта
на окружающую среду: проблемы и пути решения 56

ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНИКА

- А. В. Ключанов.**
Автоматизированная система управления учета
запасными частями на железнодорожной станции 60

КАДРЫ

- М. В. Ерхова, П. В. Зобов.**
Влияние личностных особенностей пилотов гражданской
авиации на принятие решений
в условиях неопределенности 65

ГОРОД И ТРАНСПОРТ

- Е. П. Дудкин, Н. Н. Султанов, Д. А. Каковко.**
Как снизить шум трамвая: актуализация технических условий
на прирельсовые вкладыши трамвайных путей 68

РЕГИОН

- Э. А. Сафронов, Е. С. Семенова.**
Транспортные проблемы г. Омска 72

- Аннотации 75**
Abstracts 77



Транспорт Российской Федерации

*Журнал о науке, практике,
экономике*

УЧРЕДИТЕЛИ

ФГБОУ ВО ПГУПС,
ОО «Российская академия транспорта»

ИЗДАТЕЛЬ

ОО «Российская академия транспорта»

Главный редактор

Александр Мишарин

Заместитель главного редактора

Олег Валинский

Исполнительный директор

Илья Потапов

Шеф-редактор Андрей Гурьев

Арт-директор Сергей Тюрин

Корректор Виктория Филиппова

Переводчик Илья Потапов

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 долж-
ны быть опубликованы основные
научные результаты диссертаций
на соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук».

При перепечатке опубликованных ма-
териалов ссылка на журнал «Транспорт
Российской Федерации. Журнал о на-
уке, практике, экономике» обязательна.

Адрес редакции:

г. Москва, ул. Маши Порываевой, 34.

<https://rotransport.elpub.ru/jour>

info@rosacademtrans.ru

www.rosacademtrans.ru

Тел.: 8 (495) 970-74-09.

Редакция журнала не несет ответствен-
сти за содержание рекламных материалов.

Установочный тираж 7 000 экз.

Подписано в печать 10.06.2025.

Отпечатано:

Типография Speedy Print

ИП Кириченко А. В.
101000, г. Москва,
ул. Маросейка, 9/2, строение 8.

Заказ №

Редакционный совет

Мишарин А.С., президент Российской академии транспорта, председатель редакционного совета, главный редактор журнала «Транспорт РФ», д. т. н.

Валинский О.С., ректор ПГУПС, заместитель председателя редакционного совета, к. т. н.

Барышников С.О., ректор ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, д. т. н.

Пашков К.А., заместитель Министра транспорта Российской Федерации, д. м. н.

Ефимов В.Б., президент Союза транспортников России, д. э. н.

Гапанович В.А., президент ОПЖТ, к. т. н.

Ефимова О.В., ученый секретарь РАТ, д. э. н.

Редакционная коллегия

Белозеров В.Л. — д. э. н., председатель
Общественного совета при Ространснадзо-
ре, член Президиума РАТ

Бороненко Ю.П. — д. т. н., заведующий
кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство»
ПГУПС, генеральный директор
АО «НВЦ „Вагоны“»

Буровцев В.В. — д. э. н., ректор ДВГУПС,
председатель Дальневосточного региональ-
ного отделения РАТ

Валинский О.С. — к. т. н., ректор ПГУПС

Галкин А.Г. — д. т. н., ректор УрГУПС,
председатель Уральского регионального
отделения РАТ

Гаранин М.А. — д. т. н., ректор СамГУПС,
председатель Самарского регионально-
го отделения РАТ

Дудкин Е.П. — д. т. н., профессор ПГУПС,
руководитель НОЦ «Промышленный
и городской транспорт»

Дунаев О.Н. — д. э. н., председатель
подкомитета по транспорту и логисти-
ке комитета РСПП по международному
сотрудничеству, директор Центра
стратегического развития логистики

Евсеев О.В. — д. т. н., вице-президент РАТ

Ефанов Д.В. — д. т. н., профессор
Высшей школы транспорта Института
машиностроения, материалов и транспорта
СПбПУ, профессор РУТ (МИИТ)

Журавлева Н.А. — д. э. н., заведую-
щая кафедрой «Экономика транспор-
та» ПГУПС, директор ИПЭБУ ПГУПС

Киселев И.П. — д. и. н., почетный
профессор ПГУПС

Козлов П.А. — д. т. н., вице-президент РАТ

Костылев И.И. — д. т. н., заведующий
кафедрой «Теплотехника, судовые котлы

и вспомогательные установки» ГУМРФ
им. адм. С. О. Макарова

Кочетков А.В. — д. т. н., председатель
Поволжского регионального отделения РАТ

Малыгин И.Г. — д. т. н., директор Инсти-
тута проблем транспорта РАН, член Прези-
диума РАТ

Мачерет Д.А. — д.э.н., профессор РУТ
(МИИТ), первый заместитель председателя
объединенного ученого совета ОАО «РЖД»

Огай С.А. — д. т. н., председатель Восточ-
ного регионального отделения РАТ

Пимоненко М.М. — к. ф-м. н., директор
Северо-Западного информационно-аналити-
ческого центра «АЙЛЮТ», доцент кафедры
«Логистика и коммерческая работа» ПГУПС

Потапов И.П. — исполнительный дирек-
тор РАТ

Пугачев И.Н. — д.т.н., заместитель директо-
ра по научной работе Хабаровского федераль-
ного исследовательского центра Дальнево-
сточного отделения РАН, профессор ДВГУПС

Розенберг Е.Н. — д. т. н., первый замести-
тель генерального директора АО «НИИАС»

Розенберг И.Н. — д. т. н., член-корреспондент
РАН, научный руководитель РУТ (МИИТ)

Соколов Ю.И. — д. э. н., директор Института
экономики и финансов РУТ (МИИТ), предсе-
датель Центрального отделения РАТ

Тимофеев О.Я. — д.т.н., профессор кафе-
дры конструкции и технической эксплуата-
ции судов СПбГМТУ

Титова Т.С. — д. т. н., проректор ПГУПС

Трофименко Ю.В. — д. т. н., вице-пре-
зидент РАТ, председатель Дорожно-
транспортного отделения РАТ, заведую-
щий кафедрой «Техносферная безопас-
ность» МАДИ

Н. Н. Якунин — д. т. н., профессор, заведу-
ющий кафедрой автомобильного тран-
спорта Оренбургского государственного
университета

Четыре года трансформации: векторы развития транспортной науки и итоги деятельности Российской академии транспорта



А. С. Мишарин,
д-р техн. наук,
президент Российской
академии транспорта,



И. П. Потапов,
исполнительный директор
Российской академии
транспорта

В марте 2025 г. состоялась отчетно-выборная конференция Российской академии транспорта, которая стала поводом для подведения итогов четырехлетнего периода и определения приоритетов научно-го сопровождения развития транспортной системы России. В условиях структурных изменений отрасли Академия выступила как опорная научно-экспертная структура, способная отвечать на вызовы времени и формировать направления технологического обновления.

Российская академия транспорта как центр консолидации научного потенциала

Российская академия транспорта (РАТ) — крупнейшая в стране общественная научная организация, объединяющая более 700 докторов и кандидатов наук из 51 региона. Академия представляет собой уникальную платформу взаимодействия науки, образования, государства и бизнеса. Ее структура включает девять региональных и два функциональных отделения, охватывающих все основные виды транспорта — от железнодорожного и автомобильного до авиационного и внутреннего водного.

За 34 года своей деятельности РАТ сформировала устойчивую экспертную экосистему, способную не только аккумулировать научные знания, но и трансформировать их в прикладные решения, востребованные отраслью.

Итоги четырехлетнего периода: от участия в стратегиях к реализации проектов

С 2021 по 2024 гг. Академия приняла активное участие в разработке ключевых документов государственной транспортной политики:

- Транспортной стратегии Российской Федерации;
- национальных проектов «Эффективная транспортная система» и «Инфраструктура для жизни»;
- Концепции научно-технологического развития транспортного комплекса до 2035 г.

СОСТАВ АКАДЕМИИ В 2025 ГОДУ

> 700 УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ
(ДОКТОРОВ И КАНДИДАТОВ НАУК)



Общественная академия наук

(ФЗ от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ
«О науке и государственной
научно-технической политике»)

Некоммерческая организация

(ФЗ от 12 января 1996 г. N 7-ФЗ
«О некоммерческих организациях»)

Кроме того, РАТ усилила свою интеграционную и просветительскую функции. За отчетный период проведено более 270 мероприятий, включая круглые столы, межведомственные дискуссии, международные конференции и онлайн-форумы. Среди наиболее значимых — совместная с Российской академией наук дискуссия «Наука в движении: живые транспортные системы» и круглый стол «Роль науки в обеспечении технологической устойчивости транспорта».

Приоритетные направления научной повестки

На конференции 2025 г. обозначены ключевые вызовы и направления дальнейшей работы Академии. Среди них:

- научно-технологическое сопровождение проектов в сфере транспорта;

Академия включает:

9 ОБЪЕДИНЕННЫХ
РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ

51 РЕГИОНАЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

- 6 ОТРАСЛЕВЫХ КОМИТЕТОВ
- 2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЯ
- НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
- ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ
- ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ ВСМ РАТ

ЧЛЕНАМИ АКАДЕМИИ ЗА 2021–2025 ГГ.:

↑	ПРОВЕДЕНО БОЛЕЕ 270 МЕРОПРИЯТИЙ (В ТОМ ЧИСЛЕ ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦИЙ)
↑	ОПУБЛИКОВАНО БОЛЕЕ 1900 ПУБЛИКАЦИЙ И МОНОГРАФИЙ В РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ИЗДАНИЯХ
ВПЕРВЫЕ	РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА ОБЕСПЕЧИЛА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ПО АКТУАЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ ДЛЯ БОЛЕЕ ЧЕМ 9000 СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНОЙ НАУКИ
↑	ТЕРРИТОРИЯ ПРИСУТСТВИЯ РАТ – 51 РЕГИОН
ВПЕРВЫЕ	ПРОВЕДЕНО 4 КРУПНЫХ ОБЩЕАКАДЕМИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЯ В РАМКАХ XVI МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА «ТРАНСПОРТ РОССИИ – 2023»
↑	ПРИНЯТ 171 ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ЧЛЕН
ВПЕРВЫЕ	УЧРЕЖДЕН ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ И ПРОВЕДЕНО 13 ЗАСЕДАНИЙ
↑	САЙТ И НОВОСТНЫЕ ПОРТАЛЫ АКАДЕМИИ ПОСЕЩАЮТ БОЛЕЕ 5000 ЧЕЛОВЕК

- технологический суверенитет;
- поддержка инженерного образования и популяризация инженерной профессии.

РАТ последовательно отстаивает тезис о стратегическом значении профессии инженера транспорта. В условиях технологических трансформаций инженер становится не исполнителем, а ключевым участником проектирования и внедрения инновационных решений.

Центр экспертизы ВСМ и поддержка проектных решений

Одним из наиболее значимых направлений стало формирование Центра экспертизы ВСМ, объединившего специалистов из 12 регионов. Он выполняет функции научной поддержки одного из самых масштабных проектов — создания высокоскоростной магистрали между Москвой и Санкт-Петербургом, что подчеркивает растущую роль Академии в реализации технологически сложных национальных инициатив.

Одновременно РАТ выполнила ряд научно-исследовательских работ в интересах промышленной и транспортной инфраструктуры, включая разработку научно-технических обоснований для объектов в Кузбассе, Свердловской обл. и других регионах, а также проекты по развитию железнодорожной сети Мо-

сквы и Московской обл. Региональная направленность исследований обеспечивает учет территориальной специфики и опору на местные научные школы.

Международное сотрудничество и развитие партнерств

Несмотря на внешнеполитические ограничения, РАТ активно развивает международное сотрудничество с университетами и исследовательскими центрами Китая, Индии, Казахстана, Узбекистана, Ирана и других стран. Создание Китайского отделения Российской академии транспорта стало стратегическим шагом в углублении научно-образовательных связей. Среди приоритетных тем сотрудничества — высокоскоростные магистрали, устойчивая логистика и интеллектуальное управление перевозками.

Члены Академии принимали участие в международных форумах, включая сессии БРИКС и ШОС, профильные логистические и железнодорожные конгрессы.

Поддержка молодых ученых и кадровое обновление

Формирование устойчивого научного и экспертного сообщества невозможно без системной работы по обновлению кадров и поддержке новых поколений специалистов. В период 2020–2025 гг. Академией принят 171 новый действи-

тельный член: представители как ведущих научных школ, так и практико-ориентированных организаций, участвующих в реализации крупных инфраструктурных и технологических проектов. Несмотря на сохраняющийся высокий уровень профессионализма, состав Академии постепенно молодеет. Средний возраст новых членов снижается по сравнению с прошлыми периодами, увеличивается доля действительных членов в возрасте до 45 лет.

Особое внимание уделяется включению в научную повестку молодых исследователей и специалистов. Для этого РАТ развивает механизмы наставничества, привлекает молодежь к участию в экспертных советах, проектных сессиях, научных форумах и грантовых программах. Создаются условия для реализации инициатив, направленных на развитие цифровых и инженерных компетенций, участие в междисциплинарных исследованиях, международное сотрудничество.

Поддержка молодых ученых рассматривается Академией как долгосрочный приоритет — инвестиция в устойчивость научного потенциала транспортной отрасли. Создание понятной и доступной траектории профессионального роста, открытые форматы взаимодействия, сопряженность с реальными задачами отрасли — все это позволяет РАТ формировать сообщество, способное не только продолжать традиции, но и адаптироваться к новым вызовам.

Заключение

Российская академия транспорта продолжает выполнять важную роль в научно-экспертном сопровождении транспортной отрасли. За четыре года удалось не только сохранить устойчивость в условиях серьезных изменений, но и значительно расширить направления работы, укрепить партнерские связи и нарастить прикладной научный потенциал.

Впереди — реализация масштабных проектов, развитие цифровых технологий, поддержка инженерного образования и дальнейшее участие в формировании научно-технологической политики в сфере транспорта. Эти задачи требуют междисциплинарного подхода, координации усилий и открытого диалога с профессиональным сообществом.

Академия — это платформа, где наука соединяется с практикой, а экспертиза — с реальными потребностями отрасли. Именно эта связка определяет ее актуальность и востребованность. **Т**

Финансово-правовое обеспечение развития транспортных технологий и информационного обеспечения



Н. С. Мигда,
канд. юрид. наук,
доцент кафедры
«Публичное право»
Государственного морского
университета имени
адм. Ф. Ф. Ушакова

В вопросе финансирования транспортной инфраструктуры важное место занимают проблемы в сфере взаимодействия органов власти и частных инвесторов. Особенно это актуально для области государственно-частного партнерства.

Реализация Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. отражена в Приложении № 9 «Финансовое обеспечение реализации Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». В нем дана структура инвестиций в транспортную отрасль по всем видам транспорта. Анализируя статистику инвестирования с 2021 по 2024 гг. и прогнозируя перспективы, можно увидеть, что величина инвестиций в разных видах транспорта растет (табл. 1). Так, например, по железнодорожному транспорту

с 2021–2024 гг. до 2030 г. и по 2035 г. процент увеличивается с 32,5 до 34,5 и 37 соответственно. Но в области морского транспорта инвестирование, наоборот, снижается. Так, с 2024 по 2030 гг. и по 2035 гг. наблюдается падение с 10,4 до 4,4 и 2,6 % соответственно. Та же тенденция наблюдается и в сфере метрополитена.

В силу определенных обстоятельств (объективных факторов, влияющих на формирование Федерального бюджета на соответствующий год) инвестирование некоторых пунктов из структуры видов транспорта меняется, т. е. одно из направлений становится более приоритетным в тот или иной период времени (табл. 1).

Анализируя структуру инвестиций в транспортную отрасль по их источникам, можно сделать вывод, что на данный момент финансирование из внебюджетных источников превышает долю из бюджета и в прогнозируемом периоде будет только увеличиваться (табл. 2).

Анализ правовой основы диалога государства и частных инвесторов

В области инвестирования государство активно взаимодействует с частными инвесторами. Такой вид деятельности называется государственно-частным партнерством (ГЧП) [1]. Сейчас ГЧП внедрено в различные области, в том числе в транспортный сектор (табл. 1, 2).

Основополагающими нормативно-правовыми актами в области государственно-частного партнерства являются Федеральные законы «О концессионных соглашениях» и «О государственно-частном партнерстве, муниципально-

Таблица 1. Структура инвестиций в транспортную отрасль по видам транспорта, %

Вид транспорта	Период		
	2021–2024	2025–2030	2031–2035
Железнодорожный, в том числе	32,5	34,2	37
проекты городского железнодорожного транспорта	8	5,3	6,7
проекты скоростного и высокоскоростного сообщения	9,1	10,5	13,3
Автомобильный	5,6	3,8	4
Внутренний водный	1,4	3,2	2,6
Морской	10,4	4,4	2,6
Воздушный	4,4	6,4	5,2
Наземный городской электротранспорт	1,1	6	6,5
Метрополитен	9,6	3,2	2,2
Дорожное хозяйство	29,6	35	36,1
Вспомогательная транспортная деятельность	5,3	3,6	3,7

Таблица 2. Структура инвестиций в транспортную отрасль по источникам финансирования, %

Инвестиции	Период		
	2021–2024	2025–2030	2031–2035
Бюджетные средства	41,2	40	37
Внебюджетные средства	58,8	60	63

Сумма федеральных и региональных бюджетных вложений с внебюджетными превышает общий объем расходов на госпрограмму. Это связано с тем, что региональные расходы часто зависят от федеральных трансфертов и могут частично задвигаться в расчетах.

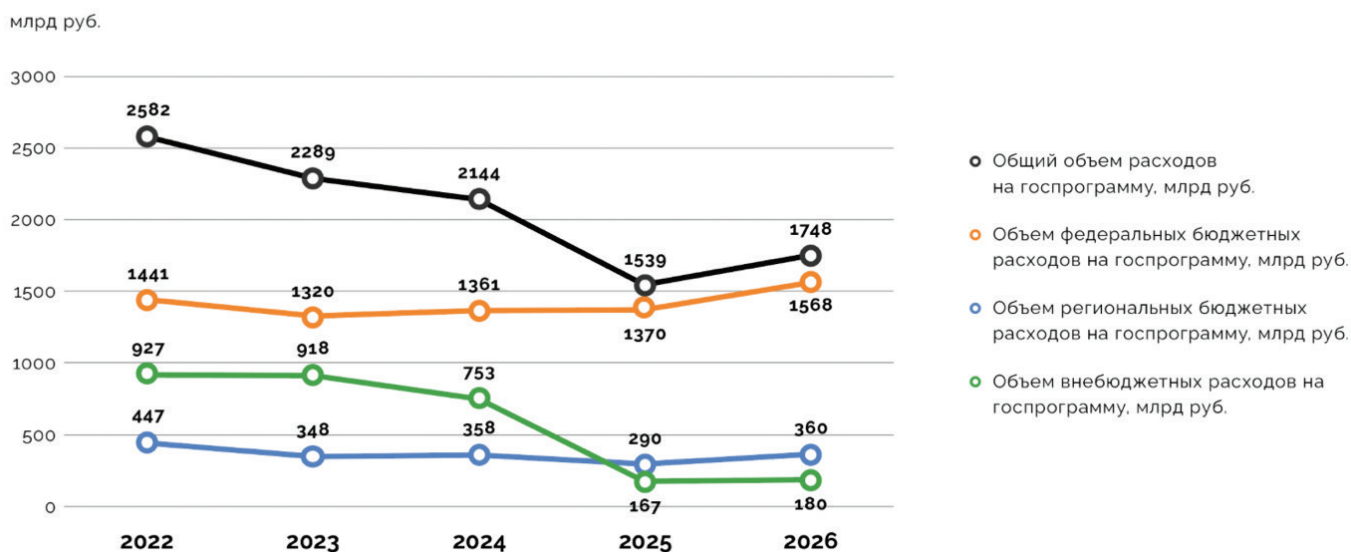


Рис. 1. Динамика расходов на госпрограмму «Развитие транспортной системы» [2]

частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Согласно этим документам, государство выступает в альянсе с частными инвесторами в качестве своеобразного гаранта для бизнеса.

В рамках государственной программы «Развитие транспортной системы», утвержденной 20 декабря 2017 г. (с изменениями от 26 июля 2024 г.), государство активно поддерживает взаимодействие с инвесторами. Однако анализируя документ, можно сделать вывод, что государственное финансирование в 2025 г. снизится (аналогичный тренд можно наблюдать и в Транспортной стратегии).

На финансирование национальных проектов прогнозируется незначительное увеличение. Большая часть денежных средств в период 2024–2026 гг. будет направлена на реализацию нацпроекта «Безопасные качественные дороги» с увеличением объема финансирования с 414 млрд до 472,3 млрд руб. При этом частные средства, составляющие бюджет государственной программы, будут снижаться (рис. 1).

Следует отметить тренд увеличения финансирования на строительство и реконструкцию дорог. Так, например, распоряжением правительства № 3922-р от 26 декабря 2023 г. Росавтодору выделяется 10 млрд руб. на капитальный ремонт автомобильных дорог федерального значения. Распоряжением № 3026-р от 28 октября 2024 г. из федерального бюджета выделено 360 млн руб. на строи-

тельство подъездной дороги к аэропорту Казань и т. д.

Национальными проектами в области транспорта являются:

- «Безопасные качественные дороги».
- «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры».
- «Эффективная транспортная система». Нацпроект рассмотрен на расширенном заседании Госсовета в мае 2024 г. [3]. В нем прогнозируется увеличение провозной способности железных дорог, а также отдельное внимание уделено портовой инфраструктуре. Предусмотрены изменения приграничной инфраструктуры, в частности, обеспечивающие сокращение досмотра груза в пункте пропуска до 10 мин.

Прогнозируется строительство высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург, что позволит сократить время в пути между столицами в два раза. Увеличено и финансирование Национальной цифровой транспортно-логистической платформы. Не менее важным вопросом является развитие кадрового потенциала отрасли. Этому направлению планируется посвятить отдельный федеральный проект, в рамках которого будут обновлены тренажерные устройства и суда, включая беспилотные комплексы, для формирования учебных флотов на базе транспортных вузов:

- «Инфраструктура для жизни». Нацпроект также рассмотрен в рамках вы-

шеуказанного Госсовета. В разрезе применения к транспорту будет создана комфортная среда для населения за счет увеличения защищенности от ДТП, а также обеспечения новым транспортом.

- «Экологическое благополучие».
- «Эффективная и конкурентная экономика».
- «Кадры» [4].
- «Туризм и гостеприимство».
- «Международная кооперация и экспорт».
- «Экономика данных и цифровая трансформация государства»¹.

Для реализации основных целей и направлений, обозначенных в Транспортной стратегии развития транспортной отрасли, необходимо развитие технологий и информационных сервисов, включая разработку отечественного программного обеспечения [5].

Основными государственными программами в области инноваций и информационного обеспечения транспортной отрасли являются:

- Государственная автоматизированная информационная система «ЭРА-ГЛОНАСС».
- Единая государственная информационная система обеспечения транспортной безопасности [6].
- Государственная информационная система электронных перевозочных документов.

¹ Указ Президента РФ от 07.05.2024 N 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».



Рис 2. Карта стран приоритетного продвижения российских ИИ-технологий



Рис 3. Карта стран приоритетного продвижения российских ИИ-технологий на основе критерия «торговое представительство и цифровое атташе в стране»

• Федеральная государственная информационная система легковых такси.

В области водного транспорта активно реализовался в 2021 г. национальный проект «Внутренний водный транспорт». Его главная цель заключалась в выработке концепции и идеи, чтобы внутренние водные пути стали не только безопасными, но и привлекательными для частных инвесторов. С 2006 г. активно привлекаются инвестиции в строительство портовой инфраструктуры и терминалов. Существовала идея введения инвестиционного портового сбора. На данный момент разработан проект концепции развития внутренних водных путей Российской Федерации на период до 2024 г., направленный на повышение пропускной способности внутренних водных путей.

Стоит согласиться с мнением Д. Н. Сухарева, который видит перспективы развития грузопотока внутренних водных

путей в использовании государственно-частного партнерства в части развития портовой инфраструктуры. По его мнению, стоит привлекать ГЧП в виде концессионных соглашений [7].

Цифровизация в рамках Транспортной стратегии

В поддержку Указа президента РФ по цифровизации экономики государства, в частности, транспортной отрасли, существует национальный проект «Цифровая экономика». В его рамках обозначены следующие направления деятельности [8]:

- регулирование цифровой среды — развитие цифровой экономики, внедрение новых отечественных технологий во все сферы экономики, начиная от бизнеса и заканчивая судопроизводством и нотариатом [9];
- информационная инфраструктура — распространение сети Интернет во

всех регионах страны, в малонаселенных пунктах;

- кадры для цифровой экономики — совершенствование системы образования в области подготовки кадров в цифровом секторе экономики, совершенствование программного обеспечения, оборудования в учреждениях образования [10];

- информационная безопасность — создание более эффективной системы защиты информационного пространства;

- цифровое государственное управление — внедрение новейших информационных платформ на федеральном и муниципальном уровнях;

- искусственный интеллект (ИИ) — внедрение особых технологий во все сферы и секторы экономики [11];

- развитие Центра технологического лидерства — выработка отечественных информационных технологий и их внедрение как в России, так и за рубежом (рис. 2).

На рис. 3 отмечены государства по такому критерию, как «торговое представительство и цифровое атташе» в стране. Под ним понимается государственное содействие российским ИИ-технологиям, сотрудничество стран с РФ.

Представим рейтинг государств, обозначенный Центром технологического лидерства, который внедряет российские ИИ-технологии. Основанию рейтинга послужили следующие параметры:

- статус страны, умноженный на параметр экономической интеграции;
- объем валового внутреннего продукта;
- торговое представительство и «торговое атташе» в стране;
- импорт и экспорт ИКТ-услуг¹;
- индекс экономической свободы (исключены государства с низким уровнем бизнеса);
- индекс торговой зрелости (формируется на основании двух критериев — ввод и выпуск инноваций);
- доля ресурсов в структуре валового внутреннего продукта (государство приобретает ИИ-технологии за рубежом, т.е. не в состоянии изобретать и внедрять отечественные умные технологии);
- индекс использования Интернета населением (возможное цифровое неравенство регионов);
- внешнеторговый оборот;

¹ ИКТ — информационно-коммуникационные технологии.

- культурно-языковой барьер (рассчитан на основе родства языка и наличия в Российской Федерации специалистов, владеющих данными языком).

В табл. 3 обозначены 15 государств, занимающих первые строки в рейтинге внедрения и использования российских ИИ-технологий.

Следует отметить, что транспортные технологии и информационное обеспечение активно взаимодействуют на современном этапе развития российского государства. Искусственный интеллект эффективно используется в сфере транспорта в следующих кейсах:

Оптимизация расстановки грузов на складе. Внедрение ИИ потребовалось в связи с деятельностью менеджера, который вручную выстраивал стратегию и очередь прохождения контейнера в порту, перемещения от склада к складу. Такие действия замедляют процесс расстановки контейнера на территории порта. Внедрение ИИ позволило сократить неэффективные перемещения на 20 %, а также человеческий фактор и возможные ошибки. ИИ-интеллект в данной области на основе характеристик спрогнозировать срок нахождения в порту, а также выявить закономерности в передвижении, подобрать оптимальное размещение на складах с целью минимизации времени постановки груза [12].

Распознавание номеров контейнеров и пломб в портах. Данные транспортные инновации внедряются также в логистический сектор оказания транспортных услуг. Это обусловлено человеческим фактором, т. е. возможностью совершения ошибок при считывании и фиксации номеров контейнеров, что значительно замедляет пропускную способность порта. При внедрении ИИ прогнозируется существенное сокращение нахождения

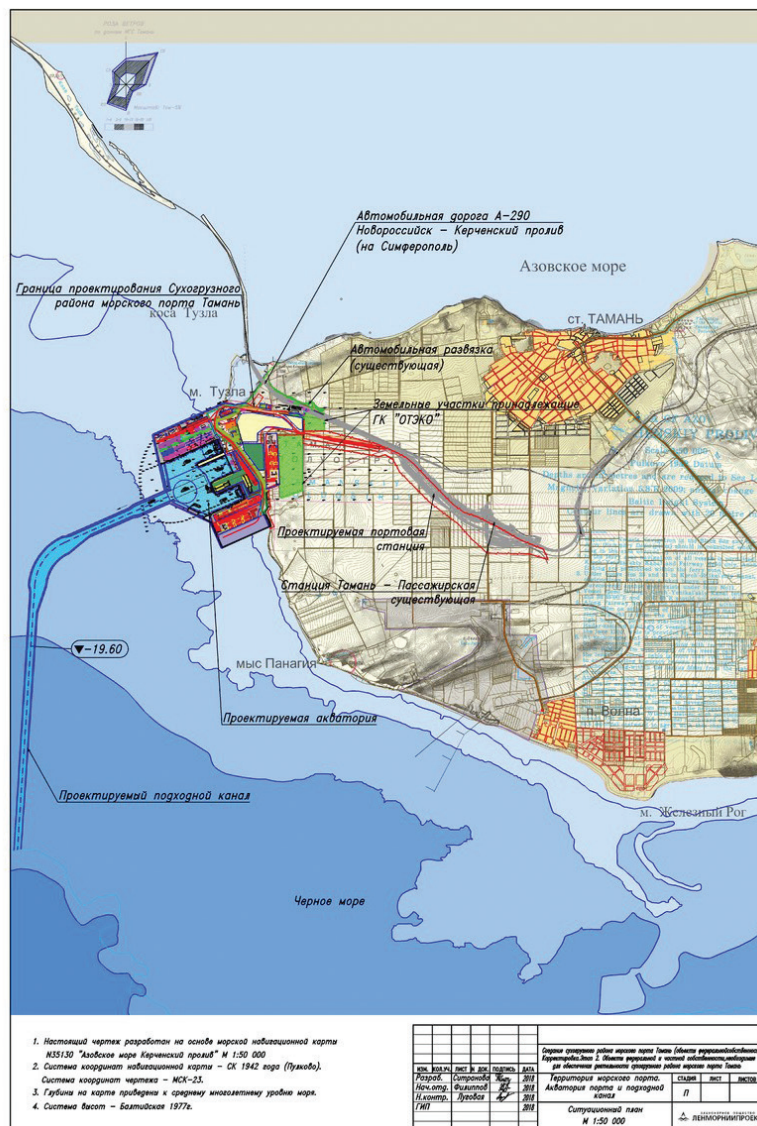


Рис. 4. Проектирование сухогрузного района морского порта Тамань

судна в порту, а также времени ввода номера контейнера. Перечисленные преимущества делают порт более конкурентоспособным.

Решения для транспортного планирования. В силу отсутствия реальных данных о плотности населения, наличия или отсутствия транспортных маршрутов в районах возникает необходимость внедрения ИИ в видеокамеру наблюдения в транспортной системе населенного пункта. Инновация позволит сократить пребывание водителя в пробках, а также поможет развить новые транспортные маршруты общественного транспорта для населения.

Решения для аналитики пассажиропотока. Внедряется также с целью регулирования и анализа актуальной реальной информации о пассажиропотоке населенного пункта в камеру видеонаблюдения транспортной инфраструктуры. Необходимость возникла в связи

с неэффективным использованием маршрутов общественного транспорта. В процессе внедрения ИИ появится актуальная информация о загруженности транспортного потока пассажирских перевозок, будет выявлена необходимость для открытия новых транспортных маршрутов общественного транспорта. Данная система призвана улучшить транспортную инфраструктуру для населения.

Чат-бот с ИИ в сервисах доставки. Данная система внедряется в отдел по работе с клиентами. Она поступила от ПАО «Магнит» и АО «Почта России». Внедрение искусственного интеллекта в систему обслуживания позволит сократить период обработки запросов клиентов, а также общаться с несколькими клиентами одновременно.

Интеллектуальная транспортная система для организации дорожного движения. Направлена на организацию транспортной системы с помощью автоматического регулирования светофорами ав-

томобильного потока с целью минимизации заторов на дорогах, а также предупреждения дорожно-транспортных происшествий. Деятельность ИИ в данной сфере направлена на анализ транспортного потока в реальном времени с помощью видеокамеры. Также ИИ формирует базу и проводит аналитику сценариев дорожного движения.

Складская инвентаризация дронами. В силу часто возникающих ошибок операторов, обусловленных человеческим фактором, заказчик несет значительные потери. Система искусственного интеллекта осуществляется с помощью камеры, находящейся на дроне. Это позволит избежать высотных работ, сократив риски для работников. Также инновация сократит время проводимой инвентаризации. Процесс автоматизации заключается в том, что дрон самостоятельно будет летать и сканировать штрих-код с товара.

Табл. 3. Ранжирование государств, продвигающих российские ИИ-технологии

№ п/п	Страна	Конечный результат
1	Казахстан	9,8
2	КНР	8,64
3	Беларусь	8,6
4	Бразилия	8,37
5	Индия	7,98
6	Турция	7
7	ОАЭ	6,875
8	Армения	6,6
9	Иран	6,6
10	Индонезия	6,575
11	Таиланд	6,575
12	Саудовская Аравия	6,5
13	ЮАР	6,33
14	Малайзия	6,325
15	Киргизия	6,32

Существуют и другие проекты, в которые активно внедряются российские продукты с искусственным интеллектом: контроль соблюдения правил дорожного движения; беспилотное такси; система оплаты по биометрии; система поддержания летной годности и ремонта воздушных судов; система контроля загрузки грузового транспорта; платформа распознавания документов для приема водителей; контроль состояния водителей; контроль безопасности на железной дороге; цифровой двойник аэропорта и др. Их перечень отражен на странице Технического лидера [13].

Проблемы развития ГЧП в области инноваций в транспортных технологиях

Подводя итог, следует выделить некоторые аспекты, которые не позволяют в полной мере реализовать национальные цели и приоритеты в области инновационных транспортных технологий и национальных проектов в области транспорта.

В первую очередь стоит отметить недостаточное привлечение частных инвесторов в области реализации государственных программ. Такую слабую заинтересованность можно объяснить боязнью инвесторов в участии в национальных проектах, хотя здесь государство выступает как защитник и интегратор частных и публичных интересов. Вторым фактором является низкая технологическая, инженерная и организационная готовность проектов. Третий аспект — это региональное неравенство в рассматриваемой сфере.

В области морского и речного транспорта есть целый ряд проектов в рамках государственно-частного партнерства: строительство сухогрузного района морского порта Тамань (планируется завершить в 2025 г.) (рис. 4), международного морского терминала для приема круизных и пассажирских судов в г. Пионерском Калининградской обл. (завершено в 2018 г.), погрузочных терминалов в порту Зарубино (завершено в 2022 г.), угольного производственно-перегрузочного комплекса «Север» в порту Восточный (планируется завершение в 2025 г.), угольного терминала в бухте Мучке порта Ванино (завершено в 2020 г.), угольного терминала в порту Вера (завершено в 2019 г.).

При этом видим, что только два проекта готовы к завершению в 2025 г., а новых коопераций государства и частных инвесторов нет. Вывод очевиден: необходимо активнее привлекать частных инвесторов, делать портовую инфраструктуру конкурентоспособной в области инноваций и новых транспортных технологий.

Источники

1. Абрамян С. К., Голубкина К. В. Межведомственное взаимодействие органов управления водным транспортом Российской Федерации // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 1–2 (43). С. 82–85. EDN: ZSWMBN.

2. Новый проект команды профессионалов в области анализа рынков и данных. URL: <https://shepagroup.ru/analytics/5ex56hb> (дата обращения: 14.11.2024).

3. Новые национальные проекты в сфере транспорта повысят качество жизни россиян. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/11262> (дата обращения: 12.11.2024).

4. Тория Т. Г., Епихин А. И., Хекерт Е. В., Модина М. А. Разработка системы самообучения интеллектуальных агентов для управления судовым двигателем // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 2–1 (60). С. 85–91. DOI: 10.37220/MIT.2023.60.2.010. EDN: IQVWLS.

5. Мигда Н. С., Ланцева В. Ю., Семенов А. В., Куликовская И. С. Перспективы цифровизации логистики и транспортной инфраструктуры Российской Федерации // Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов: Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, 27 октября 2023 г., Москва, Россия. СПб.: Печатный цех, 2023. С. 206–214. EDN: UAIFUS.

6. Государственные программы. URL: <https://mintrans.gov.ru/activities/94/7/9> (дата обращения: 11.11.2024).

7. Сухарев Д. Н. Актуальные задачи научных исследований в области управления развитием транспортного комплекса // Научные проблемы водного транспорта. 2023. № 75. С. 175–187. DOI: 10.37890/jwt.vi75.376.

8. Национальные проекты. URL: <https://национальныепроекты.рф/projects/tsifrovaya-ekonomika/p-tsifrovye-tekhnologii-p/> (дата обращения: 11.11.2024).

9. Епихин А. И., Хекерт Е. В. Формирование структуры интеллектуальной системы автоматического управления судовым двигателем // Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 4–1. С. 79–84. DOI: 10.37220/MIT.2023.62.4.010. EDN: INSAPO.

10. Migda N. S. Using the quality management system for risk management by the seaport administration // SHS Web of Conferences. 2023. Vol. 164. P. 00042. DOI: 10.1051/shsconf/202316400042. EDN: MBXKJN.

11. Студеникин Д. Е., Бован С. Д., Хекерт Е. В., Модина М. А. Использование нейронных сетей для организации визуального наблюдения // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4–3 (46). С. 91–95. EDN: QCGKZM.

12. Технический лидер. URL: <https://texlid.pf/case.php?case=2423> (дата обращения: 14.11.2024).

Использование больших данных в сценарном анализе развития транспортного полигона Северо-Западного федерального округа



Н. А. Журавлева,
д-р экон. наук,
директор Института
прикладной экономики
и бухгалтерского учета
железнодорожного
транспорта, профессор
кафедры «Экономика
транспорта»
Петербургского
государственного
университета путей
сообщения Императора
Александра I (ПГУПС),



И. Л. Сакович,
канд. экон. наук,
первый заместитель
начальника Октябрьской
железной дороги по
экономике, финансам
и корпоративной
координации — филиала
ОАО «РЖД»,



Е. В. Новикова,
главный специалист
отдела методологии
бюджетирования
и ценообразования
управления экономики
железнодорожного
транспорта Института
прикладной экономики
и бухгалтерского учета
железнодорожного
транспорта ПГУПС

Проекты развития транспортной железнодорожной инфраструктуры должны быть реализованы под достоверно оцененные объемы перевозок. Меняющаяся геоэкономика изменила и продолжает менять структуру и объемы перевозимых грузов, что существенно затрудняет обоснование эффективности таких проектов. Большие данные и их сценарный анализ могут существенно усилить аргументацию транспортного развития полигонов железных дорог, обеспечивающих подходы к морским портам.

Методология сценарного анализа со времени своего появления (середины 1960-х гг.) стала неотъемлемой частью отраслевых и функциональных стратегических проектов. Ее основной смысл — получить обоснованные решения в различных вариантах развития событий с учетом оценки влияния на них рисков и неопределенности.

Именно эти варианты формируют сценарии, описываемые набором факторов, формирующих систему показателей, отражающих риски их вариаций в альтернативных направлениях развития ситуации. Это общий подход, применяемый в проектах различных масштабов (от международных до производственных или региональных), видов деятельности, отраслей и социально-экономических процессов в целом [1].

При этом данная методология существенно усложняется, когда речь идет о проектах развития транспортно-логистических систем. Основным фактором такого усложнения является структура комплекса перевозок, в основе которой лежит транспортная инфраструктура — железные и автомобильные дороги, морские порты, аэропорты. Любой значимый проект развития такой инфраструктуры предполагает существенные капитальные затраты, длительные сроки окупаемости и соответствующие расходы на эксплуатацию и обеспечение безопасности.

В этом контексте анализ проектов развития транспортной инфраструкту-

ры связан со сценариями существующих и будущих цепей поставок, формирующихся исходя из структуры и объемов сложившихся грузопотоков, изменений межотраслевых и межрегиональных товарных балансов. Существенное влияние на развитие сценариев цепей поставок оказывают процессы их цифровизации, а именно цифровые платформенные решения по управлению и оптимизации перевозок.

Аналитика структурированных данных в сценарном анализе грузопотоков добавляется аналитикой неструктурированных данных о поведении грузоотправителей, перевозчиков, операторов, владельцев инфраструктуры и других участников рынка грузовых перевозок. Цифровые платформы позволяют оценивать множество видов сценариев реализации цепи поставки: от «идеального» с минимальными операционными затратами до «реального в данный момент времени», учитывающего влияние факторов, ограничивающих перевозку (обходные маршруты, снижение скорости, рост тарифа и пр.).

С позиции грузовладельца (грузоотправителя) каждый разрабатываемый сценарий реализации цепи поставки формируется определенным набором факторов, определяющих вероятность его осуществления, зависящих от конфигурации маршрута, его модальности (смешанности перевозки разными видами транспорта), пропускной и провозной способности путей сообщения.

Для владельцев транспортной инфраструктуры (железных дорог, подъездных путей к морским портам, автодорог, портов и аэропортов) сценарный анализ должен предполагать наличие обосновывающих факторов прогнозов, заявляемых к перевозке структуры и объемов грузов. Иначе говоря, сценарии развития транспортной инфраструктуры должны учитывать сценарии развития мировой, региональной, страновой и отраслевой экономики, а также изменения в структуре и объемах международных торговых балансов.

В данном исследовании рассмотрены сценарии развития полигона Октябрьской железной дороги (ОЖД) как пространственной концентрации на территории Северо-Западного федерального округа транспортно-логистических центров, транспортных комплексов, крупных магистралей и морских портов [2].

Несмотря на региональный характер полигона ОЖД, его значимость для транспортной системы России и международных транспортных коридоров чрезвычайно высока. Железнодорожная и автомобильная инфраструктура обеспечивает здесь подходы к восьми международным погранпереходам, к семи морским портам, сухопутным передаточным пунктам, соединяя страны Европы, Южной и Средней Азии.

При этом в период с 2022 г. инфраструктурные проекты, планируемые к реализации (прежде всего железнодорожного транспорта), замерли в ожидании большей определенности по объемам и маршрутам грузовых перевозок. Много написано о влиянии геополитических и геоэкономических изменений последних лет на международные и региональные перевозки, отражение которых очевидно на данном транспортном полигоне. Изучена основная система факторов, определяющих вероятностные сценарии развития событий. Чаще всего авторы опираются на наборы структурированных данных, формирующих сценарные расчеты, и именно по ним строятся прогнозы изменения объемов перевозок [3].

Это данные статистических рядов прогнозируемых тенденций развития товарных рынков, обслуживаемых рассматриваемым полигоном (прогнозы производства и потребления), объемов предполагаемого транзита (в том числе по международным транспортным коридорам) и перевалки грузов в морских портах. Такая информация традиционно надежно обеспечивает процедуры фор-

мирования сценариев развития транспортной инфраструктуры в условиях устойчивых тенденций развития мировой и региональной экономики.

К сожалению, нынешняя ситуация на товарных рынках достаточно аномальна (флуктуативна), т. е. при определенных условиях изменения объемов, структуры грузов и маршрутов их перевозки могут вырасти до масштабов слома существующей транспортной системы и стать началом образования новой.

Разумеется, проекты развития транспортной инфраструктуры, как чрезвычайно капиталоемкие, не могут опираться исключительно на традиционные сценарные расчеты. Эта проблема широко обсуждается в научном сообществе [4, 5].

Следует проверять чувствительность показателей, оценивающих эффективность этих проектов (расширение «узких мест», строительство или модернизация объектов инфраструктуры, создание новых транспортных сетей и пр.), на рост эксплуатационных расходов по содержанию инфраструктуры, связанных с дефицитом оборудования, запасных частей, технологий и материалов, на отказ от перевозки в связи с ростом железнодорожных тарифов и пр. Добавляемые в анализ неструктурированные данные, в том числе «принудительные данные» в виде экспертных оценок, гипотез, предположений позволяют сформировать гипотезы новых конфигураций цепей поставок, усиливая достоверность сценарного анализа.

Вероятность этих гипотез может быть подтверждена данными о поведении всех участников рынка грузовых перевозок (не имеющими заранее заданной структуры или модели формирования). Именно с вводом в сценарные расчеты таких данных получены результаты исследования.

Сценарный анализ эффективной реализации проектов развития железнодорожной инфраструктуры полигона Октябрьской железной дороги

Цель сценарного анализа — оценка объемов перевозок грузов на полигоне ОЖД на период до 2035 г., в том числе уточнение достижения целевых показателей по грузообороту в утвержденных правительством проектах развития, модернизации и расширения магистральной инфраструктуры, Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов пар-

никовых газов до 2050 г., Энергетической стратегии России на период до 2035 г., Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г., Федеральном проекте «Развитие железнодорожных подходов к морским портам Северо-Западного бассейна» и других нормативных документах.

Оценочные параметры такого сценария (при рассчитанных объемах капитальных затрат и эксплуатационных расходов проектов развития полигона) позволяют уточнить эффективность данных проектов и их окупаемость в различных вариантах развития событий, а также насколько текущая инфраструктура обеспечивает вероятностные объемы перевозки.

Несмотря на то, что цели анализа по расчету чувствительности проектов соответствуют классическому решению оценки изменений в цепях поставок, сам анализ должен ответить на вопрос, что будет с загрузкой инфраструктуры, если события будут развиваться не так, как в обозначенных проектах [6]. Какие должны быть приняты решения с изменением приоритетов или конфигурации маршрутов не только с точки зрения экономического эффекта, но и с учетом сложности имплементации и организации перевозки?

Рассмотрены два прогнозных сценария перевозки (объемов и структуры) грузов на полигоне ОЖД, влияющих на будущее развитие его инфраструктуры: инерционный — развитие полигона соответствует заданным параметрам федеральных проектов развития транспортной инфраструктуры; целевой — развитие транспортной инфраструктуры полигона учитывает прогнозы производства и потребления основных видов перевозимых грузов, формирующихся под влиянием геоэкономических и геополитических изменений на товарных рынках и цепях поставок. Целевая стратегия предполагает максимизацию использования всех факторов роста.

В качестве инструмента сценарного анализа использовано агентное моделирование — имитация поведения децентрализованных агентов с учетом неструктурированных данных об их вероятностных действиях в условиях роста рисков санкционных ограничений, инфляционных ожиданий, падения (роста) объемов производства, изменения структуры и объемов потребления и пр., их влияния на будущее состояние системы в целом. Данный метод апробирован и описан в научной литературе [7].

Архитектура больших данных, используемых в сценарном анализе

Основу сценарного анализа составляют:

1. Структурированные данные, отражающие динамику макроэкономических прогнозов и прогнозов развития основных компаний — производителей и потребителей основной номенклатуры перевозимых грузов (агрегированы по видам перевозимых грузов) (табл. 1).

Приведены структурированные данные о прогнозах развития производств агентов — компаний, производителей и потребителей грузов, перевозимых на полигоне Октябрьской железной дороги. Выборка произведена по принципу Парето (20% товаропроизводителей формируют 80% объемов перевозки). Исследована динамика статистических рядов прогнозов их развития с учетом стратегии, национальных проектов и программ/проектов развития федерального и регионального значения в связи с прогнозными сценариями развития полигона ОЖД. Учтены такие факторы, как финансово-экономические колебания конъюнктуры, санкции, углеводородная нейтральность стран-импортеров. Сформирована последовательность ряда исходных данных с определением их периодичности и стационарности. В данной статье данные обезличены и агрегированы по видам грузов.

2. Неструктурированные данные сценарного анализа.

Архитектура неструктурированных данных представлена многомерным измерением показателей, характеризующих состояние среды и перспективы развития производителей и потребителей грузов, перевозимых на полигоне (грузоотправителей)¹.

Первая группа показателей характеризует их инновационность (конкурентоспособность в прогнозируемом периоде). Математически отражается как степень, в которой траектория развития данной компании может поглощать инновации и развиваться в ответ на новые технологические, социальные, институциональные и организационные изменения, влияющие на долгосрочное качество роста.

Параметры инновационности связаны не только с технологиями, но и уровнем компетенций персонала (патенты, разработки и затраты на НИОКР, ноу-хау, способность их встраивать в новые цепочки создания стоимости). В лите-

Таблица 1. Структурированные данные о тенденциях социально-экономического развития РФ, энергетической и транспортной стратегий

Документ	Стратегии и направления развития, обозначенные в документе				
Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. (утв. распоряжением правительства от 29.10.2021 г. № 3052-р)	Сокращение экспорта энергоресурсов в год на период 2031–2050 гг.: инерционный сценарий» на 2,8%; интенсивный сценарий: на 2,1 %				
Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. (утв. Распоряжением правительства от 09.06.2020 г. № 1523-р)	Рост объемов экспорта энергоресурсов в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) к 2035 г.: • общий объем на 20 %; • сырой нефти на 25 %; • угля в 1,5 раза. Рост эффективности процессов переработки нефти: • снижение объемов нефти, направляемых на переработку, на 10 млн т за счет роста выхода светлых нефтепродуктов с 58,6 до 70–79 %; • рост производства СПГ в 3–6 раз. Рост объемов экспорта угля в страны АТР за счет обеспечения транспортной доступности к новым центрам угледобычи				
Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. (утв. распоряжением правительства от 27.11.2021 г. № 3363-р)	Объемы перевозки/экспорта через порты Северо-Запада, в % к 2022 г.	«Консервативный» сценарий		«Базовый сценарий»	
		2025	2030	2025	2030
	Нефть и нефтепродукты	97,1/96,4	92,4/90,7	101,1/101,2	102,8/103,3
	Уголь/кокс	92,0/92,0	80,0/ 80,0	105,7/105,7	116,0/116,0
	Черные металлы	107,7/–107,7	121,5/121,5	107,7/200,0	121,5/364,7
	Руда	120,8/119,1	166,7/159,6	129,4/129,4	194,1/194,1
	Химические и минеральные удобрения	119,8/–119,8	162,0/162,0	125,5/201,0	182,5/367,7
	Прочие	107,1/107,5	119,8/121,5	107,1/107,5	119,8/121,1
	Всего	103,6/104,0	109,8/111,1	106,2/107,0	117,3/119,6
Флагманский отчет «О перспективах мировой энергетики до 2050 г.» (World Energy Outlook 2022) ¹	Сценарий «объявленной политики» (STEPS), отражающий политику ряда стран к энергопереходу и отказу от углеводородов. Сценарий «анонсированных обязательств» (APS), в котором учитываются все климатические обязательства стран. Сценарий «Чистый ноль выбросов к 2050 г.» (NZE2050), согласно которому заявленные страны выходят на нулевой баланс выбросов (Net Zero Emissions)				

Примечание: названия типов сценариев соответствуют приведенным документам.

Источник: составлено авторами по данным из открытых источников.

¹ World Energy Outlook 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> (дата обращения: 21.03.2025).

Таблица 2. Прогноз объемов перевозок грузов на полигоне ОЖД с учетом использования факторов роста

Вид груза	Горизонт прогнозирования, в % к 2023 г.						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Нефть и нефтепродукты	105,8	113,2	113,9	114,7	116,7	118,5	120,2
Каменный уголь	104,5	108,9	109,4	110,2	111,8	113,1	114,4
Химические и мин. удобрения	106,3	112,6	116,0	121,6	127,1	132,6	138,2
Руда железная и марганцевая, цв. и серное сырье	102,1	104,3	106,3	109,1	112,0	114,8	117,6
Строительные грузы	105,4	112,4	114,0	116,3	120,1	123,9	127,6
Прочие	104,8	111,7	112,8	114,0	115,0	115,7	116,4
Итого	105,0	110,9	112,4	114,5	117,1	119,6	122,0

Источник: составлено авторами по данным из открытых источников.

ратуре описан процесс моделирования цифрового инжиниринга, как одного из элементов инновационности [8].

Вторая группа — инклюзивность. Она отражает степень, в которой траектория государственного регулирования и поддержки производителей включает все заинтересованные стороны в создаваемых им выгодах и возможностях для роста производства и потребления. Этот компонент оценивает результаты страны в таких областях, как участие в рабочей силе и образовании, доступ к услугам, включая жилье, транспорт и финансы, равенство в исследованиях и технологиях.

Третья группа связана с показателями устойчивого развития, определяя степень перехода к экологически чистым технологиям прежде всего стран-потребителей топливно-энергетических ресурсов, преобладающих в структуре грузовых перевозок на полигоне. Понимая, что при текущих траекториях мир, скорее всего, не достигнет целей Парижского соглашения по глобальному потеплению, в прогнозах перевозок данных грузов следует учитывать национальные доктрины экологической нейтральности таких стран, как Китай, реализация которой может сократить в разы потребляемые объемы топлива. Однако, по сравнению с реагированием на отдельные риски, устойчивость подразумевает подготовку и адаптацию к таким системным рискам, которые охватывают всю экономику, что часто требует создания некоторого уровня избыточности и резервов.

Четвертая группа — самодостаточность как определенная форма устойчивости, способная уменьшить зависимость от импорта и укрепить внутренние экономические взаимосвязи. В контексте производства товаров и услуг это означает обеспечение разнообразия поставщиков, открытости логистических сетей и гибкости методов производства.

Надежные цепочки создания стоимости и динамичные товарные сети являются эффективным средством повышения национальной устойчивости. Данные отражают уровень локализации производств товаропроизводителей.

Сценарный анализ архитектуры больших данных

Инструментом сценарного анализа является агентная модель ввоза и вывоза грузов на полигоне ОЖД на перспективу до 2030 г. Расчет проведен по двум вариантам стратегии: инерционному (соответствующему заданным параметрам федеральных проектов развития транспортной инфраструктуры полигона ОЖД) и целевому (формирующемуся под влиянием геоэкономических изменений). Он предполагает максимизацию использования всех факторов роста.

Применен следующий алгоритм обработки данных:

- Генерация совокупности данных по независимым агентам, существенно влияющим на объемы и структуру перевозимых грузов: инновационность, инклюзивность, устойчивое развитие и самодостаточность по следующей выборке:

- физические агенты: грузоотправители, грузополучатели, экспедиторы, транспортные агенты;

- инфраструктурные агенты на полигоне ОЖД: железнодорожные подъездные пути, транспортно-логистические центры, морские порты;

- агенты-регуляторы: РФ, Северо-Западный федеральный округ.

Источники данных:

- устойчивые тенденции изменений международных и региональных цепей поставок (объемы и маршруты региональных перевозок и перевозок в международных транспортных коридорах);

- оперативная отчетность, данные информационных систем ОЖД;

- планы развития, прогнозы, отчетность грузоотправителей и грузополучателей.

Обработка данных: построение структурированных данных, их аналитика, прогноз показателей объемов перевозки грузов железнодорожным транспортом. Применение методов дифференциации, относительных единиц, интегрального, индексного, экономико-математического моделирования.

Использование многомерного подхода к обработке неструктурированных данных, который фокусируется на оценке качества роста бизнеса товаропроизводителя и баланс между различными приоритетами его развития, без агрегации в единый индекс.

Аппроксимация расчетных моделей на уровне от 0,7–0,99, что повышает достоверность сценарных прогнозов.

В табл. 2 приведены результаты анализа целевого сценария в части прогноза объемов перевозок грузов в целом по полигону ОЖД с учетом неструктурированных данных.

Расчет объема перевозок не является достаточным для обоснования проектов развития инфраструктуры полигона. Тем же методом оценены следующие показатели:

1. Темпы роста по объему погрузки грузов — 123,95 %, в том числе:

- нефти и нефтепродуктов — 118,54 %,
- каменного угля — 113,33 %,
- химических и минеральных удобрений — 140,77 %.

2. Темпы роста по объему выгрузки грузов — 121,08 %, в том числе:

- нефти и нефтепродуктов — 120,49 %,
- каменного угля — 114,37 %,
- химических и минеральных удобрений — 136,46 %.

Заключение

Сценарный анализ, основной сутью которого является проверка гипотез,

обосновывающих принятие сложнейших финансовых, технических, организационных и управленческих решений по развитию транспортной инфраструктуры, является важнейшим инструментом поиска решения, наиболее близкого к оптимальному и имеющего выраженные преимущества.

В данном контексте основной проблемой является оптимальная архитектура неструктурированных данных, обосновывающих рост (падение) бизнеса товаропроизводителей: их избыточность (недостаток) и достоверность. Ряд неструктурированных данных практически невозможно оцифровать и учесть в модели, например, плохой менеджмент в компании, коррупция, теневая экономика бизнеса и пр.

По этим причинам дальнейшие исследования в части проверки гипотез будут связаны с разработкой дорожной карты поэтапных изменений в каждой группе данных: инновационность, инклюзивность, устойчивое развитие и самодостаточность, по-разному реа-

лизуемых и влияющих на экономический эффект транспортных проектов. **Т**

Источники

1. Ковалев П. П. Сценарный анализ, методологические аспекты // Финансы и кредит. 2009. № 44 (380). С. 9–13. EDN: KWWWVD.
2. Рослякова Н. А. Исследование транспортных полигонов РФ // Друкеровский вестник. 2014. № 4(4). С. 86–95. EDN TJVSGB.
3. Зимовец А. В., Климачев Т. Д. Анализ и оценка сценариев социально-экономического развития России в условиях санкционной блокады и непредсказуемости глобальных трендов мировой экономики // Экономические отношения. 2023. Т. 13. № 1. С. 181–202. DOI: 10.18334/eo.13.1.117207.
4. Сценарный анализ – методы и примеры прогнозирования. URL: https://www.1cbit.ru/blog/stsenarnyy-analiz-metody-i-primery-prognozirovaniya/?ysclid=m3x0619tir762756529&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 25.12.2024).

5. Димитриади Н. А., Иванова Е. А., Левина Ю. В., Щепилов О. И. Сценарный анализ в стратегическом управлении современным бизнесом. М.: Первое экономическое издательство, 2023. 224 с. DOI: 10.18334/9785912924705
6. Темников А. Планирование в условиях рисков и неопределенности: Сценарный анализ. URL: <https://lamancon.ru/blog/scenarny-analiz?ysclid=m3mquzuc4d189610401> (дата обращения: 25.11.2024).
7. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Агент-ориентированное моделирование больших социально-экономических систем на основе общей теории функциональных систем П. К. Анохина // Искусственные общества. 2022. Т. 17. № 3. DOI: 10.18254/S207751800021924-5.
8. Красюк Т. Н. Трансформация стратегических моделей в контексте развития трансграничных цифровых экосистем // Менеджмент в России и за рубежом. 2024. № 2. С. 11–19. EDN: AAVHPW.



Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Академия включает
48 РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ

ДАТА ОСНОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ТРАНСПОРТА:

26 июня 1991 года



Президент Академии:
А.Т.Н.
АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ МИШАРИН

СОСТАВ АКАДЕМИИ В 2023 ГОДУ

> **680 УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ:**

170 ДОКТОРОВ НАУК

510 КАНДИДАТОВ НАУК

260 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ РАТ



Совершенствование законодательства об ответственности за совершение актов морского пиратства



А. А. Головина,
старший преподаватель
кафедры «Публичное
право» Государственного
морского университета
им. адм. Ф. Ф. Ушакова

Обеспечение состояния защищенности морских судов и членов экипажей от различных опасностей, имеющих преступную природу, – важная задача, решаемая различными способами, включающими в себя также применение уголовно-правовых инструментов.

История морского флота свидетельствует о том, что угрозы безопасности связаны не только с природными явлениями, агрессивной окружающей средой и эксплуатацией судов и портовых средств как технически сложных элементов, но и с человеческим фактором, который является одним из главных причин аварийности [1]. При этом к ситуациям, грозящим причинением вреда здоровью и жизни человека, утратой или повреждением имущества на море приводят не только неосторожные действия, связанные с ошибками, усталостью, недостаточной квалификацией моряков и т. д. Нередко вред охраняемым действующим законодательством интересам становится следствием умышленных действий

лиц. К ним необходимо отнести и морское пиратство [2]. Данное преступление зародилось много веков назад, сопутствуя развитию торгового судоходства [3].

Ошибочно полагать, что рассматриваемое деяние не является распространенным в современном мире. По информации Международного морского бюро [4], ведущего статистику регистрируемых пиратских нападений, в 2020 г. зафиксировано 195 актов морского пиратства, в 2021 г. – 132, в 2022 г. – 115, в 2023 г. – 120, а за 2024 г. – 116. При этом необходимо отметить, что реальное число таких преступлений предположительно выше, так как не все факты нападений регистрируются и учитываются данными официальной статистики.

Внимания заслуживают также сведения об использовании различного рода оружия, применяемого в указанные периоды в большинстве нападений. Кроме того, опасными последствиями зафиксированных в статистических данных актов морского пиратства стали захват членов экипажа в заложники (126 зафиксированных случаев за 2024 г., в 2023 г. – 73, в 2022 г. – 41, в 2021 г. – 8), похищения членов экипажа (12 фактов за 2024 г.) и т. д.

К числу наиболее опасных последствий морского пиратства необходимо отнести убийство пиратами моряков. Статистические отчеты Международного морского бюро последних лет свидетельствуют о единственном зафиксированном факте умышленного причинения смерти члену экипажа захваченного судна (2021), однако важно понимать, что угроза подобных последствий при пиратском нападении присутствует всегда.



Все это подтверждает необходимость совершенствования применяемых в современном мире правовых инструментов противодействия описываемому феномену. Целью настоящей работы является выработка предложений по совершенствованию законодательства России об ответственности за совершение пиратства в части квалификации умышленного причинения смерти в условиях пиратских нападений.

Законодательство о борьбе с морским пиратством

Одним из инструментов борьбы с актами морского пиратства являются соответствующие нормы действующего законодательства в области обеспечения безопасности мореплавания. Международную правовую базу борьбы с пиратством составляют положения Женевской конвенции 1958 г. об открытом море и Конвенции ООН по морскому праву 1982 г., которые определяют рассматриваемое противоправное явление через тождественные признаки.

Важно также отметить содержание Конвенции ООН о борьбе с незаконными актами, направленными против безопасности морского судоходства. Указанными международными договорами предусмотрена обязанность для ратифицировавших их государств криминализовать деяния, направленные

против безопасности мореплавания, в том числе пиратские нападения.

Особое место среди правовых инструментов, направленных на обеспечение противодействия рассматриваемому преступлению, отводится нормам национальных законодательств. В Российской Федерации соответствующий уголовно-правовой запрет впервые появился с принятием Уголовного кодекса (УК РФ) 1996 г. В статье 227 закреплены основания для наступления уголовной ответственности за «пиратство», под которым понимается «нападение на морское или речное судно в целях хищения чужого имущества, совершенное с применением насилия, опасного для жизни и здоровья, или под угрозой применения такого насилия» [5].

Анализ объективных и субъективных признаков данного состава преступления показывает, что ст. 227 УК РФ «пиратство» в понимании действующего Уголовного кодекса представляет собой специальную норму по отношению к ст. 162 УК РФ «разбой».

Указанный подход является достаточно распространенным в современном мире. При отсутствии в национальном законодательстве специальной нормы о пиратстве соответствующее преступление может быть квалифицировано как разбой [6], по этой же причине пиратство зачастую называют «морским разбоем» [7].

Отметим, что составы таких преступлений, как разбой и пиратство, ха-

рактеризуются схожими признаками объективной стороны — преступными деяниями в виде нападения с применением насилия либо с угрозой его применения. Общим для рассматриваемых составов являются также способы совершения преступных деяний, выраженные в применении насилия либо угрозы его применения, а также корыстная цель совершения нападения — хищение чужого имущества (как признак субъективной стороны).

Рассматриваемые составы преступлений предусматривают в качестве квалифицирующего признака применение оружия или предметов, используемых в качестве оружия (ч. 2 ст. 227 и ч. 2 ст. 162 УК РФ). В качестве такового могут быть использованы вещи материального мира, посредством которых возможно причинение вреда здоровью и жизни человека. В данном случае будет иметь место физическое насилие.

Возможно также совершение психологического насилия с использованием оружия или предметов, используемых в качестве оружия, когда они выступают в рамках угрозы применения насилия в качестве средства устрашения.

Однако данные составы имеют существенное отличие: «пиратство» и «разбой» характеризуются различными объектами. В первом случае непосредственным объектом преступного посягательства является состояние защищенности



морского судоходства, а также жизнь, здоровье и отношения собственности (в качестве дополнительного объекта), тогда как во втором — отношение собственности, а также жизнь и здоровье человека.

Таким образом, пиратство посягает не только непосредственно на отношения собственности и дополнительно на здоровье и жизнь человека, но и на общественную безопасность, в частности, на нормальное функционирование морского судоходства.

Анализ содержания положений указанных норм свидетельствует о наличии некоторых проблемных аспектов, которые могут вызвать сложности в рамках правоприменительной практики, а также являются дискуссионными в части соблюдения некоторых принципов уголовного права РФ [8].

Проблема квалификации убийства, совершенного в рамках пиратского нападения

Проведенный уголовно-правовой анализ исследуемых составов преступлений также показал отличия в подходе к их квалификации. Действующее уголовное законодательство предусматривает в качестве квалифицирующих признаков разбоя, в том числе причинение тяжкого вреда здоровью человека, что исключает необходимость дополнительной квалификации

Так, в п. 3 ст. 105 УК РФ в качестве квалифицирующего признака закреплена сопряженность убийства с разбоем, бандитизмом и вымогательством. Как сопряженное с разбоем, вымогательством или бандитизмом следует квалифицировать убийство в процессе совершения указанных преступлений [9]. В этой связи наблюдается ситуация, при которой умышленное причинение смерти, сопряжение с разбоем, фактически образует множественность преступлений в форме совокупности и влечет за собой квалификацию содеянного по одной из частей ст. 162 УК РФ и п. 3 ст. 105 УК РФ.

Однако возникает вопрос о квалификации умышленного причинения смерти при совершении акта морского пиратства. Анализ ст. 105 УК в этом отношении показывает, что сопряженность с пиратством также образует совокупность преступлений, однако убийство в данном случае не будет подпадать под признаки ч. 2 ст. 105 УК, а должно быть квалифицировано по ч. 1 данной статьи, в том числе

с учетом недопустимости применения уголовного закона по аналогии.

В этой связи можно предположить возможность квалификации умышленного причинения смерти при пиратском нападении по п. 3 ч. 2 ст. 105 УК РФ (при условии совокупности со ст. 227 УК РФ), ссылаясь на корыстные побуждения нападающих, или по п. к ст. 105 УК РФ (если убийство совершено для облегчения совершения пиратства или для целей его сокрытия). Однако это возможно только при наличии указанных мотивов или целей нападавших, что будет необходимо доказать в рамках уголовного процесса.

Таким образом, отсутствие однозначности в данном вопросе порождает проблемы правоприменительного характера.

Выводы и предложения

Можно заключить, что разбой, при котором совершается умышленное причинение смерти, квалифицируется по ст. 162 и п. 3 ч. 2 ст. 105, тогда как пиратство (являющееся специальной нормой по отношению к разбою) — по ст. 227 и ч. 1 ст. 105. Квалификация по п. 3 или п. к ст. 105 УК РФ в данном случае возможна только в случае доказанного наличия корыстных мотивов лица или цели скрыть преступление или облегчить его совершение соответственно.

Представляется, что такой подход не отвечает принципу справедливости. Убийство, сопряженное с разбоем, фактически понимается в качестве более опасного деяния, чем убийство, сопряженное с пиратством, что является спорным фактом, так как «пиратство» необходимо понимать, как специальную норму по отношению к «разбою».

Указанная проблема может быть решена посредством внесения изменений в действующий УК РФ, например, путем дополнения п. 3 ч. 2 ст. 105 положением о сопряженности не только с разбоем, но и с пиратством.

Представляется, что указанное предложение может быть оценено правоведами как избыточное по причине относительно небольшой распространенности морского пиратства и, как следствие, случаев умышленного причинения смерти при его совершении. Однако совершенствование законодательства об ответственности за преступления, направленные против человеческой жизни, в том числе в условиях совершения преступлений на морском транспорте, является важным шагом в обеспечении безопасности мореплавания с помощью правовых инструментов.

Источники

1. Томилин А. Н., Дорофеев Е. М., Дорофеев А. М., Дорофеева Е. В. Особенности проявления «человеческого фактора» в авариях на морском транспорте // Эксплуатация морского транспорта. 2023. № 1(106). С. 67–74. DOI: 10.34046/aumsuomt106/11. EDN: VGTWZ.
2. Литвин Т. А., Сизько А. О., Карпенко Д. О. Проблемы обеспечения безопасности мореплавания // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 104–9. С. 110–113. DOI: 10.18411/trnio-12-2023-501. EDN: HRDOWX.
3. Ван Зань, Серебренникова А. В., Лебедев М. В. Пиратство — вызовы современности // Пробелы в российском законодательстве. 2020. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/piratstvo-vyzovy-sovremennosti> (дата обращения: 03.01.2025).
4. Piracy and armed robbery against ship report for the period 1 January 30 September 2024. URL: <https://icc-ccs.org/> (дата обращения: 29.12.2024).
5. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 28.12.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 08.01.2025) // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс».
6. Головина А. А. Исторические аспекты становления и развития российского уголовного законодательства о морском пиратстве. Часть 1 // Вопросы истории. 2023. № 1–1. С. 88–91. DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202301Statyi26. EDN: EGDSKU.
7. Нечаева Д. С. Международно-правовое регулирование борьбы с пиратством и вооруженным разбоем на море // Океанский менеджмент. 2024. № 1 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mezhdunarodno-pravovoe-regulirovanie-borby-s-piratstvom-i-vooruzhennym-razboem-na-more> (дата обращения: 05.01.2025).
8. Головина А. А. К вопросу о понимании сущности морского пиратства в современном российском законодательстве // Евразийский юридический журнал. 2019. № 5(132). С. 242–244. EDN: EIPSLZ.
9. Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 27.01.1999 N 1 (ред. от 03.03.2015) «О судебной практике по делам об убийстве (ст. 105 УК РФ)» // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс».

Технологические основы разработки интеллектуальных систем управления движением поездов с тесно интегрированными безопасными комплексами мониторинга объектов инфраструктуры



Д. В. Ефанов,
д-р техн. наук, профессор
Высшей школы транспор-
та Института машино-
строения, материалов
и транспорта Санкт-
Петербургского политех-
нического университета
Петра Великого (СПбПУ),
профессор Российского
университета транспор-
та (МИИТ),



Е. М. Михайлюта,
аспирант, инженер
Высшей школы транспор-
та Института машино-
строения, материалов
и транспорта СПбПУ

На железнодорожном транспорте крайне сложно получать информацию об объектах инфраструктуры и подвижного состава непрерывно в реальном масштабе времени и сразу использовать ее при адаптивном управлении. Поэтому разработка соответствующих интеллектуальных систем управления с тесной интеграцией с системами мониторинга является важной актуальной научно-практической задачей.

К настоящему времени сложилось два основных направления получения объективных данных о состояниях объектов железнодорожной инфраструктуры: использование внешних процедур технического обслуживания и сбора диагностической информации; применение встраиваемых средств технического диагностирования для автоматического сбора данных.

Для проверки технического состояния объектов инфраструктуры широко применяются специализированные транспортные средства, являющиеся передвижными лабораториями [1] или мобильными роботами [2], а также технические средства, закрепляемые на подвижном составе [3, 4].

На ряде сложных и узвизимых с позиции надежности объектах применены системы автоматизированного мониторинга [5, 6]. Наиболее развитыми среди последних до сих пор являются системы технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. И несмотря на это, они далеки от систем, на решения которых можно опираться автоматически, используя эти данные без экспертной оценки для управления движением поездов [7].

Достоинства использования как технических средств периодического мониторинга, так и стационарных очевидны. Основные недостатки данных систем позволяют наметить пути к совершенствованию технологий эксплуатации объектов железнодорожной инфраструктуры.

Основным недостатком использования периодических проверок объектов инфраструктуры является невозможность фиксации быстротекущих деструктивных и разрушительных процессов. Например, внезапный отказ, связанный с разрушением опоры железнодорожного моста или камнепадом на горных участках, никак не может быть учтен автоматически в системе управления движением поездов.

Недостатком стационарных средств мониторинга можно считать такую же невозможность автоматического принятия решения об изменении условий движения при фиксации критических отклонений рабочих параметров от требуемых норм. Все решения принимает только поездной диспетчер, данные к которому могут поступить либо напрямую, либо через диспетчера по безопасности объекта мониторинга [8, 9].

Развитие информационных и интеллектуальных технологий вкпе со

сложившимися принципами реализации надежных и безопасных комплексов управления позволяют предложить новый подход в области совершенствования принципов обеспечения движения поездов. Он основан на интеграции систем управления движением поездов и технического диагностирования и мониторинга рабочих параметров объектов инфраструктуры и подвижного состава [10, 11]. Несмотря на все достижения современности в области техники и технологий, такой интеграции на железных дорогах постсоветского пространства нет, потому что использование современных технологий, опирающихся на применение машинного анализа, искусственного интеллекта, вероятностных моделей и пр., лежит за рамками сложившихся принципов реализации безопасных технических систем [12]. Современные системы управления сертифицируются на соответствие тем или иным уровням полноты безопасности (УПБ, в англоязычной литературе SIL — Safety Integrity Levels) [13] и обычно соответствуют уровням УПБ 3 (SIL 3) или УПБ 4 (SIL 4), а системы мониторинга — нет [14].

Это не позволяет напрямую использовать их в качестве компонентов в цепях обратных связей при адаптивном управлении перевозочным процессом. Тем не менее прогресс не стоит на месте, и развитие транспортных систем, в том числе в сфере железных дорог, будет идти именно по пути тесной интеграции всех участников движения и инфраструктурных объектов в единый комплекс, «живущий» как гигантский организм, изменения в каждом из компонентов которого будут оперативно учитываться и отражаться на основном технологическом процессе.

Рассмотрим архитектуру системы управления движением поездов с новыми функциями — интеллектуальным управлением в случае фиксации системами мониторинга опасных дестабилизирующих факторов с учетом парирования данных событий.

Архитектура системы управления движением поездов нового уровня безопасности

Современный этап интеллектуального развития железнодорожного транспорта, киберфизических систем и цифровых двойников не может быть пройден без тесной интеграции систем управления и автоматизированного мониторин-

га. Это следует из возможностей использования данных об объектах управления и инфраструктуре.

Данные о состояниях объектов, в том числе отвечающих за безопасность движения поездов, необходимо учитывать в контурах управления. В противном случае они оказываются не полезными данными, а мусорными, усложняющими работу эксплуатационного персонала по поддержанию отказоустойчивости железнодорожной инфраструктуры и подвижных объектов.

Системы автоматизированного мониторинга эволюционируют. От систем индикации и наблюдения они с течением времени совершают переход к измерительным подсистемам систем управления движением поездов и позволят учитывать при реализации алгоритмов управления движением поездов техническое состояние объектов инфраструктуры и подвижного состава. Такая эволюция исключит опасное дестабилизирующее влияние дефектов как вызванных вмешательством в транспортную систему извне, так и возникающих в ее структурных единицах, непосредственно не увязанных с системами электрической централизации и интервального регулирования движения поездов.

Примерами таких дефектов, вызванных внешними дестабилизирующими факторами, являются камнепады в горных участках, обрушения насыпей, размывы путей и пр. Известны даже системы мониторинга таких природных событий, которые никак напрямую не увязаны с системами обеспечения безопасности движения поездов [15].

Примерами дефектов инфраструктурных объектов железных дорог являются выбросы пути, разрушения конструкций мостовых сооружений, развороты консолей на опорах контактной сети и др. Как правило, такие дефекты выявляются при периодическом мониторинге с использованием передвижных дорожных лабораторий или измерительных комплексов. Но, несмотря на это, обозначенные дефекты по всему миру не единожды становились причинами аварий и катастроф ввиду внезапного характера их возникновения.

На рис. 1 представлена разработанная авторами укрупненная архитектура системы управления движением поездов с качественно более высоким уровнем безопасности, нежели известные современные решения [16]. В ней выделено несколько функциональных уровней,

в некотором смысле отделенных друг от друга, однако тесно взаимодействующих. Следует сразу же отметить, что в приведенной архитектуре отсутствуют уровни планирования движения, назначения локомотивных бригад, автоматизации составления графиков движения поездов, оптимизации движения с учетом расходов на тягу и пр.

Уровни в архитектуре расположены относительно друг друга в порядке иерархического взаимодействия, фактически образуя с позиции циркуляции информации несколько сетевых моделей данных. При этом здесь можно сформировать отдельные контуры циркуляции данных. Они могут быть связаны, например, исключительно с процессом обмена данными между поездным диспетчером, функционирующим на уровне оперативного управления движением поездов, дежурными по станции и машинистами поездов, действующими на уровне исполнения движения. Или же они могут быть связаны с функционированием отдельных эксплуатационных подразделений по обслуживанию объектов инфраструктуры железных дорог, косвенно влияя на перевозочный процесс.

На уровне исполнения движения расположены взаимодействующие друг с другом стационарные и географически распределенные комплексы железнодорожной автоматики и телемеханики [17, 18], а также бортовые средства управления локомотивами [19]. Именно в такой связке осуществляется процесс движения: системы железнодорожной автоматики и телемеханики вырабатывают управляющие сигналы и регулируют положения стрелочных переводов для безопасного перемещения поездов и маневровых составов, а бортовые средства управления позволяют машинисту (и в перспективе самой системе автоматического управления) осуществлять допустимые действия для движения. Основой движения является график движения поездов, реализуемый поездным диспетчером на уровне оперативного управления.

Используя средства диспетчерского управления и системы поддержки принятия решений (Train Management Systems), поездной диспетчер передает команды линейному персоналу (дежурным по станциям и операторам в пределах диспетчерского круга). Эту же функцию может исполнять система автоматической диспетчеризации — автодиспетчер.

Далее команды реализуются на уровне исполнения движения через каналы

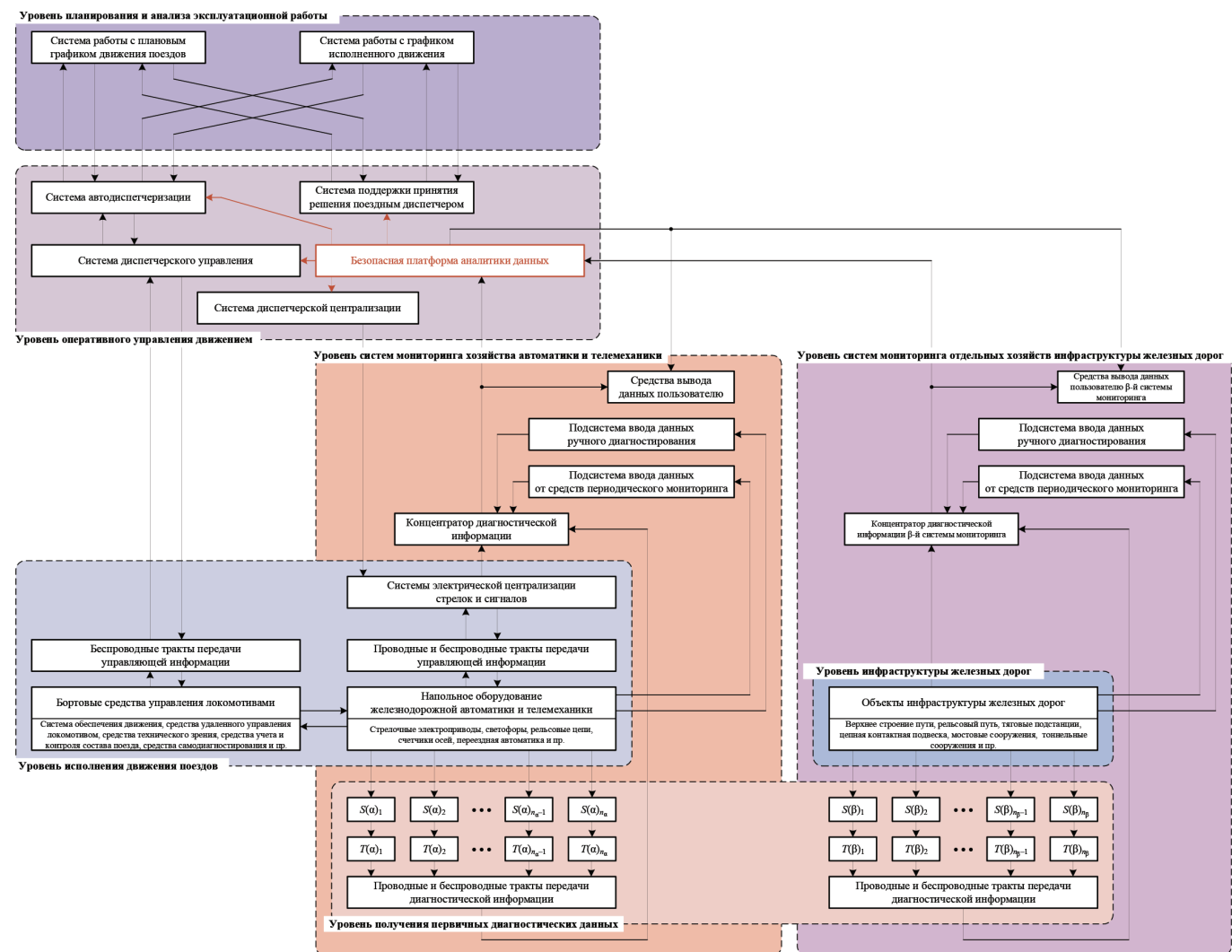


Рис. 1. Укрупненная архитектура системы управления движением поездов

диспетчерской и электрической централизации, систем интервального регулирования движения поездов и бортовых систем управления. В современной реализации участники движения могут учесть состояние объектов инфраструктуры путем получения команд от поездного диспетчера или дежурного по станции либо при использовании технических средств локомотива и при анализе состояния пути самими машинистами и их помощниками.

В системах автоматизированного мониторинга выделим два функциональных уровня. Первый будет образован периферийным оборудованием для получения первичных диагностических данных. Здесь для различных систем мониторинга используются сенсоры (на рисунке обозначены $S(\alpha)_{i_\alpha}$ и $S(\beta)_{i_\beta}$, $i_\alpha \in \{1, 2, \dots, n_\alpha\}$ и $i_\beta \in \{1, 2, \dots, n_\beta\}$, где символ α указывает на систему мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, а символ $\beta \in \{1, 2, \dots, p\}$, p — число систем мониторинга объектов инфраструктуры железных до-

рог), преобразователи (обозначены на рисунке как $T(\alpha)_{i_\alpha}$ и $T(\beta)_{i_\beta}$, $i_\alpha \in \{1, 2, \dots, n_\alpha\}$ и $i_\beta \in \{1, 2, \dots, n_\beta\}$ и тракты передачи данных (при использовании цифровых датчиков преобразователи в структуре не применяются).

Часто в современных системах автоматизированного мониторинга датчики и преобразователи для отдельных объектов железнодорожной автоматики и телемеханики монтируются и komponуются в составе отдельных диагностических приборов [14]. Фактически сенсоры, преобразователи и тракты передачи данных располагаются на том же уровне, что и уровень инфраструктуры железных дорог и напольное оборудование железнодорожной автоматики и телемеханики (в архитектуре для удобства они отделены от инфраструктуры, хотя можно сказать, что являются ее частью). Так образуется уровень зарождения диагностических данных об объектах железнодорожной инфраструктуры.

Нужно отметить, что в современных системах железнодорожной автоматики

и телемеханики ввиду централизации управления широко распространен подход косвенного измерения состояния напольного технологического оборудования по устройствам и измерительным приборам, расположенным на постах централизации [7, 14]. В будущем можно прогнозировать тенденцию распределения функций получения первичных диагностических данных непосредственно на напольное технологическое оборудование. Это будет связано с децентрализацией блоков и систем управления, содержащих самопроверяемые модули с измерительными функциями и отдельными трактами передачи диагностической информации [20].

Второй уровень систем автоматизированного мониторинга образуется техническими средствами концентрации диагностической информации и вывода данных эксплуатационному персоналу. Здесь введем возможность интеграции данных от систем периодического мониторинга и ручного сбора диагностических данных. Это требуется для полноты

информации об объектах управления и реального «оживления» цифровых двойников участков железных дорог [21].

Здесь данные от средств периодического мониторинга с использованием путевых лабораторных комплексов также должны дополняться данными, получаемыми от средств мониторинга, располагаемых на беспилотных летательных аппаратах, если таковые эксплуатируются на линии железных дорог [22–25].

Данные от уровня систем мониторинга отдельных хозяйств инфраструктуры железных дорог должны передаваться на уровень оперативного управления движением поездов на устройства безопасной платформы аналитики данных. Именно она является ядром комплексной системы мониторинга, осуществляющим всесторонний анализ диагностических данных от разных объектов инфраструктуры и выдающим информацию порционно отдельным участникам движения, системам управления и эксплуатационному персоналу.

Безопасная платформа аналитики данных является органом принятия решения об изменении параметров движения при наличии установленного с наперед заданной достоверностью дефекта, критически влияющего на технологический процесс движения.

Кроме того, целесообразна интеграция

моделей надежности устройств и систем управления и мониторинга в программные средства безопасной платформы аналитики данных. Это позволит создать динамическую модель системы управления движением поездов, адекватно описывающую реальные условия эксплуатации [26, 27]. Такая модель должна лежать в основе автоматизированных и автоматических систем поддержки принятия решений эксплуатационным персоналом, сортирующих и предоставляющих данные пользователям различных уровней компетенций.

Отметим, что в безопасную платформу аналитики данных не попадает информация от бортовых средств управления локомотивами. Они сами должны иметь такую бортовую платформу аналитики и передавать данные о своих состояниях через платформу диспетчерского управления. Все данные учитываются при оптимизации движения поезда с учетом различных факторов.

Если реализовать систему управления таким образом, как это показано на рис. 1, представив при этом (и впоследствии выполнив) требования по функциональной безопасности к системам автоматизированного мониторинга, то можно добиться скачка в уровне показателей безопасности движения поездов.

Способы реализации информационного сопряжения

Технологически информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов может быть организовано различными способами. Некоторые из них могут даже не иметь прямого влияния на системы автоматического управления движением поездов и рассматриваться как эволюционно промежуточные варианты, предшествующие полностью автоматической увязке данных.

На рис. 2–5 показаны упрощенные схемы информационного сопряжения. Наиболее простым вариантом информационного сопряжения является стыковка данных, получаемых от объекта диагностирования и мониторинга через безопасную платформу аналитики и безопасные устройства сопряжения с отдельными сигналами — специализированными светофорами мониторинга (рис. 2).

Такие сигналы к настоящему моменту не существуют, но могут быть разработаны и внесены в правила технической эксплуатации и в инструкцию по сигнализации на железных дорогах. Безопасная платформа аналитики данных определяет и классифицирует диагностические события, вырабатывая логические сигналы для включения светофоров

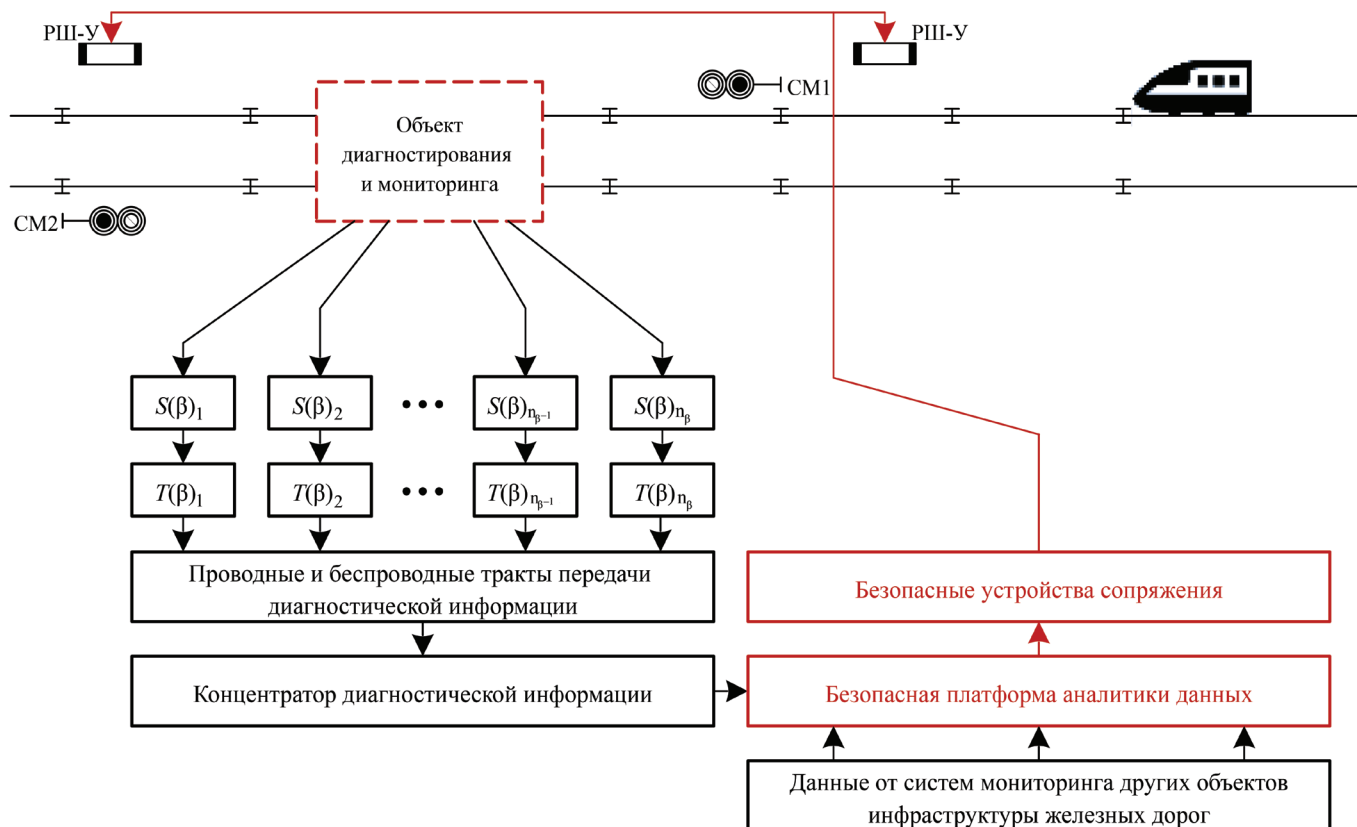


Рис. 2. Упрощенная схема информационного сопряжения через специализированный светофор мониторинга

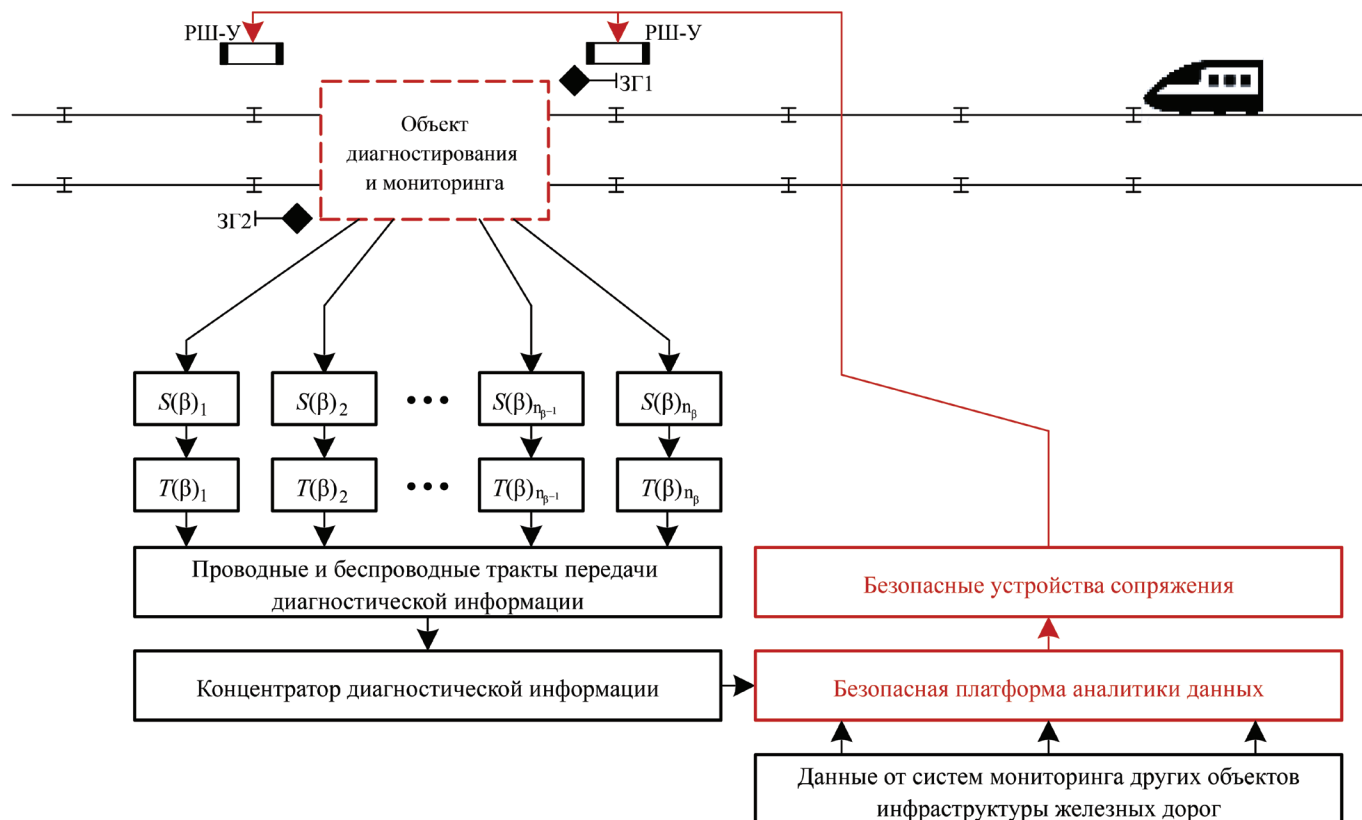


Рис. 3. Упрощенная схема информационного сопряжения через заградительные светофоры

мониторинга CM1 и CM2, ограничивающих объект мониторинга (например, уникальное техническое сооружение или зону опасного влияния внешних дестабилизирующих факторов).

Светофор мониторинга может быть реализован аналогичным образом, что и уже действующий сигнал, указывающий на перегрев буксовых узлов. Однако целесообразно ввести два его состояния: первое, требующее немедленной остановки; второе, требующее снижения скорости для проследования.

Такое информационное сопряжение напрямую не включается в контур централизованного управления. Влияние оказывается только на участок железной дороги. Напрямую на основную систему сигнализации на линии железной дороги это не должно влиять. Соответственно и требования к реализации несколько ниже, чем при тесной интеграции систем управления и мониторинга.

От безопасной платформы аналитики данные могут передаваться как по проводной связи, так и по киберзащищенному протоколу беспроводной передачи данных. Информация попадает на периферийные объекты в релейные шкафы увязки (РШ-У). На самом объекте мониторинга данные по включению светофоров могут попадать на периферий-

ные устройства сопряжения и далее по проводному тракту передачи данных — в релейные шкафы. Нормально такой светофор реализуется погашенным. Увидя один из двух предупреждающих знаков, машинист принимает решение о снижении скорости движения или вообще об остановке поезда.

Технологически более ответственный уровень информационного сопряжения реализуется в структуре, приведенной на рис. 3. Здесь уже нет отдельных светофоров мониторинга. Используются действующие на объекте мониторинга заградительные светофоры ЗГ1 и ЗГ2. Подобными светофорами принято ограждать подьезды к железнодорожным переездам, особо сложным искусственным сооружениям и обвальным местам на горных участках железных дорог.

Заградительные светофоры нормально погашены и включаются красными показаниями при наличии неисправности на сооружении дежурным на посту охраны. В момент включения разрывается цепь подачи кодов автоматической локомотивной сигнализации, что позволяет локомотивным устройствам обеспечения безопасности зафиксировать отсутствие кодирования на участке, а машинисту — принять оперативное решение по управлению движением поезда.

Информационное сопряжение схоже с сопряжением посредством управления светофорами мониторинга, однако здесь через безопасные устройства сопряжения подается сигнал на автоматическое включение заградительных светофоров. Такая увязка реализуется добавлением контактов реле фиксации опасного состояния объекта мониторинга в цепи включения сигнальных показаний заградительных светофоров. Более консервативный вариант увязки предполагает срабатывание датчиков опасности на объекте мониторинга в помещении дежурного на посту охраны.

Непосредственная увязка с системой управления движением поездов реализована в схеме, приведенной на рис. 4. Здесь данные о состоянии объекта мониторинга передаются автоматически в систему интервального регулирования движения поездов и учитываются в реализации алгоритмов управления. Например, опасный участок ограждается красным показанием светофора, а светофоры предыдущих участков для движения включаются в соответствии с логикой сигнализации о состоянии последующих объектов. Такой функции в настоящее время нет в системе интервального регулирования: нельзя искусственно понизить значность светофора и даже включить красное по-

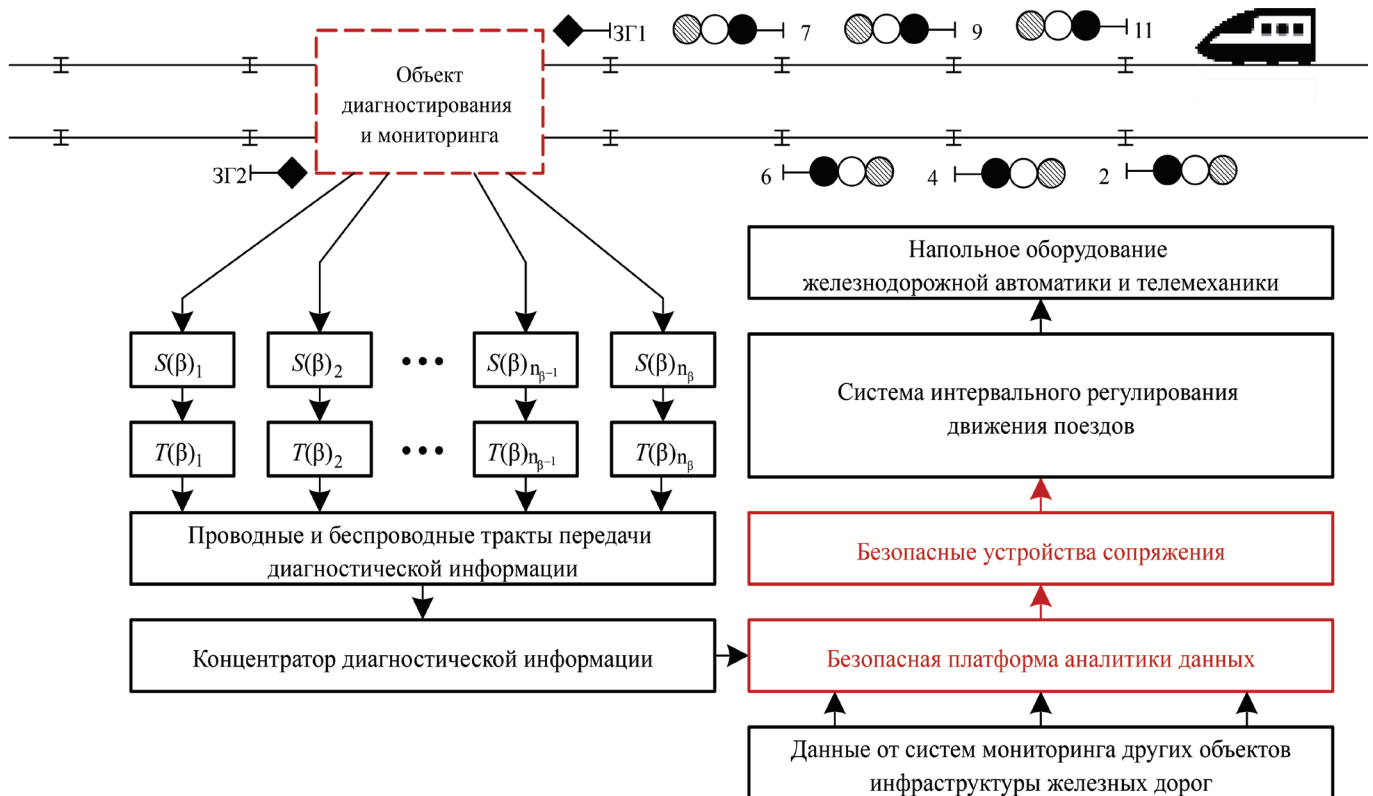


Рис. 4. Упрощенная схема информационного сопряжения через систему интервального регулирования движения поездов

казание на нем без электрического влияния на рельсовую цепь впередилежащего блок-участка.

Следующим шагом в развитии подобной технологии информационного сопряжения является введение логических зависимостей для использования желтого сигнального показания для снижения скорости движения поезда при наличии так называемой контролируемой опасности. В действующих системах управления движением поездов со снижением скоростей через красное сигнальное показание на расположенном впереди светофоре, ограждающем занятый блок-участок, напрямую это не реализовать (нельзя включить желтый сигнал при зеленом показании на расположенном впереди светофоре).

Информационное сопряжение требует разработки специальных схемных решений и предусматривает использование отдельных алгоритмов и безопасных способов включения в цепи автоматической блокировки и электрической централизации.

На рис. 5 приводится четвертый вариант информационного сопряжения. Он подразумевает, помимо прочего, автоматическую увязку системы автоматизированного мониторинга через безопасную платформу аналитики данных и безопас-

ные устройства сопряжения с бортовыми средствами управления движением.

Такая увязка реализуется исключительно по радиоканалу управления движением поезда. Она должна учитывать возможности изменения алгоритмов управления с учетом действующих ограничений на движение, веса поезда и возможностей его следования по участку с конкретным профилем пути [28]. Так реализуется адаптивное управление движением поездов с учетом всех факторов (чего до сих пор нет в полной мере и не учтено во многих исследованиях и концепциях интеллектуальных систем управления).

Заключение

Железнодорожная транспортная система представляет собой сложнейший механизм, состоящий из миллионов компонентов, каждый из которых также представляет собой совокупность элементов на более мелком уровне рассмотрения. Изначально такие компоненты ввиду существенного удорожания себестоимости разработки и внедрения не снабжаются развитыми средствами самодиагностирования и мониторинга.

Однако на современном этапе развития науки о данных и интеллектуальных технологий возможна реализация

высоконадежных комплексов автоматизированного мониторинга объектов инфраструктуры железных дорог и их информационное сопряжение с системами управления движением поездов.

Представленные варианты информационного сопряжения являются концептуальными решениями в интеллектуальных системах управления с центральными органами [8, 9]. Более детальная их проработка с созданием функционально безопасных систем автоматизированного мониторинга и принципиальных технических решений по их информационному сопряжению с системами управления движением поездов позволят учесть критические отклонения в работе объектов инфраструктуры железных дорог от допустимых норм и предотвратить потенциальные аварии и катастрофы.

Именно информационное сопряжение систем мониторинга при наложении на них требований по функциональной безопасности позволяет на практике перейти к интеллектуальной системе управления нового поколения. В такой системе искусственный интеллект безопасной платформы аналитики данных становится решающим органом по корректированию режимов управления и внесению изменений в сами процессы управления, обеспечивая их безопасность.

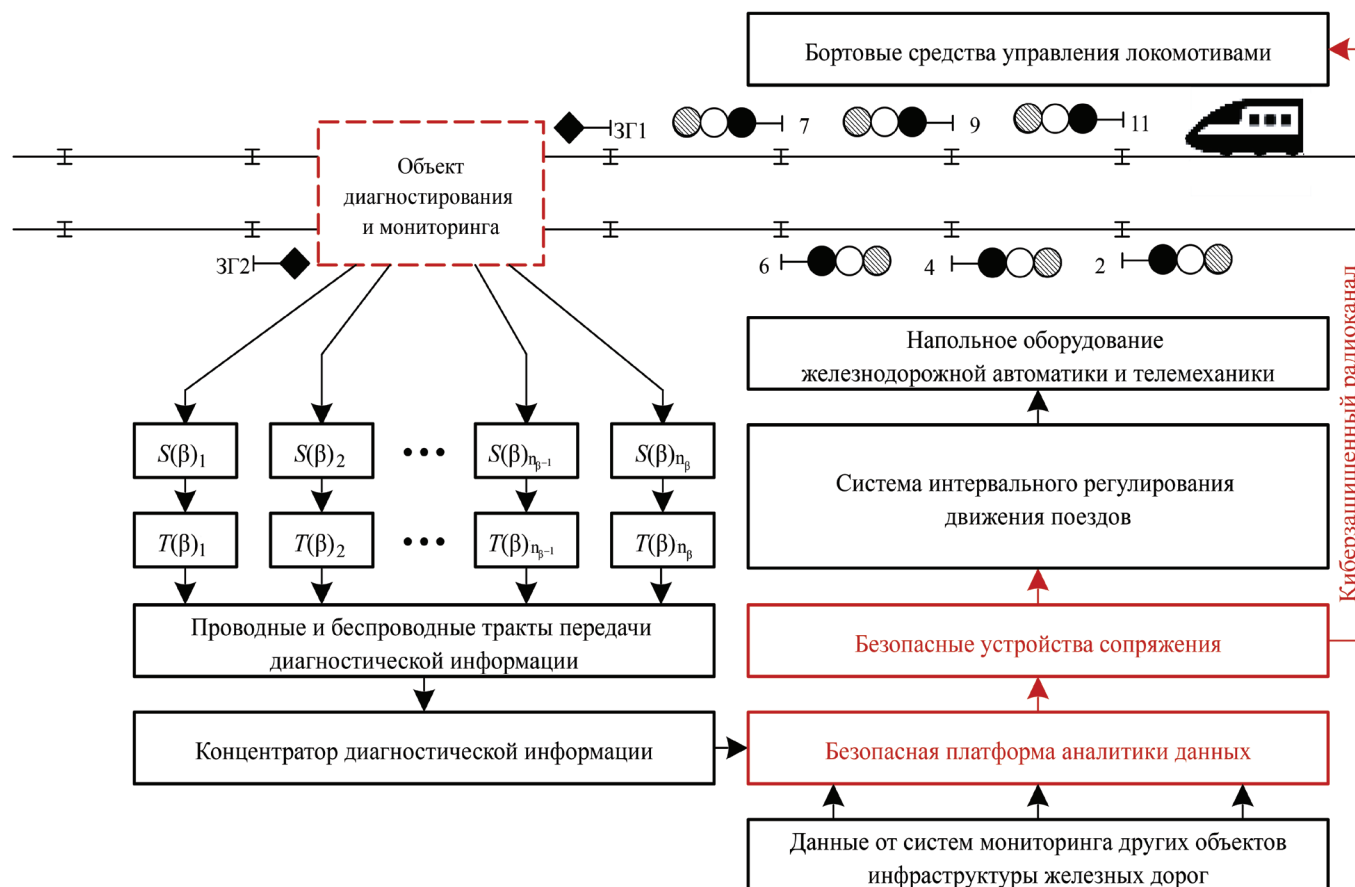


Рис. 5. Упрощенная схема информационного сопряжения через систему интервального регулирования движения поездов и киберзащищенный радиоканал с бортовыми средствами локомотива

Источники

1. Anghel S. R., Panoiu M., Abrudean C. Intelligent Application for Monitoring the Pantograph-Catenary Contact in Electric Railway Transportation // 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 26–29 June 2018, Split, Croatia.
2. Li S., Xu C., Chen L., Liu Z. Speed Regulation of Overhead Catenary System Inspection Robot for High-Speed Railway through Reinforcement Learning // IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/CBDCom/IOP/SCI), 8–12 October 2018, Guangzhou, China. 2018. DOI: 10.1109/SmartWorld.2018.00239.
3. Juan Moreno J., Jarillo J. M., García-Albertos S. Sensing the Health of the Catenary-Pantograph Contact on Railway Vehicles with Radio Receivers: Early Results // Communication Technologies for Vehicles. Springer, Cham, 2020. Vol. 12574. Pp. 148–156. DOI: 10.1007/978-3-030-66030-7_13.
4. Romadoni Achmad R., Wicaksono S., Ferryanto F. A Review on Automatic

- Visual Inspection for Railway Overhead Contact Line Systems // Jurnal Perkertaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal). 2024. Vol. 8. № 2. Pp. 50–61. DOI: 10.37367/jpi.v8i2.346.
5. Dhage M. R., Vemuru S. Structural Health Monitoring of Railway Tracks Using WSN // 2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA), 17–18 August 2017, Pune, India. 2017. Pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICCUBEA.2017.8463976.
 6. Sun D. L., Shang Z., Xia Y. et al. Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection // Journal of Structural Engineering. 2020. № 146 (5). № 04020073. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.
 7. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: изд. 3-е., стр. СПб.: Изд-во «Лань», 2023. 180 с.
 8. Кокурин И. М. Теоретические и технологические основы построения адаптивной системы диспетчерской централизации // Автоматика на транспорте. 2017. Т. 3. № 3. С. 345–354.

9. Кокурин И. М. Интеллектуальная система управления движением поездов на основе автоматизации диспетчерского регулирования и центрального автоведения // Автоматика на транспорте. 2018. Т. 4. № 3. С. 305–314.
10. Efanov D. V., Khóroshev V. V., Osadchy G. V. Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways // Proceedings of 9th International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIE), May 15–19, 2023, Sochi, Russia. 2023. Pp. 634–638. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292.
11. Ефанов Д. В., Хорошев В. В., Осадчий Г. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 50–57. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
12. Smith D. J., Simpson K. G. L. Functional safety: A Straightforward Guide to IEC 61508 and Related Standards: 2nd edition. Butterworth-Heinemann, 2004. 263 p.
13. Шубинский И. Б., Розенберг Е. Н. Функциональная безопасность систем управления на железнодорожном транспорте. М.: Инфра-Инженерия, 2023. 360 с.
14. Ефанов Д. В. Функциональный кон-

- троль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. 171 с.
15. Yan Y., Li T., Liu J. et al. Monitoring and Early Warning Method for a Rockfall Along Railways Based on Vibration Signal Characteristics // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. № 6606. DOI: 10.1038/s41598-019-43146-1.
 16. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3rd Edition. Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020. 552 p.
 17. Huang L. The Past, Present and Future of Railway Interlocking System // IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), 11–13 September 2020. DOI: 10.1109/ICITE50838.2020.9231438.
 18. Bădău F. Railway Interlockings A Review of the Current State of Railway Safety Technology in Europe // Promet-Traffic & Transportation. 2022. Vol. 34. Iss. 3. Pp. 443–454. DOI: 10.7307/ptt.v34i3.3992.
 19. Arend L., Pott L., Hoffmann N., Schanck R. ETCS Level 2 without GSM-R // Signal+Dracht. 2018. № 110. Pp. 18–28.
 20. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Радиоцентрализация с распределенными вычислительными ресурсами и развитыми функциями самодиагностирования // Транспорт Российской Федерации. 2021. № 1–2. С. 40–45.
 21. Krmac E., Djordjevic B. Digital Twins for Railway Sector: Current State and Future Directions // IEEE Access. 2024. Vol. 12. Pp. 108597–108615. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3439471.
 22. Плеханов П. А., Роевков Д. Н. БПЛА на службе железнодорожного транспорта // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 9. С. 13–16. DOI: 10.34649/AT.2023.9.9.003.
 23. Башаркин М. В., Исайчева А. Г., Исайчева Н. А. Тепловизионный контроль рельсовой линии с помощью БПЛА // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 9. С. 14–16. DOI: 10.62994/AT.2024.9.9.004.
 24. Ефанов Д. В., Погодина Т. С. Применение беспилотных летательных аппаратов для сбора диагностических данных о напольных устройствах СЦБ // Транспорт Российской Федерации. 2024. № 5. С. 16–24.
 25. Khang A., Efanov D. V., Mammadov G. et al. Technological Features of a Safe Monitoring System Based on the Use of Unmanned Aerial Vehicles // Driving Green Transportation System Through Artificial Intelligence and Automation. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham, 2025. Pp. 443–462. DOI: 10.1007/978-3-031-72617-0_24.
 26. Efanov D. V., Mikhailiuta E. M., Khóroshev V. V. Reliability Models for a Safe Train Traffic Control Systems Accounting the Railway Infrastructure States // Proceedings of 6th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), September 10–16, 2023, Sochi, Russia. 2023. Pp. 266–270. DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272854.
 27. Ефанов Д. В., Михайлюта Е. М. Управление надежностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 2 (105). С. 84–94. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-10.
 28. Кокурин И. М., Пушкин И. А. Тяговые расчеты с учетом дополнительных данных // Автоматика на транспорте. 2024. Т. 10. № 1. С. 52–63. DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-52-63.



Общероссийская общественная организация

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА – В ЦИФРАХ

Академия включает
48 РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ



СОСТАВ ОО «РАТ» В 2023 ГОДУ

> 680 УЧЕНЫХ-
ТРАНСПОРТНИКОВ:

170 ДОКТОРОВ НАУК

510 КАНДИДАТОВ НАУК

260 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ РАТ



ДАТА ОСНОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ТРАНСПОРТА:

26 июня 1991 года

www.rosacademtrans.ru

Проблемы подготовки данных для обучения нейросети с целью анализа и прогнозирования тарифов на морском транспорте



А. О. Баранникова,
канд. ист. наук,
научный сотрудник
Научной лаборатории
пространственной
логистики Морского
государственного
университета
им. адм. Г. И. Невельского,



А. К. Вороненко,
эксперт Научной
лаборатории
пространственной
логистики МГУ
им. адм. Г. И. Невельского

В сложных и непредсказуемо изменяющихся внешних условиях, влияющих на российский рынок транспортно-логистических услуг, с учетом внутренней неустойчивости его участников и масштабными непрекращающимися изменениями структуры, в особенности на Дальнем Востоке РФ, крайне важно не только увеличить скорость обработки документов и обмен информацией между участниками процессов, но и прогнозировать изменение цен на перевозку.

Одна из задач логистического оператора — формирование конкурентной цены на перевозку и сопутствующие логистические услуги. Она формирует ряд подзадач, включающих мониторинг рынка перевозок, анализ возможностей использования подвижного состава и др.

Поскольку контейнерный рынок является частично закрытым, несмотря на преобладающее использование линейных морских перевозок и регулярных контейнерных поездов, сбор данных о ценах и анализ коммерческих особенностей представляет здесь определенные сложности.

После февраля 2022 г. с дальневосточного рынка логистических услуг ушли крупные контейнерные перевозчики, которые задавали тренд на большую открытость, единые стандарты, цифровизацию и т. п. Одновременно наблюдается активный вход на рынок небольших китайских компаний, а также активизация российских экспедиторов по организации своих собственных линий и маршрутов. Эти тренды вместе с наблюдаемым глобальным ростом цен на контейнерные перевозки приводят к снижению качества услуг, что еще более усложнило анализ стоимости и выбор подходящих исполнителей для участников транспортного процесса, не имеющих собственного подвижного состава.

Отсутствие единообразия в вопросах публикации цен и оформления коммерческих предложений, сложность ана-

лиза стоимостей и наличия подвижного состава и доступного оборудования в необходимых локациях не только усложняют обработку входящей и исходящей документации и выбор подходящего тарифного плана и перевозчика, но также не позволяют спрогнозировать поведение цен как на краткосрочную, так и на долгосрочную перспективу.

На фоне сложностей с аналитикой прогнозирование стоимости транспортных перевозок выглядит еще более комплексной задачей, хотя потребность в прогнозе стоимости перевозок актуальна для всех участников рынка — как для стратегирования и планирования стоимости транспортных расходов в цене товара грузовладельцев, так и для анализа позиций конкурентов в транспортной среде и других задач. Частично решить проблему прогнозирования стоимости перевозок может внедрение нейросетей, которые зарекомендовали себя мощным и эффективным инструментом для анализа, прогнозирования и моделирования и применяются во многих отраслях — экономике, медицине, инженерии и т. д. [1–5]. Нейросети считаются популярным инструментом благодаря тому, что они не программируются, а обучаются, что делает их применение относительно простым.

Сеть самостоятельно определяет степень влияния тех или иных факторов на результат операций, и чем больше данных в нее поступает, тем более высокая вероятность получения от нее требуемых

результатов [6]. В то же время за счет этого свойства эффективность работы нейросети зависит от качества данных, на которых она обучена.

Помимо количества и качества обучающих данных на процесс обучения и последующей работы нейросети влияет ряд факторов, связанных с особенностями ее архитектуры, параметрами обучения, качеством кода и т. д. Но, прежде чем экспериментировать с выбранной базовой архитектурой нейросети, представляется логичным обеспечить высокое качество и достаточный объем данных для обучения.

При малом объеме обучающих данных или при их зашумленности и неструктурированности самая лучшая нейросеть с идеальной архитектурой не будет демонстрировать удовлетворительные результаты. Таким образом, подготовка качественных входных данных в достаточном объеме становится приоритетным, но при этом наиболее длительным и сложным процессом в рамках обучения нейросети.

Рассмотрим проблемы, возникающие на начальном этапе подготовки данных для обучения нейросети для анализа и прогнозирования тарифов на морском транспорте. Некоторые из них будут проиллюстрированы практическими примерами.

Нейросеть и сбор массива данных для ее обучения

Для выполнения задач исследования разработан многослойный перцептрон, подходящий для задач регрессии — прогнозирования непрерывного числового значения на основе входных данных. Модель нейросети с тремя скрытыми слоями построена с использованием рабочего пространства Keras в среде Python. Задача, определенная для нейросети, — прогнозировать тарифы на конкретные перевозки в следующем месяце текущего года. Набор данных для обучения нейросети представляет собой ретроспективные данные о тарифах на морские контейнерные перевозки между портами Дальнего Востока России и Китая за последние пять лет.

Первым шагом в подготовке данных является их сбор. В настоящее время существует большое количество открытых наборов обучающих данных (датасетов), содержащих статистику, изображения, видео, тексты, биржевые цены и т. д. Такие наборы уже подготовлены и размечены, т. е. могут быть использованы для

обучения нейросетей. Однако с учетом уникальности задач, возлагаемых на конкретную сеть для решения прикладной задачи, для ее обучения, как правило, требуются специфические, возможно даже уникальные данные. Готовые наборы подходят скорее для тренировки, хотя и могут быть использованы для обучения конкретных нейросетей.

Например, датасеты, содержащие размеченные изображения, подходят для обучения сверточных нейросетей, которые распознают и анализируют изображения. Статистические данные по экономикам разных стран могут быть задействованы для обучения нейросети, прогнозирующей макроэкономические показатели и т. д.

Если речь идет о разработке нейросети, которая будет выполнять относительно узкие задачи типа прогнозирования тарифов на морском транспорте на определенных маршрутах, для ее обучения, скорее всего, потребуются обширный массив данных частных компаний. Несмотря на то, что линейное судоходство осуществляется по заранее объявленному расписанию и тарифам, эта информация не является полностью открытой. Судоводные компании, работающие в контейнерном сегменте, используют следующие практики:

- информация предоставляется по специальной регистрации на официальном сайте, включая, например, предварительную заявку или подписанный договор;
- пересылка детальной информации производится по заявке на перевозку или по факту совместной работы с грузовладельцем;
- тарифы продаются через агентов (очень распространенная практика в КНР), которые распространяют их через рассылки от своего имени.

Периодичность индексации тарифов или публичных рассылок варьируется каждой компанией самостоятельно в зависимости от внутренней политики и изменения внешних факторов. Так, в период с февраля 2022 г. по ноябрь 2023 г. часть компаний индексировала тарифы на контейнерные перевозки практически ежедневно.

Еще одну проблему составляет тот факт, что многие публичные датасеты нельзя использовать в коммерческих целях, что становится проблемой при создании коммерческого программного обеспечения на основе нейросети. В связи с этим процесс сбора входных данных

для обучения значительно усложняется.

Помимо относительной закрытости данных, возникает проблема их объема. Чтобы нейросеть смогла эффективно обучиться, находить нелинейные закономерности в данных и выдавать максимально точные прогнозы, необходимо обеспечить достаточный объем этих данных. При этом показатель зависит от задач, возлагаемых на конкретную нейросеть, и может составлять от 10 тыс. до миллиона и более строк данных. Но чем крупнее набор данных, тем лучших результатов можно достичь при обучении нейросети, особенно если данные содержат много уникальных категориальных значений. С точки зрения прогнозирования важна также периодичность данных. Например, для прогнозирования тарифов в будущем месяце необходимо иметь ретроспективные данные за каждый месяц хотя бы последних 3–5 лет, чтобы модель могла выявить и запомнить сезонные и циклические паттерны.

Получение необходимого объема данных о тарифах становится сложной задачей по ряду причин:

- недостаточная цифровизация бизнес-процессов на транспорте в целом и в частности в области транспортной логистики и экспедирования: многие участники могут вести учет перевозок и расчет стоимости в ручном режиме без должной автоматизации и накопления электронных данных;
- коммерческая тайна: компании могут несвоевременно предоставлять подробную информацию или вообще отказывать в доступе к ней из-за опасений конкурентной борьбы, а также в силу особенностей национального законодательства;
- отсутствие систематического хранения данных в некоторых звеньях логистической цепочки: в то время, как судоводные компании сохраняют архив стоимостей перевозок, посредники, через которых действуют некоторые судоводные линии, не ведут баз в принципе, не говоря уже о хранении больших данных.

Нормализация данных

После сбора определенного объема данных следующим необходимым этапом подготовки становится их нормализация. Информация, связанная с морскими перевозками, часто характеризуется неоднородностью форматов, стилей и структуры документов, отсутствием привязки к каким-либо стандартам.

[illegible]

данные в ячейках неоднородны, сами таблицы содержат много лишней информации и пустых ячеек. Это объясняется отсутствием у логистических операторов единого согласованного формата хранения и предоставления данных в сфере транспорта и логистики даже в пределах одной страны.

Если же речь идет о международных перевозках, то различия в форматах данных только усиливаются. Таким образом, после сбора необходимых данных возникает задача их очистки и приведения к единому формату. Чтобы нейросеть могла обучиться на данных, они должны быть структурированы, согласованы, очищены от лишнего шума и не содержать большого количества пропущенных значений.

Следует отметить, что в настоящее время существуют готовые платформы и модули для подготовки и реструктуризации данных, однако они отличаются высокой стоимостью подписки (достигающей нескольких тысяч долларов в год) и потому подходят, как правило, для крупных компаний, которые имеют дело с большими массивами информации и могут позволить себе такие расходы. Для обработки меньшего объема данных существуют универсальные скрипты, способные автоматизировать процесс подготовки данных из разных источников. Однако создание универсального скрипта для логистов становится сложной задачей, если документы имеют разную структуру (как в приведенном примере).

Даже относительно простые варианты — вроде объединения нескольких файлов *xlsx* в один для обучения нейросети, написание кода, который автоматически бы отбирал значения из указанных колонок или удалял определенные ячейки, — в данном случае не могут быть реализованы без предварительной ручной обработки неструктурированных таблиц.

Для документов с иными форматами и структурой существует ряд техник, способных облегчить процесс подготовки данных: применение инструментов оптического распознавания текста (OCR) для извлечения данных из сканированных документов или изображений (что полезно при работе с неотредактируемыми файлами в *pdf*-формате); алгоритмы для распознавания и приведения различных форматов дат, денежных единиц к единому стандарту, нормализация имен и названий и т. д. Однако в большинстве случаев при работе с распоз-

нанными, но неструктурированными документами требуется ручная обработка таблиц, что усложняет и увеличивает время на процесс очистки и подготовки данных [7].

Какой бы тщательной ни была подготовка данных, в них могут содержаться ошибки, допущенные людьми, например, опечатки, различные варианты названий и имен, в том числе и на разных языках. Данная проблема может быть решена путем создания словарей и файлов нормализации имен в используемой программной среде. В нашем случае создан файл Python *name_normalization.py*, в котором приводятся к одному знаменателю названия и имена, и импортирован в код нейросети: *from name_normalization import port_names*.

Преобразование данных для машинного обучения

После очистки и нормализации данных необходимо преобразовать их в формат, подходящий для подачи на вход нейронной сети. Обучающие данные могут быть загружены в код нейросети в форматах *csv*, *xlsx*, или в виде датафрейма *Pandas* (в среде Python). В этом случае используем заполненную вручную CSV-таблицу с данными, которую можно загрузить с помощью следующей строки кода:

```
data = np.genfromtxt('costs_data.csv',
                    delimiter=';', dtype=str).
```

Наша обучающая выборка представлена *n*-ным количеством строк и семью столбцами переменных (рис. 2).

Таким образом, про каждую из *n* перевозок известно семь характеристик: дата, пункт отправления, пункт назначения, оператор, тип контейнера, размер контейнера, стоимость. Целевая переменная — стоимость — прогнозируется на остальных, входных переменных. В коде нейросети определяем столбцы входных признаков и целевой переменной:

```
input_cols = [0, 1, 2, 3, 4, 5]
target_col = 6.
```

В связи с тем, что подготовленные для обучения данные содержат категориальные (строковые) признаки, мы закодировали их в числовые значения, чтобы они могли быть использованы алгоритмами машинного обучения [8, 9]. Для данной модели наиболее оптимален метод One-Hot Encoding, который позволяет сохранить всю информацию о категориальных признаках и представить их в виде, подходящем для обучения нейронной сети. Он также позволяет модели выявлять нелинейные зависимости между категориальными признаками и целевой переменной. Его можно импортировать следующим образом:

```
from sklearn.preprocessing import
OneHotEncoder.
```

Альтернативой One-Hot Encoding является подготовка данных вручную — получение уникальных значений для каждого входного признака, создание списка бинарных признаков. Данный подход позволяет контролировать процесс преобразования данных и вносить коррективы на начальном этапе обучения нейросети. В связи с тем, что к данной модели применяется максимально контролируемое обучение, а набор данных пока не большой, выбрано ручное кодирование признаков.

Сначала определены уникальные значения для каждого входного признака (столбца) в наборе данных. Затем для каждой строки данных создан список бинарных признаков (0 или 1), где единица соответствует значению, которое присутствует в этой строке.

На завершающем этапе данные разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки в пропорциях 60/20/20. Обучающая выборка используется непосредственно для обучения модели, а тестовая — для ее финальной

Дата	Оператор	Пункт отправления	Пункт назначения	Тип контейнера	Размер контейнера	Стоимость
01.09.2022	HUAXIN	TAICANG	SOLLERS	COC	20	3486
01.09.2022	HUAXIN	TAICANG	SOLLERS	COC	40	5572
01.09.2022	HUAXIN	NANJING	SOLLERS	COC	20	3786
01.09.2022	HUAXIN	NANJING	SOLLERS	COC	40	5972
01.09.2022	HUAXIN	WUHAN	SOLLERS	COC	20	3786
01.09.2022	HUAXIN	WUHAN	SOLLERS	COC	40	5972
01.09.2022	HUAXIN	CHONGQING	SOLLERS	COC	20	3886
01.09.2022	HUAXIN	CHONGQING	SOLLERS	COC	40	6072
01.09.2022	ZHONGGU	TAICANG	VLADIVOSTOK	SOC	20	2336

Рис. 2. CSV-таблица с данными для обучения нейросети



оценки после обучения. Валидационная выборка используется для настройки гиперпараметров модели и промежуточной оценки во время обучения. Ее добавление также предотвращает переобучение модели:

```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42).
X_train, X_val, y_train, y_val = train_test_split(X_train, y_train, test_size=0.25, random_state=42).
```

Следует отметить, что создание качественных и объемных данных для обучения нейросети не гарантирует автоматически отсутствия проблем в будущем. Обучение нейросети — непрерывный процесс и после ее базового обучения будут необходимы новые данные, которые она могла бы обрабатывать, оценивать и учиться на них.

Соответственно пользователь нейросети вновь столкнется с указанными проблемами сбора и обработки информации. Решить проблему могла бы разработка единого стандарта документов хотя бы между участниками отдельной логистической цепочки, интеграция внутренних систем компаний через API или своевременный обмен актуальной информацией о тарифах, поступающей в корпоративные системы. Наряду с проблемой качества, это частично решило бы и проблему количества данных, которая в данный момент существует в сфере транспорта и логистики [9].

Заключение

На пути к цифровизации на транспорте возникают разнообразные проблемы: высокая стоимость внедрения новых решений; торможение отработанных технологических процессов; необходимость длительной обкатки существующих продуктов, не пригодных в готовом виде для использования конкретной компанией ввиду дефицита IT-решений для транспортной отрасли в целом и для экспедиторской и логистической деятельности в частности.

Уход крупных западных компаний, успешно использовавших ERP и BMR системы, в том числе в логистическом сегменте, еще более усложнил ситуацию. Рынок же отечественных решений, потребность в которых крайне высока и в других отраслях, не поспевает за спросом. Выходом из ситуации могут быть поэтапные разработки программных продуктов для каждого элемента внутри сегментов транспортной логистики или экспедирования, включая возможности искусственного интеллекта.

Подготовка данных является критически важным этапом при обучении нейронных сетей для анализа и прогнозирования тарифов на морском транспорте. Решение проблем, связанных с получением, нормализацией и преобразованием данных, в том числе с использованием категориального преобразования, позволяет значительно повысить производительность и точность прогнозов нейронной сети.

Несмотря на очевидные сложности, связанные с ограниченным объемом данных для обучения, существуют различные подходы, которые позволяют эффективно преодолевать данные ограничения. Так, диверсификация источников данных, применение алгоритмических методов увеличения выборки, а также совершенствование архитектуры нейронных сетей способны компенсировать нехватку информации и обеспечить построение точных прогнозных моделей. ■

Источники

1. Иващенко М. Г., Нестеренков С. Н., Ситников А. В. Эффективное использование нейронных сетей в решении задач автоматизации в логистике // BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник научных статей X Международной научно-практической конференции в двух частях, 13 марта 2024 г., Минск. Минск: Белорусский государственный

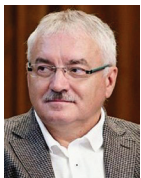
университет информатики и радиоэлектроники, 2024. С. 368–372. EDN: MQURLR.

2. Ли Ш., Сюе В. Особенности применения современных цифровых технологий для оптимизации логистических // Russian Economic Bulletin. 2024. Т. 7. № 4. С. 119–126. DOI: 10.58224/2658-5286-2024-7-4-119-126. EDN: QWWTFJ.
3. Дмитриев А. В. Цифровизация транспортно-логистических услуг на основе применения технологии дополненной реальности // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2018. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-transportno-logisticheskikh-uslug-na-osnove-primeneniya-tehnologii-dopolnennoy-realnosti> (дата обращения: 30.11.2024).
4. Баранникова А. О., Вороненко А. К., Смирнов С. М. О некоторых аспектах применения технологий Индустрии 4.0 в морских портах // Транспортное дело России. 2024. № 2. С. 122–126. EDN: DFLKEM.
5. Астраханцева И. А., Кутузова А. С., Астраханцев Р. Г. Рекуррентные нейронные сети для прогнозирования региональной инфляции // Научные труды Вольного экономического общества России. 2020. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rekurrentnye-neyronnye-seti-dlya-prognozirovaniya-regionalnoy-inflyatsii> (дата обращения: 01.12.2024).
6. Афанасьев С., Смирнова А., Ахметсафин И., Молоканов И. LGD-модели для розничного кредитования. Часть 2: разработка «ядра» модели // Риск-менеджмент в кредитной организации. 2021. № 4.
7. Качановский Ю. П., Коротков Е. А. Предобработка данных для обучения нейронной сети // Фундаментальные исследования. 2011. № 12–1. С. 117–120. EDN: OFYRIV.
8. Жанаева С. Б. К вопросу о подготовке данных при разработке модели нейронной сети // Вестник СибГУТ И. 2022. Т. 16. № 4. С. 69–79. DOI: 10.55648/1998-6920-2022-16-4-69-79. EDN: DJHMSW.
9. Маслов И. А. Оптическое распознавание символов в информационных системах и проблемы внедрения // E-Scio. 2023. № 3 (78). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opticheskoe-raspoznavanie-simvolov-v-informatsionnyh-sistemah-i-problemy-vnedreniya> (дата обращения: 29.11.2024).

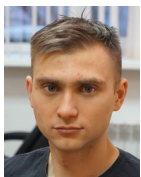
Исследование интенсивности транспортных потоков методами машинного обучения для интеллектуальных транспортных систем



Н. Г. Шешера,
канд. техн. наук, старший научный сотрудник Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС),



И. Н. Пугачев,
д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения РАН, профессор кафедры изысканий и проектирования железных и автомобильных дорог ДВГУПС,



Д. Е. Григоров,
начальник кабинета специальных дисциплин кафедры информационного и технического обеспечения ОВД Дальневосточного юридического института МВД России имени И. Ф. Шиловой

Эффективность интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях зависит от возможностей их программно-аппаратных комплексов по анализу интенсивности транспортных потоков. Сегодня данный параметр считают с использованием нейронных сетей по видеопотоку и моделируют для прогноза. Однако такую модель нельзя считать универсальной.

Мировой опыт создания интеллектуальных транспортных систем (ИТС) подтвердил их высокую эффективность в повышении безопасности дорожного движения. В качестве примера можно привести автоматизированную систему управления дорожным движением, используемую на автобанах А9 в ФРГ. По отчетам Дирекции автобанов Южной Баварии внедрение автоматизированной системы управления дорожным движением на данной трассе позволило снизить количество ДТП на 35,9%, в том числе с пострадавшими — на 34,4%.

Согласно Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. в рамках проектов «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» и «Безопасные качественные дороги» в российских регионах продолжают мероприятия по внедрению ИТС¹.

Сложная система взаимодействия транспортных потоков в городских агломерациях чувствительна к изменению параметров ВАДС², поломке объекта управления, ДТП, ремонту дороги и т. п. Создаются затруднения в движении, может быть парализована вся транс-

портная сеть. В таких случаях концепция интеллектуальных транспортных систем предусматривает оперативное моделирование транспортного распределения с учетом сложившейся обстановки с последующим изменением режимов объектов управления. Существуют примеры использования для этих целей нейросетевых технологий.

На сегодняшний день в ИТС нейронные сети применяют для сбора данных с целью прогноза опасности участка и интенсивности транспортного потока. Аналитические комплексы могут прогнозировать изменение его интенсивности с учетом временных параметров и погодных условий. Это происходит за счет предварительного моделирования с использованием машинного обучения. Но данная модель не применима на другом участке дороги, где ее придется переобучать.

Соответственно центральный аппарат управления ИТС должен содержать множество предиктивных моделей изменения интенсивности транспортных потоков для каждого участка улично-дорожной сети (УДС) городской агломерации, что нагружает вычислительный комплекс и влияет на качество и время обработки информации.

Гипотеза работы заключается в том, что за счет расширения перечня характеристик условий эксплуатации автомобилей, влияющих на интенсивность транспортных потоков, можно создать универсальную модель прогноза. Дан-

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. Утв. распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363р.

² ВАДС (водитель, автомобиль, дорога, среда) — сложная целостная динамическая система, где каждый из элементов находится в определенных отношениях и связях друг с другом.

ное решение позволит контролировать ключевые участки УДС, в том числе не оборудованные средствами фиксации исследуемого признака.

Подготовка данных

Для анализа зависимостей использовалось большое количество параметров геометрических элементов дорог, характеристик движения, погодных и природных условий, которые теоретически могут влиять на зависимый признак. Данные об интенсивности транспортных потоков собраны с использованием программно-аппаратных комплексов системы «INTEGRO-КДД», которые в круглосуточном режиме ведут подсчет автомобилей на 107 рубежах контроля г. Хабаровска [1].

С целью накопления информации о погодных условиях использовались открытые веб-ресурсы OpenWeatherMap и Gismeteo, так как они приспособлены для работы с данными в режиме разработчика с перспективой циклического обращения к ним [1, 2]. Разработана программа по автоматизированному сбору данных в широком диапазоне параметров. Активную помощь в реализации проекта оказал Хабаровский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, предоставив данные о погоде со станции Хабаровск с 2016 по 2021 гг.

Такие показатели улично-дорожной сети, как длина участка кривой, радиус, продольный уклон и другие геометрические элементы дорог, измерялись полевым путем или с использованием программы «Google Планета Земля» [3, 4].

Для проверки влияния учитываемых независимых признаков на зависимые проведен корреляционный анализ с учетом различных комбинаций подсистем системы ВАДС. Данные сгруппированы в интервалы.

С целью определения эффективных широт интервалов решено провести ранговую корреляцию Спирмена. Каждый интервал — это количество наблюдаемых случаев в нем, соответственно, обычным корреляционным анализом оценить значимость переменной было бы необъективно. С использованием ранговой системы в одном интервале (например, 0...200 — ранг 1, 200...400 — ранг 2, 400...600 — ранг 3 и т. д.) эта проблема решается [5].

Определены эффективные широты интервалов для количественных признаков. Широты интервалов геоме-

трических элементов дорог приняты в соответствии с таблицей коэффициентов аварийности В. Ф. Бабкова¹, а для погодных условий определены следующие: интенсивность транспортного потока $N = 250$ авт./ч; температура воздуха $t_v = 5$ °C; температура почвы $t_n = 5$ °C; температура точки росы $DP = 5$ °C; парциальное давление водяного пара $p_s = 5$ Па; относительная влажность воздуха $\phi = 50\%$; дефицит насыщения $d = 5$ г/м³; атмосферное давление на уровне станции $P_c = 30$ гПа; атмосферное давление на уровне моря $P_m = 45$ гПа; скорость ветра — 2 м/с; осадки — 2 мм.

Такие показатели, как видимость-шифр (VV), погода-шифр (ww), направление ветра, время суток и день недели, являются качественными второстепенными независимыми признаками. Они необходимы для изменения режимов комбинации и сортировки основных независимых переменных. При дальнейшем анализе с использованием нейронной сети незначительные показатели данных признаков будут пометаться программой соответствующими коэффициентами или исключаться.

Исследование методов машинного обучения

Закономерности взаимодействия элементов системы ВАДС сложно описать, опираясь на собственную интуицию, поэтому существуют примеры использования инструментов искусственного интеллекта.

В результате исследования опыта отечественных и зарубежных специалистов в области организации и безопасности дорожного движения, применявших для своих целей инструменты машинного обучения, выделены два методологических направления: методы глубокого обучения [6–8]; ансамблевые методы машинного обучения [9, 10].

В России для реализации интеллектуальных модулей транспортных систем используются алгоритмы глубокого обучения. Решено применить данный подход для анализа интенсивности транспортных потоков и повышения эффективности ИТС при прогнозе травматизма в результате ДТП. Подобную задачу решали в Оренбургском государственном университете исследовате-

ли И. П. Болодурина, Л. М. Анциферова и Л. С. Гришина. Авторы ограничились прогнозом интенсивности только на перекрестках с использованием нейронных сетей [6]. Для повышения качества оценки зависимого признака ими предложено использовать вместо глубокого обучения ансамблевые методы. Исходя из этого для определения интенсивности транспортного потока рассмотрены оба подхода.

Изначально структура нейронной сети строилась на анализе данных без предварительной обработки и валидации. Тестирование модели после обучения показало неэффективность прогноза. Это связано с большим количеством входящих нейронов, поэтому принято решение сгруппировать количественные признаки с учетом разработанных широт.

Для исследования влияния геометрических элементов дорог, погодных и природных условий на интенсивность транспортного потока собрано и сгруппировано 562 612 ч с различными характеристиками со 107 рубежами контроля автомобильного транспорта. Предварительная обработка всего массива данных незначительно повысила качество модели влияния независимых признаков на зависимый, точность составила 51 %.

Объясняя это недостаточным перечнем анализируемых факторов, принято решение каждый рубеж анализировать отдельно с перспективой создания не одной, а 107 моделей для прогнозирования. Таким образом, исключено влияние неучтенных статических независимых переменных.

Значения очищены от аномалий, которые связаны со сбойными ситуациями УДС и фиксирующей аппаратурой. Для этой цели лучше всего подошел метод изолированного леса, так как показатель интенсивности транспортного потока не имеет ярко выраженного нормального распределения.

Как показано в табл. 1, при улучшении точности прогноза (*test acc*) увеличивается и ошибка (*test loss*).

В простых задачах классификации метод глубокого обучения показал себя как надежный, точный и адаптивный инструмент. Однако в данной работе ставилась задача создать универсальную модель за счет большого количества признаков. К сожалению, нейронная сеть оказалась неэффективна, прогнозистические способности модели получились неудовлетворительными из-за

¹ ОДМ 218.4.005–2010. Отраслевой дорожный методический документ. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах (издан на основании Распоряжения Росавтодора от 12.01.2011 № 13-р).

Таблица 1. Фрагмент данных оценки моделей методами test loss и test acc до и после исключения аномалий из показателя интенсивности транспортного потока

Рубеж	С аномалиями		Без аномалий		Рубеж	С аномалиями		Без аномалий	
	test loss	test acc	test loss	test acc		test loss	test acc	test loss	test acc
1011	0,21	0,44	0,36	0,69	1111	0,42	0,24	0,74	0,2
1021	0,26	0,38	0,3	0,67	1121	0,25	0,35	0,33	0,65
1031	0,25	0,31	0,62	0,52	1131	0,23	0,4	0,32	0,62
111	0,52	0,26	0,89	0,43	1141	0,25	0,47	0,4	0,6

большого количества входных и выходных данных. В результате исчерпывающего перечня исследований можно сделать вывод о том, что нейронные сети не подходят для прогноза интенсивности транспортного потока от рассматриваемых в работе признаков.

С целью повышения точности прогноза интенсивности транспортного потока от параметров геометрических элементов дорог, характеристик движения, погодных и природных условий решено провести дополнительные исследования методов машинного обучения.

В результате анализа ансамблевых методов машинного обучения в работе [9] доказано, что самую высокую эффективность для решения задач безопасности дорожного движения имеет метод случайного леса. Принцип работы метода заключается в создании множества деревьев решений, обучаемых на различных случайных подмножествах данных и с использованием различных наборов признаков. При классификации каждое дерево в случайном лесу принимает решение на основе голосования большинства классов, присваивая класс с наибольшим количеством голосов.

Опираясь на опыт исследователей, разработаны модули обучения и прогноза интенсивности транспортного потока с применением алгоритмов машинного обучения (метода случайного леса), обучена модель. Блок-схемы алгоритмов обучения и прогноза приведены на рис. 1.

Алгоритм построения случайного леса, состоящего из N деревьев, для каждого $n = 1, \dots, N$ выглядит следующим образом: генерируется выборка x_n с помощью бутстрэпа (процедура многократного извлечения подвыборок из эмпирического распределения); строится решающее дерево b_n по выборке x_n :

- по заданному критерию выбирается лучший признак, выполняется разбиение в дереве по нему и так до исчерпания выборки;

- дерево строится пока в каждом листе не более $n_{\min}$ объектов или пока не будет достигнута определенная высота дерева;

- при каждом разбиении сначала выбирается m случайных признаков из n исходных, и оптимальное разбиение выборки определяется только среди них.

В задачах классификации используют: $m = \sqrt{n}$, где n — число признаков.

Итоговый классификатор выбирается «голосованием по большинству», рассчитывается по формуле

$$a(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i(x),$$

где N — количество деревьев; i — счетчик для деревьев; b — решающее дерево; x — сгенерированная выборка.

Чем выше в среднем признак в дереве решений, тем он важнее в данной задаче классификации. Критерием оценки качества расщепления вершины дерева использован коэффициент Джини:

$$Gini(T) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2,$$

где T — текущий узел; p_i — вероятность класса i в узле T ; n — количество классов.

Перед обучением особое внимание уделялось предварительной обработке данных, которая включала комплекс мероприятий для заполнения пустых значений. С целью исключения ошибок, связанных с человеческим фактором, автоматизированным способом проведена предпрограммная обработка.

Выбранный метод машинного обучения не нуждается в нормализации значений независимых переменных, как необходимо было сделать при обработке их в нейронной сети. В то же время прогнозирование строится на основе классификации, поэтому зависимая переменная разбита на группы. Приняты следующие группы интенсивностей, авт./ч:

1 группа (0–250);	9 группа (2001–2250);	17 группа (4001–4250);
2 группа (251–500);	10 группа (2251–2500);	18 группа (4251–4500);
3 группа (501–750);	11 группа (2501–2750);	19 группа (4501–4750);
4 группа (751–1000);	12 группа (2751–3000);	20 группа (4751–5000);
5 группа (1001–1250);	13 группа (3001–3250);	21 группа (5001–5250);
6 группа (1251–1500);	14 группа (3251–3500);	22 группа (5251–5500);
7 группа (1501–1750);	15 группа (3501–3750);	23 группа (5501–5750);
8 группа (1751–2000);	16 группа (3751–4000);	

Во время обучения модели случайного леса программа анализировала обучающие данные и создала набор параллельно работающих деревьев решений. Эти деревья обучались на различных подмножествах с использованием под-



Рис. 1. Блок-схемы обучения и прогноза модели методом случайного леса

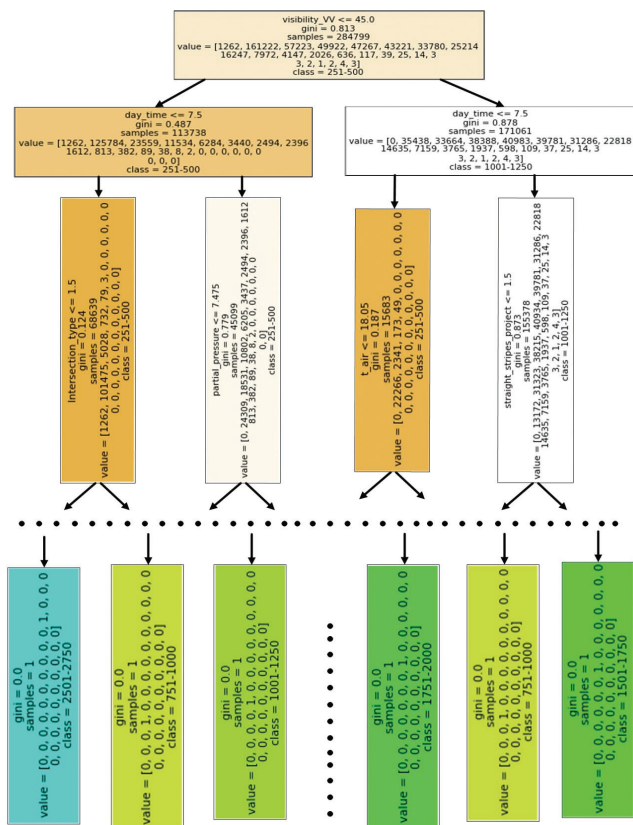


Рис. 2. Фрагмент дерева решений в лесу для прогноза интенсивности транспортного потока: gini – оценка качества расщепления узла; samples – количество образцов после разделения; value – количество наблюдаемых классов в выборке после разделения; class – класс с самой высокой встречаемостью по заданным условиям

хода случайного выбора подмножества признаков. Построен ансамбль из 500 деревьев решений (рис. 2), которые работают вместе для принятия классификационных решений.

Для определения степени влияния независимых переменных на зависимую проведена оценка их важности при перестановке:

$$i_j = s - \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K s_{k,j},$$

где s – эталонная оценка; k – повторение в $1, \dots, K$; j – признак из колонок.

Путем исключения незначительных независимых признаков достигнута максимальная эффективность модели. Ассигасу составил 71,61, коэффициент детерминации $R^2 = 0,897$. Это говорит о том, что в 71,6% модель точно спрогнозировала класс интенсивности транспортного потока при различных днях недели, месяцах, показателях времени суток, геометрических элементов дорог, погодных и природных условий.

Итоговые независимые признаки и их степени влияния приведены на рис. 3. Влияние признака определяется в диапазоне от 0 до 1, где 0 – это отсутствие влияния, а 1 – это 100% влияния.

В качестве дополнительной проверки точности модели создана матрица неточностей, которая применяется в задачах классификации. В ней представлена информация о том, какие группы модель предсказала правильно, а какие нет на тестовых данных (рис. 4).

Матрица неточностей представляет собой квадратную матрицу, где каждый элемент (i, j) матрицы – это количество объ-

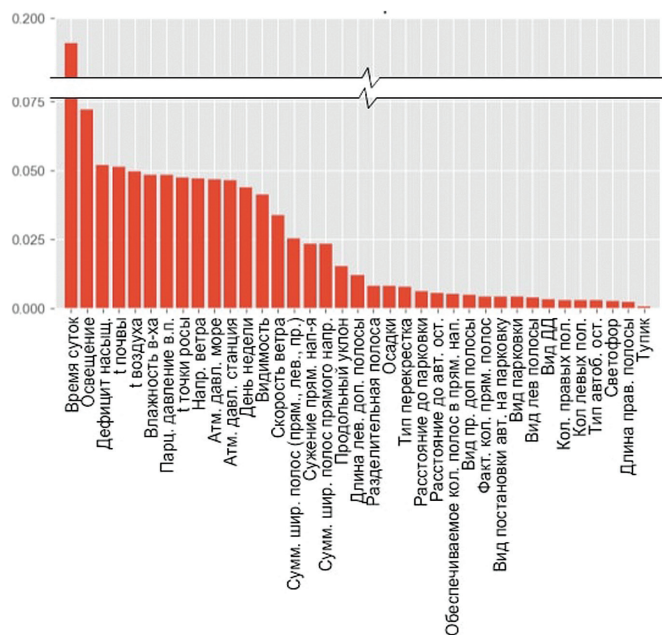


Рис. 3. Веса независимых признаков модели прогноза интенсивности транспортных потоков

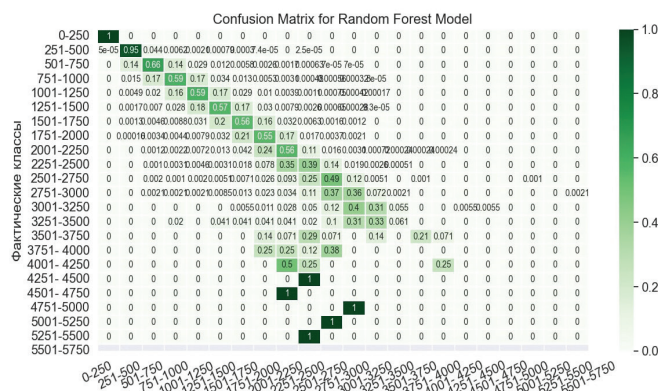


Рис. 4. Матрица неточностей при исследовании интенсивности транспортного потока

ектов, которые на самом деле принадлежат классу i , но были предсказаны как класс j . Таким образом, матрица неточностей дает информацию о верно классифицированных и ошибочно классифицированных объектах для каждого класса.

С 17-й группы (4001–4250 авт./ч) модель значительно теряет свою точность из-за малого количества встречаемости групп с высокой часовой интенсивностью. Это подтверждается и результатами Receiver Operating Characteristic анализа для каждой группы:

1 группа, AUC = 0,99;	9 группа, AUC = 0,98;	17 группа, AUC = 0,5;
2 группа, AUC = 0,95;	10 группа, AUC = 0,98;	18 группа, AUC = nan;
3 группа, AUC = 0,94;	11 группа, AUC = 0,98;	19 группа, AUC = nan;
4 группа, AUC = 0,94;	12 группа, AUC = 0,97;	20 группа, AUC = nan;
5 группа, AUC = 0,94;	13 группа, AUC = 0,94;	21 группа, AUC = nan;
6 группа, AUC = 0,95;	14 группа, AUC = 0,89;	22 группа, AUC = nan;
7 группа, AUC = 0,96;	15 групп, AUC = 0,87;	23 группа, AUC = nan;
8 группа, AUC = 0,97;	16 группа, AUC = 0,87;	

Для подтверждения точности модели спрогнозирована интенсивность транспортного потока на ранее заготовленных данных, которые не участвовали в обучении. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Оценка точности прогноза на тестовых данных

Прогноз			Фактиче- ская интенсив- ность	Прогноз			Факти- ческая интен- сивность
ID	Класс	Интер- вал		ID	Класс	Интер- вал	
0	1	0–250	79	15	1	0–250	87
1	1	0–250	39	16	1	0–250	57
2	1	0–250	21	17	5	1001–1250	1539
3	6	1251–1500	1393	18	5	1001–1250	1876
4	6	1251–1500	1426	19	5	1001–1250	893
5	6	1251–1500	1398	20	5	1001–1250	219
6	6	1251–1500	1551	21	1	0–250	31
7	6	1251–1500	1637	22	1	0–250	25
8	4	751–1000	785	23	1	0–250	62
9	2	251–500	452	24	2	251–500	136
10	1	0–250	66	25	4	751–1000	722
11	1	0–250	49	26	4	751–1000	1068
12	1	0–250	16	27	5	1001–1250	1125
13	2	251–500	229	28	4	751–1000	936
14	1	0–250	160	29	3	501–750	620

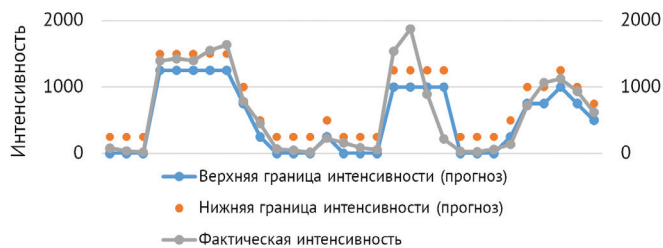


Рис. 5. Сравнительный анализ прогноза интервалов интенсивности с фактическими значениями

Если сравнивать значения фактических показателей интенсивности при определенных дорожных, погодных и природных условиях в различные периоды времени с прогнозом (табл. 3), можно сделать вывод о правильности в оценке точности ассигасу, которая равна 71,6. Из 30 случаев модель ошиблась только в 9 — это 30 % от всей тестовой выборки. Но это не значит, что неточные данные прогноза не информативны. С целью дополнительного сравнительного исследования построен график спрогнозированных интервалов и фактической интенсивности транспортного потока (рис. 5).

На рис. 5 видно, что выпадающие из прогноза 30 % данных находятся около значений интервалов, соответственно, ошибка невелика.

Данные для обучения охватывают все периоды года с подробной детализацией и объективно характеризуют различия между временем суток, днями и месяцами вследствие изменения температурных режимов, длительности

Январь 2021
Точность 70%

Интенсивность	Оценка
Прогноз	точности
4	857 ТОЧНО
8	1741 НЕ ТОЧНО
8	1837 ТОЧНО
8	1796 ТОЧНО
7	1595 ТОЧНО
4	722 НЕ ТОЧНО
3	681 ТОЧНО
4	715 НЕ ТОЧНО
3	639 ТОЧНО
7	1459 НЕ ТОЧНО
6	1359 ТОЧНО
4	965 ТОЧНО
5	985 НЕ ТОЧНО
5	1219 ТОЧНО
5	847 НЕ ТОЧНО
9	2070 ТОЧНО
8	1858 ТОЧНО
3	555 ТОЧНО
3	617 ТОЧНО
4	536 НЕ ТОЧНО
3	524 ТОЧНО
5	969 НЕ ТОЧНО
3	711 ТОЧНО
4	888 ТОЧНО
3	578 ТОЧНО
3	559 ТОЧНО
3	525 ТОЧНО
2	514 НЕ ТОЧНО
3	524 ТОЧНО

Июль 2021
Точность 73%

Интенсивность		Оценка
Прогноз	Факт	точности
4	765	ТОЧНО
3	764	НЕ ТОЧНО
4	814	ТОЧНО
3	765	НЕ ТОЧНО
4	764	ТОЧНО
4	814	ТОЧНО
6	1151	НЕ ТОЧНО
6	1377	ТОЧНО
6	1358	ТОЧНО
6	1412	ТОЧНО
8	1710	НЕ ТОЧНО
8	1893	ТОЧНО
8	1852	ТОЧНО
7	1693	ТОЧНО
9	1734	НЕ ТОЧНО
8	1894	ТОЧНО
8	1839	ТОЧНО
7	1660	ТОЧНО
8	1749	НЕ ТОЧНО
9	2056	ТОЧНО
8	1952	ТОЧНО
6	1709	НЕ ТОЧНО
7	1689	ТОЧНО
7	1567	ТОЧНО
6	1566	НЕ ТОЧНО
7	1509	ТОЧНО
7	1506	ТОЧНО
7	1553	ТОЧНО
4	765	ТОЧНО

Рис. 6. Исследование качества прогностической модели с учетом сезонных изменений

светового дня, видов осадков и т. п. В зимнее время интенсивность транспортного потока ниже, чем в летнее и для проверки точности модели с учетом сезонных изменений проведен эксперимент. В результате расчета выяснилось, что в г. Хабаровске по данным с 2018 по 2021 гг. самая высокая среднемесячная интенсивность зафиксирована в июле, а самая низкая — в январе (рис. 6).

Из глобального массива данных сформирована выборка значений интенсивности за январь и июль 2021 г. по 30 временным интервалам для каждого месяца и соответствующие им независимые переменные. Выполнен прогноз, результаты которого представлены на рис. 6.

Несмотря на значительные различия в условиях эксплуатации транспортных сооружений, модель показала хорошую прогностическую точность. В январе она составила 70 %, а в июле — 73 %. Модель апробирована на УДС не только г. Хабаровска, но и ряда городов других регионов РФ, в частности, в г. Петрозаводске (Республика Карелия).

Данные об интенсивности транспортных средств собраны с помощью анализа непрерывного видеопотока с публичной видеокамеры на основе алгоритма распознавания движущихся объектов YOLOv5 на базе AI-фреймворка PyTorch (рис. 7). Информация о параметрах транспортных сооружений получена в программе «Google Планета Земля», о погодных условиях — с открытых метеорологических ресурсов.

Собранные данные подготовлены в соответствии с правилами метода анализа интенсивности транспортного потока. Используя обученную модель, выполнен прогноз. При сопоставлении реальных значений интенсивности с прогнозом определена точность в 72 %. Результаты приведены в табл. 3.

Результатами ошибок могут служить неучтенные факторы, которые требуют дальнейшего исследования. Тем не менее модель можно считать достаточно достоверной для прогноза интенсивности транспортного потока от временных признаков, дорожных, погодных и природных условий.

Заключение

Нейронные сети показывают лучшие результаты при работе с однородными данными, например, обработке изображений, разбивая графическую информацию на типизиро-

Таблица 3. Оценка точности прогноза интенсивности на пересечении проезжих частей ул. Ленина и ул. Андропова г. Петрозаводска

Интенсивность		Оценка точности	Интенсивность		Оценка точности	Интенсивность		Оценка точности
Прогноз	Факт		Прогноз	Факт		Прогноз	Факт	
1	74	Точно	2	686	Не точно	1	195	Точно
1	15	Точно	2	530	Не точно	1	110	Точно
1	72	Точно	2	257	Точно	1	259	Не точно
1	34	Точно	3	442	Не точно	1	129	Точно
1	2	Точно	1	393	Не точно	1	32	Точно
1	49	Точно	1	226	Точно	1	158	Точно
3	513	Точно	2	476	Точно	1	105	Точно
6	579	Не точно	1	294	Не точно	1	21	Точно
2	697	Не точно	1	131	Точно	1	89	Точно
2	350	Точно	2	382	Точно			



Рис. 7. Кадр публичной видеокамеры пересечения проезжих частей ул. Ленина и ул. Андропова г. Петрозаводска, на котором выполняется алгоритм распознавания движущихся объектов

ванную структуру и анализируя однородную последовательность пикселей.

На большом количестве разнородных данных модель демонстрирует худшие результаты из-за неявных взаимосвязей. При исследовании интенсивности транспортного потока с использованием нейронных сетей имели успех только те ученые, которые брали ограниченный перечень данных (пример, время и день недели). Такие модели применимы на конкретном участке, а при более широком диапазоне входящих данных наблюдается проблема переобучаемости — в новых ситуациях прогнозы становятся все хуже и хуже.

Методом случайного леса обучена модель прогноза интенсивности транспортного потока на широком диапазоне данных, что сделало ее универсальной. Точность составила 71,6%. Качество модели прогноза интенсивности транспортного потока с использованием случайного леса подтверждено на примере другой городской агломерации.

Источники

1. Пугачев И. Н., Скрипко П. Б., Шешера Н. Г. Программный подход к комплексному сбору и подготовки данных об интенсивности движения транспортных средств, погодных условий и естественной освещенности в часовых интервалах // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 10. С. 43–51.
2. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Использование инструментов современных библиотек Python по работе с географическими координатами для решения задач безопасности дорожного движения // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. № 3(40). С. 60–66.
3. Жук А. Ю., Саблин С. Ю., Скрыпников А. В. и др. Исследование математической модели рельефа местности при проектировании автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 88–93.
4. Голов Е. В., Сорокина Е. В., Евтюков С. С. Проблемные вопросы использования спутниковой навига-

ции при оценке состояния факторов «Дорога» и «Среда» в системе ВАДС // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 4 (93). С. 141–150.

5. Пугачев И. Н., Шешера Н. Г., Григоров Д. Е. Определение эффективных широт интервалов влияния температурных режимов на интенсивность транспортного потока с использованием ранговой корреляции Спирмена // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18. № 3. С. 34–40.
6. Болодурина И. П., Анциферова Л. М., Гришина Л. С. Интеллектуальная модель прогнозирования интенсивности движения транспортных средств на перекрестке // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. № 6. С. 69–78.
7. Зацерковный А. В., Нурминский Е. А. Нейросетевой анализ транспортных потоков городских агломераций на основе данных публичных камер видеонаблюдения // Компьютерные исследования и моделирование. 2021. Т. 13. № 2. С. 305–318.
8. Mazloumi E., Rose G., Currie G., Moridpour S. Prediction intervals to account for uncertainties in neural network predictions: methodology and application in bus travel time prediction // Eng. Appl. Artif. Intell. 2011. № 24(3). Pp. 534–542.
9. Донченко Д. С., Садовникова Н. П., Парыгин Д. С. Прогнозирование степени тяжести последствий ДТП с использованием методов машинного обучения // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2019. № 13(4).
10. Habib M., Bashir B., Alsalman A., Bachir H. Evaluating the accuracy and effectiveness of machine learning methods for rapidly determining the safety factor of road embankments // Multidiscipline Modeling in Materials and Structures. 2023. Vol. 19. № 5. Pp. 966–983.

Оценка динамического воздействия высокоскоростного подвижного состава на эстакадные и мостовые сооружения на грунтах с пониженной несущей способностью



А. А. Воробьев,
д-р техн. наук,
заведующий кафедрой
«Наземные транспортно-
технологические ком-
плексы» Петербургского
государственного универ-
ситета путей сообщения
Императора Александра I
(ПГУПС),



Я. С. Ватулин,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
«Электротехника
и теплоэнергетика»
ПГУПС,



А. С. Ватаев,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
«Наземные транспортно-
технологические
комплексы» ПГУПС



Э. Ю. Чистяков,
старший преподаватель
кафедры «Строительные
материалы и технологии»
ПГУПС

Обеспечение высокой провозной способности требует повышения скорости движения пассажирских поездов и внедрения высокоскоростного транспорта. Установление предельного значения волновой нагрузки при движении поезда по искусственным сооружениям, мостовым конструкциям и эстакадам является важной и одновременно очень сложной научно-технической задачей.

Движение высокоскоростного поезда является фактором техногенной сейсмичности, при котором из-за колебательных воздействий со стороны движущегося подвижного состава формируется направленное периодическое механическое смещение мостовой конструкции, ее опор и верхнего строения пути. Дополнительным фактором сейсмичности может выступать ударное воздействие на опоры, а также ветровая нагрузка на мостовую конструкцию и движущийся поезд. Сочетание данных воздействий, осложняющееся пониженной несущей способностью грунтов вследствие интенсивного обводнения, может существенно изменить характер колебаний надрессорного строения подвижного состава, распределение нагрузок на оси и в итоге привести к аварийной ситуации.

Таким образом, задача анализа воздействия вибрационных и волновых нагрузок от движущегося высокоскоростного подвижного состава на эстакады и мостовые конструкции, построенные на слабых грунтах, является актуальной. Ее решение возможно с помощью математического моделирования. Современные программные вычислительные комплексы способны выполнять расчеты на базе метода конечных элементов в стационарной и нестационарной постановке. В работе выполняется расчет напряженно-

деформированного состояния эстакады при наличии возмущающих воздействий от движущегося поезда¹.

Ударное воздействие моделируется в виде усилий на поверхности опор как функции времени. Величина сил определяется на основе решения задачи гидродинамики, решение которой выходит за рамки настоящей статьи.

К особенностям рассматриваемой задачи следует также отнести факт формирования направленного импульса механических колебаний, излучаемых со стороны железнодорожных путей, а также опор под воздействием движущейся, динамически изменяющейся во времени нагрузки со стороны поезда и набегающих волн, а также наличия фазового перехода между опорами и грунтом.

Для оценки особенностей нагружения эстакады необходимо установить механизмы формирования условий взаимодействия и передачи динамических нагрузок между верхним строением пути, подверженным действию динамических нагрузок от подвижного состава, опорами, подверженным действию ударных нагрузок, грунтом и телом эстакады. С этой целью необходимо реализовать следующий алгоритм:

¹ Исследования, выполняемые по данной тематике, проводились в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет-2030».

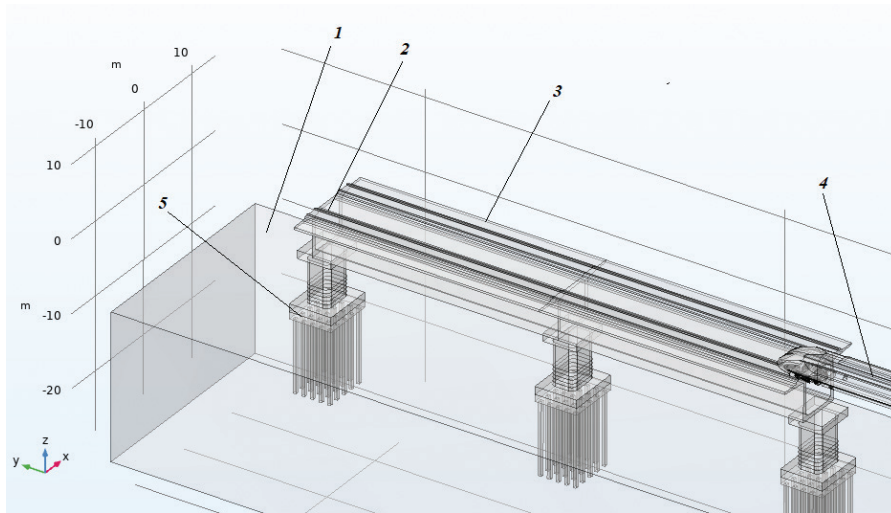


Рис. 1. Общий вид объекта исследования: 1 — грунт; 2 — рельсовый путь; 3 — эстакада; 4 — движущийся поезд; 5 — опора на свайном основании

• Составить расчетную схему для определения деформаций эстакады под воздействием нагрузок и движущегося поезда с помощью конечных элементов, используя подходы теории упругости. Сложность аналитического решения заключается в том, что объект представляет собой систему взаимодействующих между собой объектов с различными упругопластическими свойствами, а также динамическим режимом нагружения.

• Определить механизм формирования направленных импульсов механических колебаний, излучаемых верхним строением пути и опорами при воздействии динамической нагрузки, возникающей при движении высокоскоростного состава типа «Сапсан» (Velaro Rus), а также волновой нагрузки.

• Установить механизм передачи направленного импульса механических колебаний в грунте и по объему искусственного сооружения — эстакады.

• Построить векторную поверхность зависимости распределения давления во времени в характерных поперечных сечениях системы «грунт — эстакада».

• Определить значения продольного изгиба пролетов и опор эстакады.

Математическая модель

Рассматриваемый объект (рис. 1) представляет собой участок эстакады с опорами, расположенными на участке береговой линии. Опоры заглублены в грунт на 7 м от поверхности. На эстакаде размещен рельсовый путь, представленный двумя фасонными балками, предназначенный для движения поездов с высокими скоростями. Границы целика, торцы эстакады и рельсов зафиксированы по торцам

подвижной роликовой опорой. Рельсы нагружены сосредоточенными силами, расположенными в точках контакта поверхности катания головки рельса и обода колес тележек движущегося подвижного состава.

Модель участка поверхности представляет собой прямоугольный параллелепипед с размерами 30×180 м и высотой 15 м. С целью исключения влияния концевых эффектов опора размещена на 30 м от края грунта в продольном направлении и на 21 м в поперечном.

Железнодорожный путь представлен в виде упрощенной модели, в которой отсутствует детализированное отображение рельса. Высота рельса соответствует типу Р75. Эстакада представлена в виде твердого тела, расположенного на опорах. Нижний срез опоры расположен на расстоянии 7 м от поверхности. Свайное основание не моделировалось. Модель предусматривает возможность исследования движения двух поездов в разных направлениях с различными скоростями.

При моделировании приняты следующие упрощения и допущения:

• Грунт, представляет собой изотропную среду с неизменными параметрами. Слоистая структура не учитывается. Свойства грунта описываются с помощью модели Мора — Кулона со следующими параметрами: плотность грунта 2300 кг/м³, модуль Юнга 1 МПа, коэффициент Пуассона 0,27, удельное сцепление 29 кПа, угол внутреннего трения 18°.

• Рельс является однородной изотропной средой со следующими параметрами: модуль Юнга 206 000 МПа, коэффициент Пуассона 0,3, плотность 7800 кг/м³. Пластические деформации

не учитываются. Влияние рельсовых скреплений и наличие зазоров в стыках не рассматривалось.

• Бетон эстакады и опор принимает как эластичный линейный материал с плотностью 2300 кг/м³, модулем Юнга 30 000 МПа, коэффициентом Пуассона 0,25.

• Пустоты между поверхностью опор и грунтом, зазоры между опорами и пролетным строением, а также между элементами пролетного строения отсутствуют. Сооружение представляет собой сплошную монолитную конструкцию.

• Форма поперечного сечения рельса оказывает пренебрежимо малое влияние на колебательные процессы и распределение напряжений в толще грунта и объеме эстакады.

• Контакт между опорой и грунтом является полным. Проскальзывание поверхностей отсутствует.

• Путь расположен строго параллельно оси эстакады. Рельсы параллельны друг другу. Поверхности катания рельсов находятся на одном уровне.

Начальные и граничные условия

Расчет напряженно-деформированного состояния коллектора выполнен для случая движения скоростного поезда с осевой нагрузкой 18 т и произведен в программном пакете Comsol Multiphysics. При построении сетки конечных элементов использовано разбиение на тетраэдры. Общее число узлов сетки 1 260 000.

При расчете использованы следующие граничные условия:

• Нижняя поверхность расчетной модели жестко закреплена. Использовано граничное условие fixed constraint.

• К боковым и торцевым поверхностям эстакады, торцевым граням рельсов, боковым поверхностям грунта применено граничное условие роликовой опоры.

• Распределение нагрузки на поверхность рельса от поезда как функция координаты имеет вид, представленный на рис. 2. Для расчета динамически изменяющейся нагрузки, обусловленной движением поезда, применено граничное условие Boundary load, где распределение нагрузки задано в виде функции вида:

$$f(t) = F_{\max} (x - Vt + x_0),$$

где $F_{\max}$ — амплитуда нагрузки на ось;

V — скорость поезда, м/с;

t — значение времени, с;

x — координата вдоль оси рельса, м;

x_0 — координата, м.

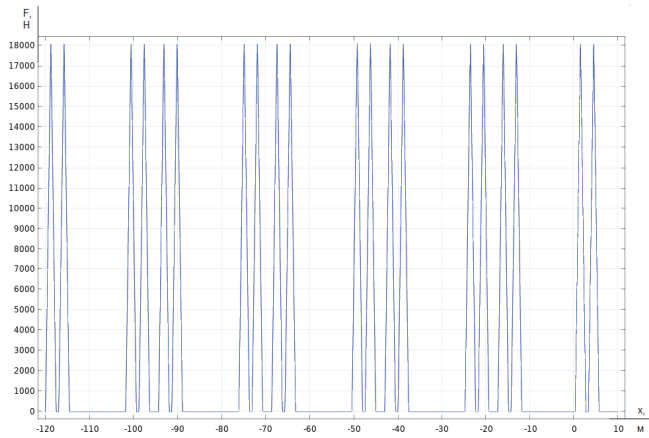


Рис. 2. Распределение нагрузки на поверхность рельса от поезда как функция координаты

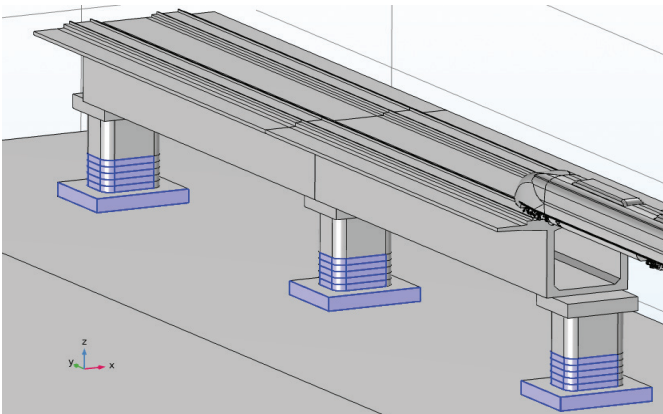


Рис. 3. Фрагмент расчетной области с границей, к которой приложено граничное условие Boundary Load для имитации нагрузки от набегающих волн

Функциональная зависимость нагружающего усилия верхнего строения пути от высокоскоростного поезда VelaroRUS (ЭВС1/ЭВС2 «Сапсан») получена в результате кинематического моделирования колебательного процесса надрессорной части подвижного состава с учетом условий контактирования обода колеса с поверхностью катания головки рельса [1–10] и представляет собой граничное условие вида Boundary load. При выполнении расчетов амплитуда нагрузки на ось F_{max} принималась равной 180 кН, а значение скорости V составило 56 м/с. Применение указанного граничного условия позволяет моделировать движение поезда путем перемещения нагрузки вдоль рельсового пути с заданной скоростью с течением времени. Более подробно применение данного подхода рассмотрено в [1].

Волновая нагрузка учитывается с помощью граничного условия Boundary Load. Область приложения нагрузки представлена на рис. 3.

Предполагается, что на опору набегают единичная волна, движущаяся в направлении оси X. Форма волны описывается с помощью функции Triangle. Амплитуда нагрузки одинакова для всех трех опор и составляет 10 кН; длительность волнового воздействия 1,2 с. Максимальная нагрузка соответствует 0,95 с расчетного времени, что соответствует подходу поезда к средней опоре эстакады.

Расчет выполнен в нестационарной постановке. Рассмотрен временной диапазон от 0 до 2 с, что соответствует времени захода четырех вагонов поезда на эстакаду со скоростью 55 м/с. За начало отсчета принято время наезда первой колесной пары на рельс эстакады.

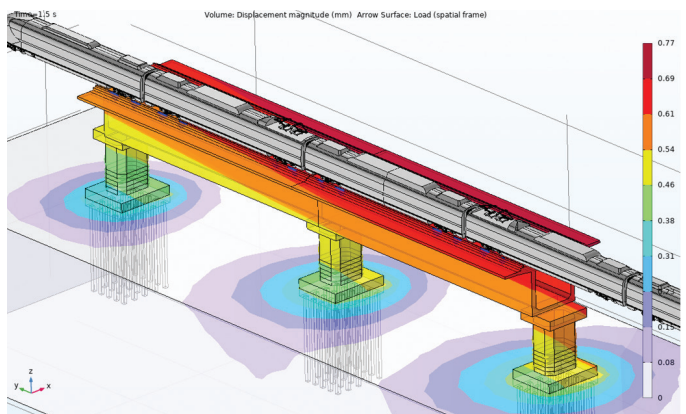
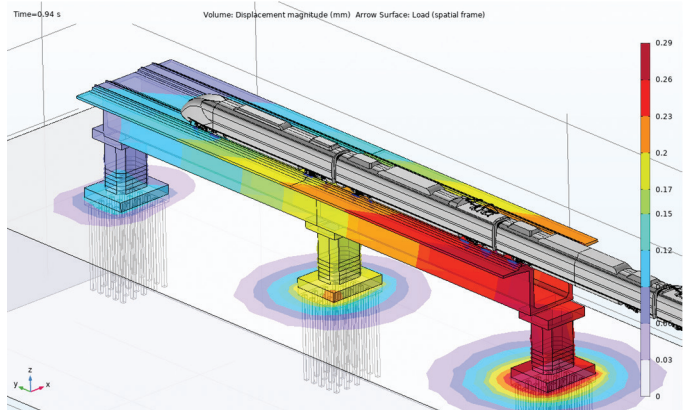
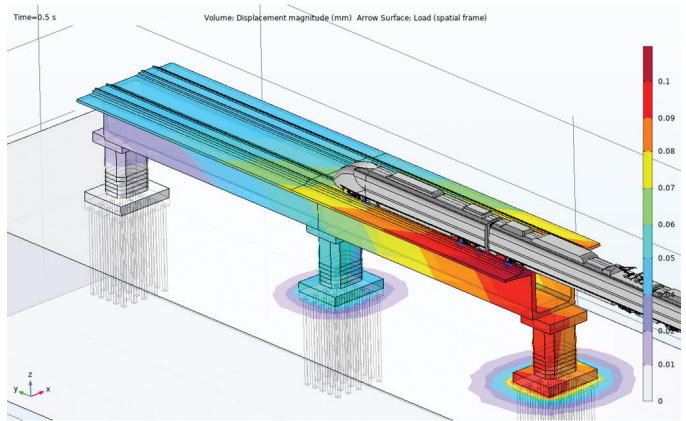


Рис. 4. Поле деформаций грунта и эстакады при воздействии нагрузок: а — от поезда после захода первого вагона на эстакаду (0,5 с); б — от поезда и максимуме нагрузок от набегающей волны (0,94 с); в — от поезда после захода первой тележки четвертого вагона на эстакаду (1,5 с)

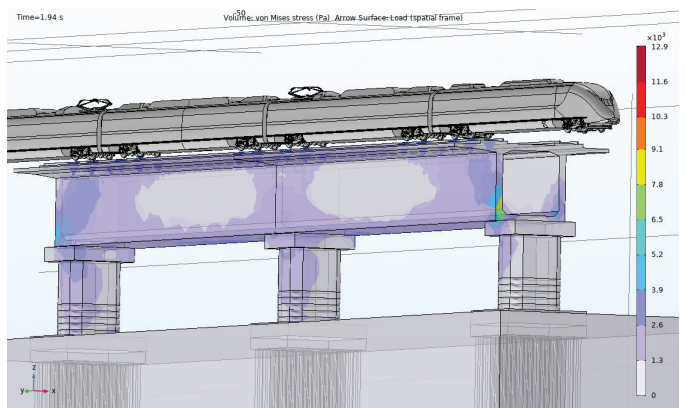


Рис. 5. Распределение напряжений в грунте и эстакаде при воздействии нагрузок от поезда и набегающей волны (значение времени 0,94 с)

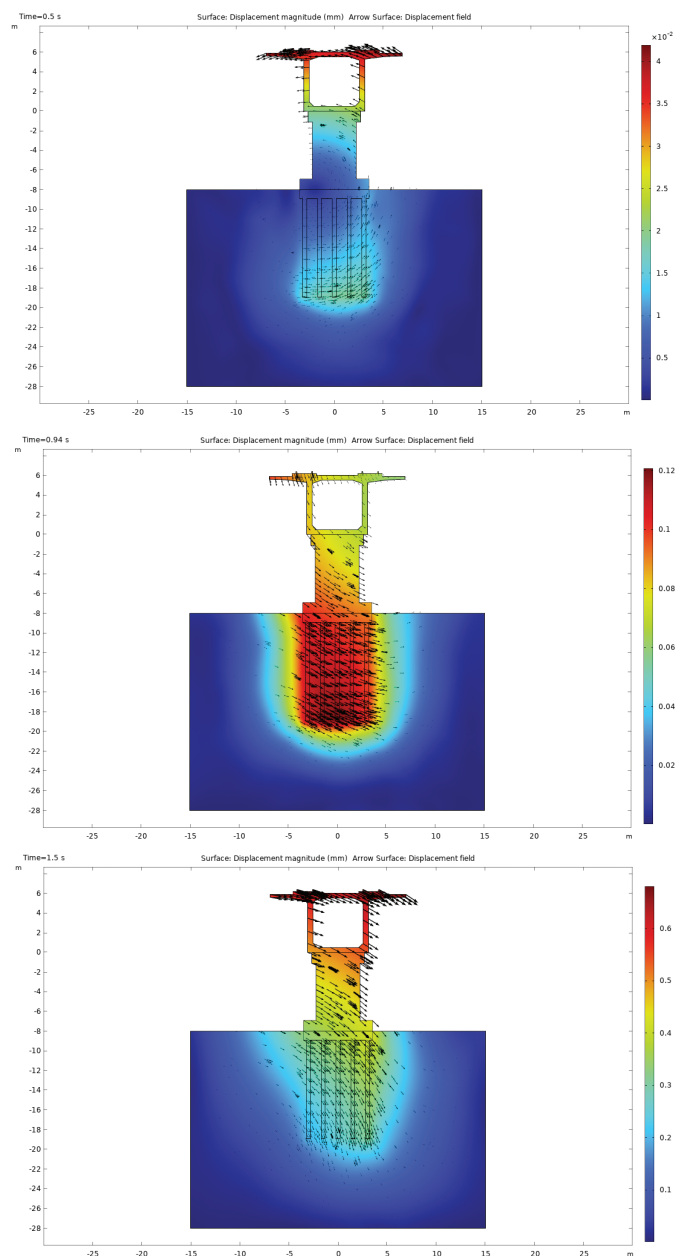


Рис. 6. Фазы поля распределения перемещений в толще грунта и эстакаде в момент времени, с: а – 0,5; б – 0,94; в – 1,5

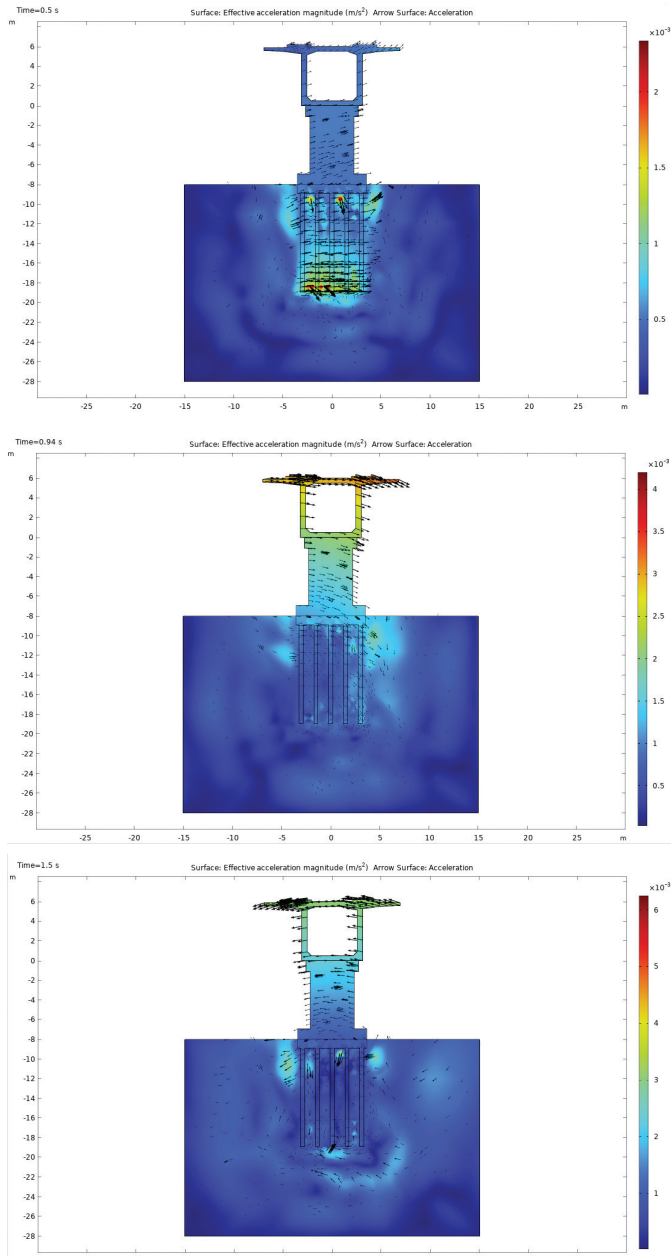


Рис. 7. Фазы поля распределения ускорений в эстакаде и толще грунта в момент времени, с: а – 0,5; б – 0,94; в – 1,5

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния эстакады при совместном действии динамических нагрузок от движущегося поезда и набегающих волн

Поля деформаций грунта и эстакады при воздействии нагрузок от поезда после захода первого вагона на эстакаду при значении времени 0,5, 0,94 и 1,5 с представлены на рис. 4.

Из полученных данных следует, что деформации эстакады носят волновой характер, значения деформаций в целом незначительны, а прочность сооружения достаточна.

На рис. 5 представлено распределение напряжений по объему эстакады и грунта в момент времени 0,94 с от момента въезда поезда на эстакаду, что соответствует

максимальной нагрузке на опоры от набегающей волны.

Выявлено, что распространение напряжений также носит волновой характер. По этой причине представляет интерес анализ процесса распространения энергии колебаний, возбуждаемых движущимся поездом в объеме эстакады и толще грунта. Динамика колебательного процесса отображена на рис. 6, 7. Ввиду малости деформаций деформированное состояние не показано.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что характер распространения деформаций и ускорений носит волновой характер. Величина деформации значительно (более чем в два раза) уменьшается с ростом глубины. Значение же ускорения значительно затухает по мере удаления от опоры.

Результат расчета распределения удельной энергии системы представлен на рис. 8. Масштаб деформации значительно увеличен для наглядности.

По результатам исследования распределения удельной энергии системы можно сделать вывод о тенденции резкого снижения интенсивности энергетических процессов, обусловленных наличием волновой и динамической нагрузок от движущегося поезда. Видно, что энергия от поезда с достаточной скоростью рассеивается в толще опоры и эстакады. Энергия волновых процессов передается на опору и затухает в направлении к основанию. Таким образом, при данном типе сооружения динамическая нагрузка от набегающих волн при заданной интенсивности оказывает

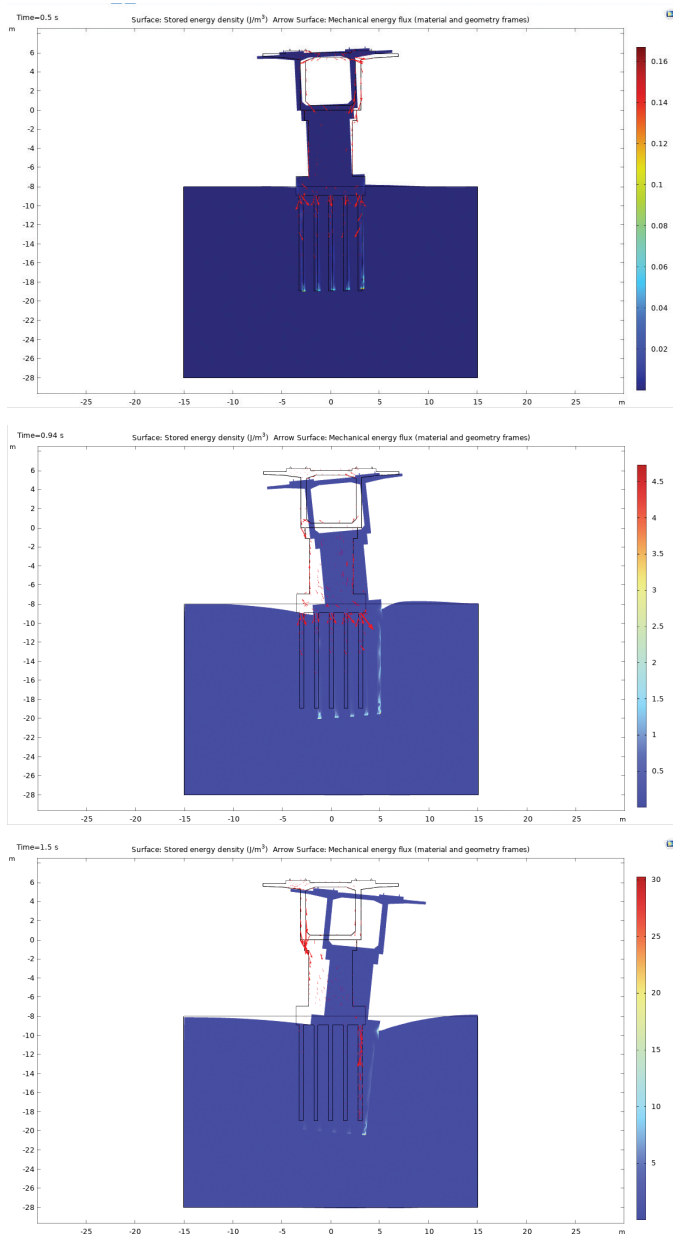


Рис. 8. Фазы поля распределения плотности энергии в момент времени, с: а – 0,5; б – 0,94; в – 1,5

пренебрежимо малое влияние на деформацию и вибрации верхнего строения пути.

Результаты расчета собственных частот колебательных процессов

Для оценки надежности сооружения [9, 10] информационно достаточную картину представляет собой распределение модальных (эффективных) долей массы конструкции, участвующих в колебательном процессе на резонансных частотах. Расчет проводился с помощью инструмента Eigenfrequency [8].

В результате расчета определены массы, вовлеченные в колебательный процесс по отведениям X , Y и Z соответственно. Полученные значения соотношены с полной массой рассматриваемой колебательной системы. Относительные значения долей масс, участвующих в колебательном процессе для соответствующих модальных частот, представлены в таблице.

В результате расчета определены значения резонансных частот, которым соответствуют наибольшие значения масс, вовлеченных в колебательный процесс, т. е. обладающие высокой

энергией деформации, Гц: для отведения X – 0,4052; для отведения Y – 0,1986; для отведения Z – 0,2670. Моды колебаний, соответствующие резонансным частотам представлены на рис. 9.

Полученным модам колебаний при резонансных частотах соответствуют следующие амплитудные значения перемещений по отведению, мм: X – 0,07; Y – 0,097; Z – 0,104.

Заключение

Разработана математическая модель, позволяющая выполнять численные исследования напряженно-деформированного состояния эстакады под совместным воздействием нагрузок от набегающих волн и движущегося высокоскоростного поезда с помощью метода конечных элементов в нестационарной постановке.

Предложена методика учета динамического воздействия на эстакаду со стороны движущегося высокоскоростного поезда с помощью граничных условий, позволяющих моделировать движение поезда путем перемещения нагрузки вдоль рельсового пути с заданной скоростью.

Показано, что распределение деформаций эстакады при проходе по ней высокоскоростного поезда, а также характер возникающих при этом напряжений в ней и в толще окружающего ее грунта носят волновой характер. При этом величина деформации грунта значительно (более чем в два раза) уменьшается с ростом глубины. Значение же ускорения значительно затухает по мере удаления от опоры. В целом полученные значения деформаций и напряжений незначительны для данного типа конструкции и не представляют опасности.

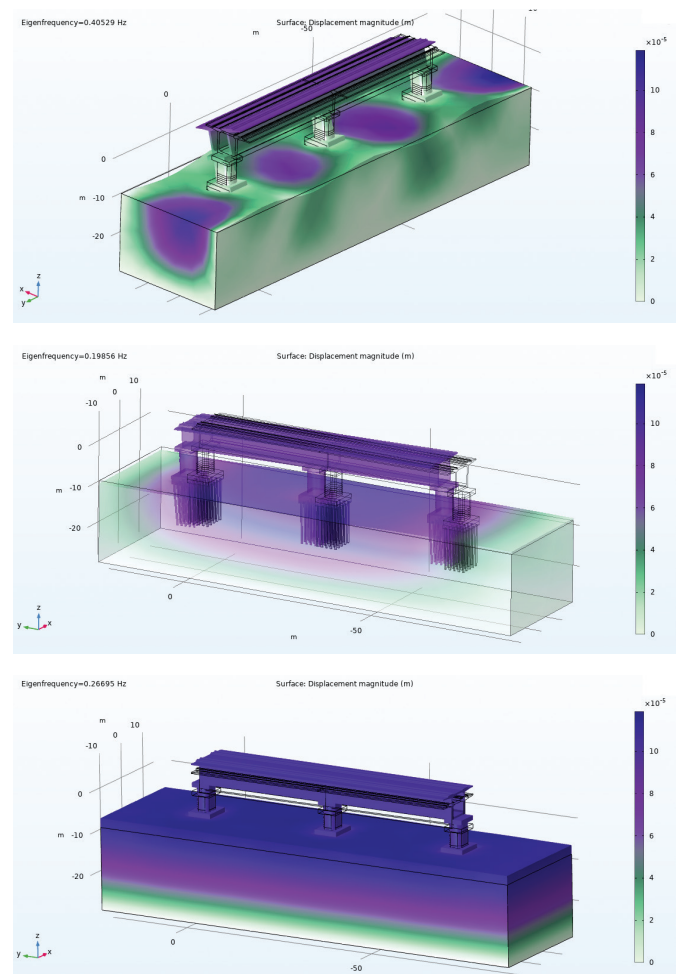


Рис. 9. Моды колебаний, соответствующие резонансным частотам участка эстакады по отведению: а – X ; б – Y ; в – Z

Значения массовых долей, участвующих в колебательном процессе

$f, \text{Гц}$	$m_{f,x} \text{ о. е.}$	$m_{f,y} \text{ о. е.}$	$m_{f,z} \text{ о. е.}$
0,1986	5,51E-10	0,683381	1,93E-08
0,2445	0,065018	6,96E-12	7,33E-07
0,2670	7,18E-08	7,99E-07	0,819875
0,2702	1,46E-08	0,023235	2,7E-05
0,2955	7,52E-10	4,92E-06	9,27E-05
0,3036	4,3E-08	0,000124	1,09E-07
0,3067	2,06E-09	2,04E-06	1,69E-05
0,3077	7,83E-07	1,57E-07	5,48E-09
0,3210	1,15E-05	1,07E-09	4,16E-08
0,3295	0,001053	7,04E-08	9,17E-08
0,3376	0,002467	2,58E-08	4,68E-09
0,3434	9,7E-07	4,79E-10	1,33E-07
0,3483	0,059922	2,29E-08	1,79E-11
0,3602	7,6E-07	0,002234	2,05E-06
0,3656	7,62E-05	2,75E-06	1,19E-11
0,3715	5,07E-06	3,21E-10	4,38E-06
0,3891	0,007102	6,17E-06	2,74E-07
0,3917	1,36E-05	0,03983	9,64E-08
0,3963	2,96E-07	6,41E-05	5,59E-05
0,4021	2,41E-06	3,2E-07	9,34E-10
0,4052	0,492406	3,78E-07	6,57E-09
0,4178	0,028587	3,82E-07	7,68E-09
0,4224	0,001266	1,2E-08	4,83E-08
0,4413	7,2E-05	3,22E-08	5,35E-13
0,4458	6,5E-07	2,38E-05	8,78E-07
0,4581	1,77E-07	1,68E-05	5,1E-07
0,4676	0,000294	9,07E-06	1,59E-05
0,4685	0,004158	1,54E-05	6,02E-07
0,4722	9,48E-06	0,000812	3,34E-07
Сумма	0,66247	0,74976	0,8201

Примечание: максимальные значения массовых долей, соответствующие резонансным частотам, выделены полужирным шрифтом.

На основе результатов исследования распределения удельной энергии системы выявлено, что интенсивность энергетических процессов, обусловленных наличием волновой и динамической нагрузок от движущегося поезда, имеет тенденцию к резкому снижению по мере распространения вглубь конструкции, что связано с процессами рассеяния энергии в толще опоры и эстакады. Таким образом, при данном типе сооружения динамическая нагрузка от набегающих волн при заданной интенсивности оказывает пренебрежимо малое влияние на деформацию и вибрации верхнего строения пути.

Выполненный модальный анализ колебаний конструкции позволил опреде-

лить резонансные частоты, которым соответствуют наибольшие значения масс, вовлеченных в колебательный процесс, т. е. обладающие высокой энергией деформации для отведения, Гц: $X - 0,4052$; $Y - 0,1986$; $Z - 0,2670$. Полученным модам колебаний при резонансных частотах соответствуют следующие амплитудные значения перемещений по отведению, мм: $X - 0,07$; $Y - 0,097$; $Z - 0,104$, что свидетельствует о высокой надежности выбранного варианта конструкции. 

Источники

1. Ватаев А. С., Ватулин Я. С., Кавказский В. Н. Моделирование динамического воздействия высокоскоростного подвижного состава на заглубленные со-

оружения тоннельного типа // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 6 (109). С. 72–84. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-6-9

2. Введение в COMSOL Multiphysics. URL: https://cdn.comsol.com/doc/6.0/IntroductionToCOMSOLMultiphysics.ru_RU.pdf (дата обращения: 14.03.2025).

3. Вериги М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / под ред. М. Ф. Вериги. М.: Транспорт, 1986. 559 с. URL: <https://lokomotiv.ru/zheleznodorozhnyy-put/vzaimodeystvie-puti-i-sostava.html> (дата обращения: 14.03.2025).

4. Ефимов С. В. Лабораторные исследования работы продольных бортов плиты балластного корыта железобетонных пролетных строений с ездой на балласте на действие горизонтальной нагрузки // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2016). Ростов н/Д: РГУПС, 2016. С. 44–48. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28342638> (дата обращения: 14.03.2025).

5. Лайрд Д. Конечно-элементный анализ для всех. Часть 2. URL: <http://sapr.ru/article/21944> (дата обращения: 14.03.2025).

6. Чернышев М. А. Практические методы расчета пути. М.: Транспорт, 1967. 235 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_4792595/ (дата обращения: 14.03.2025).

7. Шахуняц Г. М. Железнодорожный путь. М.: Транспорт, 1987. 479 с. URL: <https://vtome.ru/knigi/tehnika/453305-zheleznodorozhnyj-put-1987.html> (дата обращения: 14.03.2025).

8. COMSOL Multiphysics v 6.0 Reference manual. URL: https://doc.comsol.com/6.0/doc/com.comsol.help.comsol/COMSOL_ReferenceManual.pdf (дата обращения: 13.01.2025).

9. De Corte W., Van Bogaert Ph. The use of continuous high-frequency strain gauge measurements for the assessment of the role of ballast in stress reduction on steel railway bridge decks. // Insight – Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. 2006. Vol. 48. № 6. Pp. 352–356. DOI: 10.1784/insi.2006.48.6.352. URL: <https://www.ingentaconnect.com/content/bindt/insight/2006/00000048/00000006/art00007> (дата обращения: 10.04.2025).

10. Huan Feng. 3D models of Railway Track for Dynamic Analysis. URL: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:467217/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 14.03.2025).

Научно-методический подход к интеграции цифровых технологий в работу железнодорожных грузовых станций и примыкающих путей необщего пользования



О. В. Москвичев,
д-р техн. наук, директор
Института управления
и экономики Приволжского
государственного
университета путей
сообщения (ПривГУПС),



Е. Е. Москвичева,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технологии
грузовой и коммерческой
работы, станции и узлы»
ПривГУПС,



А. А. Грузд,
преподаватель
кафедры «Управление
эксплуатационной
работой» ПривГУПС

Одним из важнейших факторов, влияющих на бесперебойность взаимодействия железнодорожных станций и примыкающих путей необщего пользования, является обеспечение достаточного резерва перерабатывающей способности инфраструктуры общего и необщего пользования, задействованной в продвижении грузо- и вагонопотоков и выполнении грузовой работы.

За последние несколько лет произошли значительные структурные и технологические изменения в организации перевозочного процесса и подвода вагонов к местам выполнения грузовых операций, обусловленные санкционными и регуляторными ограничениями, создавшие на многих участках железнодорожных полигонов дефицит или фактическое заполнение пропускных и перерабатывающих мощностей [1]. Это повлияло на эксплуатационную надежность работы отдельных технических и грузовых станций сети железных дорог. Ухуд-

шение результативности работы станций и эффективности взаимодействия с примыкающими к ним путями необщего пользования вследствие высоких загрузок элементов путевого развития и технических устройств выражается: в необеспечении выполнения нормативов на технологическую обработку поездо- и вагонопотоков; нарушении интервалов времени между подачами или порядка подачи порожних или груженых вагонов к местам погрузки, выгрузки грузов; нарушении сроков уборки вагонов с грузовых фронтов; увеличении сроков оборота грузовых вагонов и др.

Перечисленные недостатки в технологических процессах взаимодействия станций с грузовыми фронтами приводят к увеличению сроков доставки грузов, в том числе к нарушениям их нормативных значений, и, как следствие, переориентации грузопотоков на конкурентоспособные виды транспорта.

На рис. 1 приведены отчетные объемы погрузки по основной номенклатуре грузов на РЖД за 2020–2024 гг. Представленная динамика свидетельствует о снижении количества погруженного груза на железнодорожном транспорте за пять лет на 63,2 млн т или 5,1 %.

Несмотря на снижение объемных показателей железнодорожных перевозок грузов, следует выделить основные

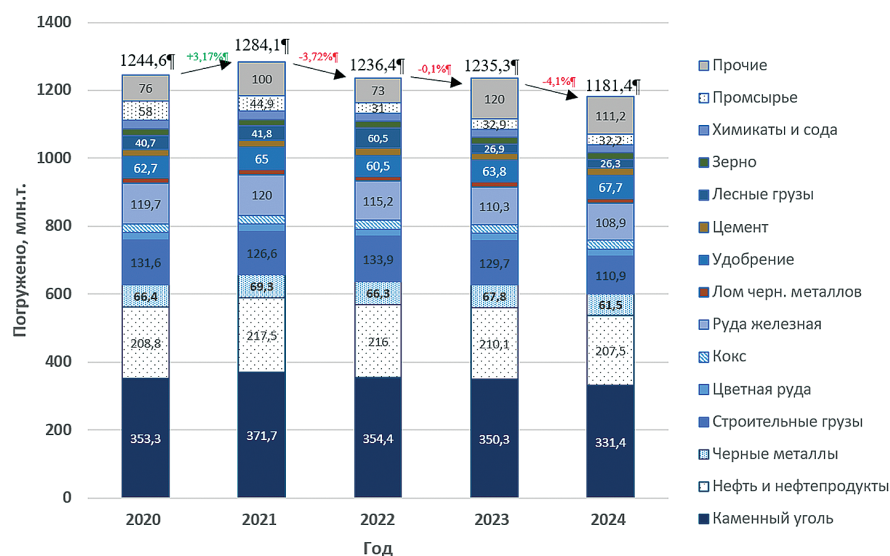


Рис. 1. Объемы погрузки основных родов грузов на сети железных дорог России за 2020–2024 гг., млн т

факторы, которые в перспективе будут способствовать росту грузовой базы:

- развитие портов юга России (в первую очередь морского торгового порта Тамань);
- усиление транспортно-экономических связей с Крымским п-ом;
- развитие международных транспортных коридоров;
- перераспределение существующих торговых и экономических связей России с другими странами, что повлечет изменение направлений товародвижения;
- рост российских производств различных отраслей промышленности.

Таким образом, структурные и технологические изменения в организации продвижения грузо- и вагонопотоков ставят перед участниками перевозочного процесса задачи по переоценке решений и системы управления под измененные, текущие и перспективные условия. Также следует отметить невозможность перестройки за короткий период перегонной и станционной инфраструктуры железнодорожного транспорта для устранения дефицита пропускных и провозных способностей.

Эти и другие факторы предопределяют для оптимизации производственных процессов станционной работы и взаимодействия станций с путями необщего пользования, повышения их результирующей перерабатывающей способности применение, наряду с типовыми организационно-технологическими решениями (рис. 2), цифровых технологий и сервисов, реализующих цифровую трансформацию ОАО «РЖД»^{1,2}.

Методика выбора наиболее целесообразных к внедрению типовых организационных и технико-технологических решений

В рамках концепции «Цифровая железнодорожная станция» (ЦЖС) [2] можно выделить множество цифровых организационных и технико-технологических решений, включающих комплекс программных (программное обеспечение ЦЖС) и технических средств

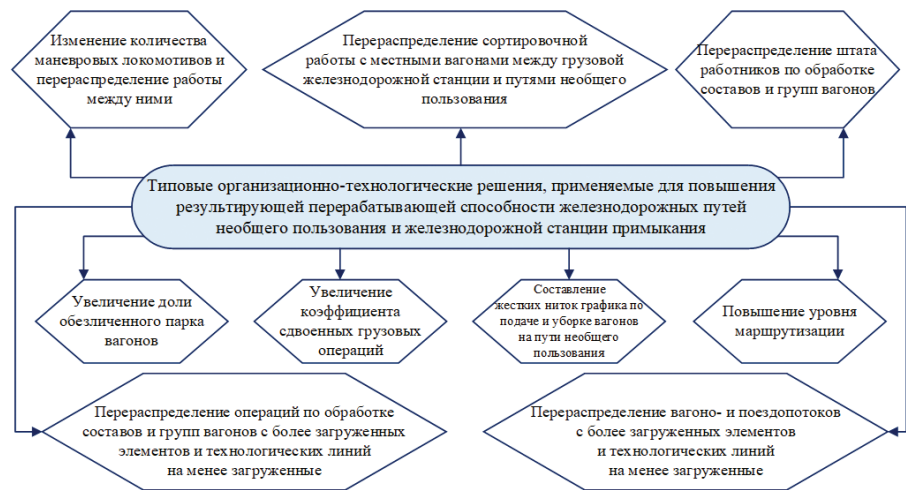


Рис. 2. Типовые организационно-технологические решения, применяемые для повышения результирующей перерабатывающей способности железнодорожных путей необщего пользования и станции примыкания

и устройств (инфраструктура ЦЖС) [2]³.

Основная задача программного обеспечения ЦЖС — осуществление автоматизированного процесса планирования и организации эксплуатационной и грузовой работы станции. Инфраструктура цифровой железнодорожной станции обеспечивает автоматическое исполнение операций технологического процесса на основе робототехнических комплексов.

Поэтому обусловленная необходимость внедрения цифровых технологий и сервисов для повышения надежности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов требует определения научно обоснованного методического подхода, позволяющего оценить влияние цифровизации производственных процессов на показатели работы железнодорожной станции и примыкающих путей необщего пользования для принятия решений по внедрению и/или интеграции наиболее целесообразных цифровых организационных и технико-технологических решений с учетом наиболее эффективного информационного и технологического взаимодействия, а также минимизации человеческих ресурсов.

С этой целью предлагается разработать методику выбора наиболее целесообразных к внедрению типовых организационных и технико-технологических решений, обеспечивающих цифровизацию единых производственных процессов грузовой железнодорожной станции (ГЖС) и примыкающих железнодорожных

путей необщего пользования (ПНП) с оценкой их влияния на показатели эксплуатационной и грузовой работы, имеющееся техническое оснащение инфраструктуры общего и необщего пользования, лимитирующие элементы в технологии организации и продвижения вагонопотоков.

Для разработки предлагаемой методики целесообразно разделить процесс на дискретные этапы, каждый из которых характеризуется набором четко определенных задач. Такой поэтапный метод обеспечит структурированный и целенаправленный подход к созданию эффективной методики.

• Первый этап (I) — проведение оценки эффективности взаимодействия ГЖС и примыкающих ПНП с выявлением лимитирующих элементов (операций) в технологии организации и продвижения вагонопотоков.

• Второй этап (II) — определение цифровых организационно-технических мероприятий для оптимизации технологических операций, вызывающих наибольшие задержки или задержки выше допустимых в технологии организации и продвижения вагонопотоков, гарантирующих повышение надежности транспортного обслуживания ПНП, на основе оригинального классификатора.

• Третий этап (III) — принятие решения по внедрению и/или интеграции наиболее целесообразных цифровых организационно-технических решений на основе многокритериального подхода (выбор наилучшего варианта), обеспечивающего максимальное снижение затрачиваемых ресурсов и окупаемость инвестиционных вложений.

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р.

² Распоряжение от 18 марта 2019 г. N 503/р «Об утверждении методики расчета перерабатывающей способности станции, во взаимодействии с перерабатывающими возможностями грузовых фронтов, мест общего и необщего пользования, на которых осуществляется грузовая работа».

³ Корниенко К. И. Цифровая железнодорожная станция.

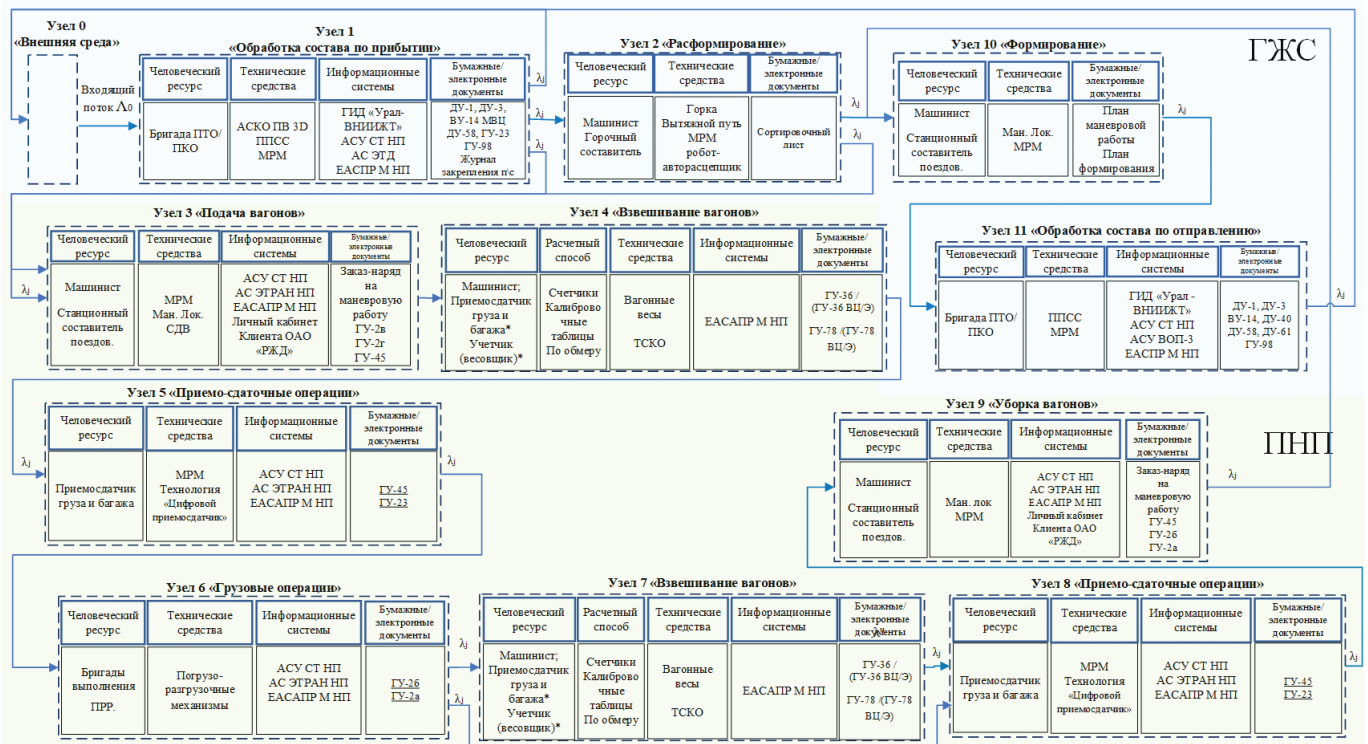


Рис. 3. Структурная схема сети массового обслуживания модели грузовой железнодорожной станции и путей необщего пользования

В рамках исследования рассмотрим I и II этапы. Для оценки параметров и описания функционирования ГЖС и ПНП требуется провести анализ процесса их взаимодействия. С этой целью выбран аналитический вероятностный метод, основанный на теории массового обслуживания.

Учитывая, что технология взаимодействия ГЖС и ПНП представляет собой сложный технологический процесс, представим ее как сеть массового обслуживания (СеМО), состоящую из нескольких узлов [3, 4]. Каждый из них будет представлять собой одноканальную систему массового обслуживания. Рассматриваемая модель взаимодействия ГЖС и ПНП будет состоять из следующих элементов.

Входящий поток заявок λ — количество прибывающих поездов на грузовую станцию, в дальнейшем данный поток разделяется на категории поездов по типу, длине, назначению плана формирования; — состав вагонов, переданных на/с ПНП.

Очередь — позволяет создать систему массового обслуживания с ожиданием. Заявка в данном случае не будет выходить из системы, а вставать в очередь в ожидании обслуживания. Ограничение количества заявок, которые будут находиться в очереди, определяется количеством путей в парках, выставочными путями, бригадами ПТО/ПКО, количеством приемосдатчиков груза и багажа и т. д.

Канал обслуживания — элемент узла, который определяет количество обслуживающих единиц в данной подсистеме: бригада ПТО, приемосдатчик груза и багажа, горка, маневровый локомотив и т. д. Выходящий поток заявок μ — количество отправленных поездов с грузовой железнодорожной станции.

Структурная схема СеМО модели ГЖС и ПНП представлена на *рис. 3* [5].

Отличительная особенность данной системы заключается в том, что модель ГЖС — ПНП учитывает как инфраструктурные, так и технологические аспекты в процессе взаимодействия ГЖС и ПНП. Инфраструктурная составляющая учитывает имеющееся путевое развитие, мощности грузовых фронтов. Технологическая составляющая подразделяется:

- на учет продолжительности выполнения операций с поездами или вагонами при имеющемся штате работников с использованием технических средств;
- использование информационных систем;
- использование учетных форм (оформление первичной документации в электронном виде с электронной цифровой подписью или на бумажном носителе).

Ввиду того, что данная СеМО является многофазной системой массового обслуживания, представляющая совокупность из 11 узлов, где каждая заявка проходит от одного узла к другому, зная интенсивность загрузки канала ρ , который выражает среднее число заявок за время обслуживания одной заявки, а, следовательно, или, можно получить предельные вероятности состояния каждой подсистемы рассматриваемого узла.

Состояния подсистем узлов 1–11 представлены на *рис. 4* и имеют нумерацию по числу заявок, которые находятся в данном узле. На этом рисунке интенсивность λ подразумевает поток событий, который иллюстрирует переход системы из одного состояния в другое. В то же время μ представляет собой интенсивность освобождения канала.

Значение S_0 предполагает, что канал свободен, и заявок в очереди нет. S_1 означает что канал занят, других заявок в очереди нет, S_2 — один канал занят, в очереди находится одна заявка, S_k — один канал занят, в очереди стоит $k-1$ заявок и т. д. S_m — один канал занят, в очереди стоит m заявок, т. е. все доступные места заняты, и новым заявкам будет отказано в обслуживании [5].

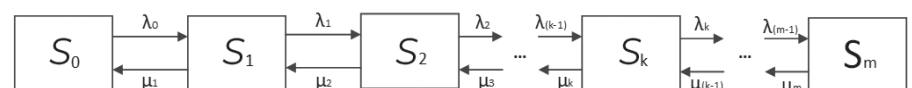


Рис. 4. Размеченный граф одноканальной системы узлов 1–11

Таблица 1. Результаты математического моделирования

Показатели	Узел 1	Узел 2	Узел 3	Узел 4	Узел 5	Узел 6	Узел 7	Узел 8	Узел 9	Узел 10	Узел 11	В среднем в одном узле	Всего
P , составов/ч	0,515	0,450	1,700	0,333	0,111	1,997	0,111	0,333	1,589	0,108	0,813	–	–
Λ , составов/ч	0,542	0,167	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,667	0,542	0,542	–	–
μ , составов/ч	1,053	0,370	0,392	2,000	6,000	0,334	6,000	2,000	0,420	5,000	0,667	–	–
$P_{отк}$, %	0,000	0,123	0,517	0,077	0,011	0,571	0,011	0,077	0,494	0,000	0,003	0,171	–
Q , %	1,000	0,877	0,483	0,923	0,989	0,429	0,989	0,923	0,506	1,000	0,997	–	0,829
A , заявок/ч	0,542	0,146	0,322	0,615	0,659	0,286	0,659	0,615	0,338	0,542	0,540	–	–
$P_{оч}$, %	0,265	0,123	0,517	0,077	0,011	0,571	0,011	0,077	0,494	0,012	0,656	0,256	–
$L_{обсл}$, состав	0,515	0,395	0,821	0,308	0,110	0,857	0,110	0,308	0,804	0,108	0,810	–	–
$L_{оч}$, состав	0,545	0,123	0,517	0,077	0,011	0,571	0,011	0,077	0,494	0,013	3,252	–	–
$L_{сист}$, состав	1,060	0,517	1,338	0,385	0,121	1,428	0,121	0,385	1,298	0,121	4,062	–	–
$t_{оч}$, ч	1,007	0,735	0,776	0,115	0,016	0,856	0,016	0,115	0,741	0,024	6,003	0,946	10,406
$t_{об}$, ч	0,950	2,369	2,383	0,462	0,165	2,800	0,167	0,462	2,383	0,200	1,500	1,258	13,840
$t_{сист}$, ч	1,957	3,104	3,159	0,577	0,181	3,656	0,183	0,577	3,124	0,224	7,503	2,204	24,246
N , ваг/сут	1390	448	323	1536	4608	590	4608	1536	323	1175	1680	–	323
$t_{оч}/t_{об}$, %	1,06	0,31	0,33	0,25	0,1	0,31	0,1	0,25	0,31	0,12	4,002	0,752	0,752

Примечания: P — приведенная интенсивность потока входящих заявок (трафик); λ — входящий поток; μ — выходящий поток; $P_{отк}$ — вероятность отказа заявке в обслуживании; Q — относительная пропускная способность системы; A — абсолютная пропускная способность системы; $P_{оч}$ — вероятность наличия в системе очереди заявок; $L_{обсл}$ — среднее число заявок, находящихся под обслуживанием; $L_{оч}$ — среднее число заявок, находящихся в очереди; среднее число заявок, находящихся в системе; $t_{оч}$, $t_{об}$, $t_{сист}$ — среднее время пребывания заявки в очереди, обслуживании, системе; N — перерабатывающая способность узла.

Вероятность того, что заявке будет отказано в обслуживании равна тому, что система находится в состоянии S_m , следовательно, $P_{отк} = p_m$ или $P_{отк} = p^m \frac{1-p}{1-p^{m+1}}$ [5]. Зная значение вероятности отказа, можно получить показатель относительной пропускной способности узлов Q . Данное значение характеризует вероятность того, что заявке не будет отказано в обслуживании, следовательно, относительная пропускная способность равна: $Q = 1 - P_{отк}$.

Зная относительную пропускную способность узлов, можно получить абсолютную пропускную способность A . Она характеризует среднее количество обслуженных заявок за единицу времени. Таким образом, абсолютная пропускная способность является произведением относительной пропускной способности Q и интенсивности потока заявок λ , т. е. $A = \lambda Q$ [5].

На примере обслуживания железнодорожного пути необщего пользования, обеспечивающего основные объемы выгрузки нефтегрузов на полигоне одной из российских железных дорог, рассмотрим применение разработанной математической модели. Результаты математического моделирования представлены в табл. 1.

Таким образом, согласно результатам математического моделирования, на основании теории массового обслуживания можно отметить, что в среднем одна за-

явка в системе ГЖС и ПНП обслуживается 24,1 ч, из которых 41,1 % она находится в ожидании. Вероятность отказа заявке в обслуживании в системе ГЖС и ПНП в среднем равна 0,14 %, а вероятность очереди — 0,22 %.

Если рассматривать данную систему отдельно по каждому узлу, то самая большая вероятность отказа в обслуживании приходится на узлы 3, 6 и 9. Вследствие чего можно сделать вывод, что они и являются барьерным местом рассматриваемой системы ГЖС и ПНП.

Внедрение цифровых технологий

Для исключения лимитирующих факторов, снижающих эффективность взаимодействия ГЖС и ПНП, предлагается рассмотреть внедрение цифровых технологий. Для обоснования выбора цифровых технико-технологических решений разработан классификатор, фрагмент которого с возможными вариантами [2, 6, 7] представлен в табл. 2.

Так, например, на основании разработанного классификатора типовых цифровых решений оцифровку технологических операций подачи/уборки вагонов на/с железнодорожных путей необщего пользования (узлы 3, 6) можно реализовать за счет внедрения модуля планирования и контроля отправления поездов, входящего в состав системы Цифровой железнодорожной станции.

Одна из функций модуля планирования и контроля отправления поездов обеспечит:

- формирование согласованного с клиентом пономерного плана подачи/уборки вагонов на смену, сут (с использованием системы суточного клиентского плана выгрузки);
- формирование оперативных заданий на исполнение плана эксплуатационной и грузовой работы станции работникам станционной и путей необщего пользования смены, диспетчерскому персоналу смены;
- автоматический контроль исполнения плана, оперативных заданий с использованием информации о технологических операциях, фиксируемых в АСУ СТ НП, оформленных в ней и АС ЭТРАН НП технологических документах и др.

Реализация предлагаемого модуля позволит сократить простой вагонов в ожидании подачи/уборки, непроизводительный простой маневровых локомотивов в ожидании заданий, своевременное обеспечение поездными локомотивами, вследствие чего повысится перерабатывающая способность станции и грузовых фронтов.

Учитывая в классификаторе варианты возможных типовых цифровых решений, предусмотренных для узлов взаимодействия системы ГЖС

Таблица 2. Фрагмент классификатора цифровых технико-технологических решений по повышению перерабатывающей способности грузовой станции¹

Элемент	Показатели	Технологическая операция	Цифровое решение	Технологический эффект при внедрении
Обработка состава по прибытии	%	Технический осмотр состава по приему	1.1. Интегрированный пост автоматического приема и диагностики подвижного состава	сокращение трудозатрат на выполнение технического и коммерческого осмотра; сокращение времени обработки состава по прибытии и др.
			1.2. Мобильное рабочее место осмотрщика вагонов	сокращение времени на заполнение документации по приему подвижного состава; сокращение времени на выполнение операций с вагонами и составами и др.
		Коммерческий осмотр состава по приему	1.3. Мобильное рабочее место бригады пункта коммерческого осмотра	
			1.4. Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКО ПВ) 3D	автоматизация операции по коммерческому осмотру состава по приему; повышение производительности труда за счет сокращения штата сотрудников и др.
			Автоматизированная система коммерческого осмотра «Смотровая вышка»	
		Анализ эксплуатационной работы станции и выработка предложений по распределению ресурсов	1.6.1. Модуль электронного документооборота	сокращение времени и трудозатрат на заполнение документов по приему; позволяет оперативно передавать документы всем причастным работникам станции без физического присутствия и др.
			1.6.2. Табло коллективного пользования	повышение эффективности принятия решений, связанных с управлением технологического процесса станции; снижение штата сотрудников ввиду малозадействованности персонала и др.
			1.6.3. Функциональный навигатор и др.	сокращение времени на принятие управленческих решений и распределение плановых задач персоналу, связанных с технологическим процессом работы станции; обеспечивает формирование полного цикла технических операций в соответствии с техническо-распорядительным актом (ТРА) станции в режиме реального времени и др.

¹ В связи с большим объемом табличных данных, полное представление таблицы в статье невозможно. Заинтересованные в подробностях читатели могут обратиться к авторам за дополнительной информацией.

и ПНП, в дальнейших исследованиях будет разработана математическая модель и алгоритм для принятия решений по внедрению и/или интеграции наиболее целесообразных из них на основе многокритериального подхода.

Таким образом, разработанные математическая модель, позволяющая дать оценку эффективности взаимодействия ГЖС и примыкающих ПНП с выявлением лимитирующих элементов (операций), и оригинальный классификатор, учитывающий возможные варианты цифровых технико-технологических решений для устранения наибольших задержек или задержек выше допустимых в технологии организации и продвижения вагонопотоков, позволят повысить эффективность организации работы грузовой станции во взаимодействии с примыкающими железнодорожными путями необщего пользования.

Кроме того, реализация рассмотренных этапов комплексной методики позволит перейти к научно обоснованному внедрению цифровых технологий на железнодорожных станциях, реализующих цифровую трансформацию производственных процессов, и повышению надежности обслуживания железнодорожных путей необщего пользования.

Источники

1. Ковалев К. Е., Значковская А. А. Анализ изменения логистических цепочек в период санкционной политики // Инновационная экономика и общество. 2024. Т. 2. С. 18–25.

2. Москвичев О. В. и др. Цифровые технологии в управлении перевозочным процессом: учебное пособие. Самара, 2023. 206 с.

3. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. СПб., 2009. 363 с.

4. Числов О. Н. Теоретические основы рационального размещения элементов железнодорожных промышленных транспортно-технологических систем: дис. д-ра техн. наук. М., 2009. 371 с.

5. Плескунов М. А. Теория массового обслуживания: учебное пособие. Екатеринбург, 2022. 264 с.

6. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Хишова А. А. Обзорный анализ реализации отечественных цифровых технологий в работе грузовых железнодорожных станций // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. Т. 2. С. 156–164.

7. Москвичева Е. Е. К вопросу практической реализации цифровизации грузовых станций // Наука и образование транспорта. 2022. Т. 1. С. 159–161.

Модель рисков несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения при регулярных городских перевозках



И. В. Моргунова,
соискатель кафедры
автомобильного
транспорта
Оренбургского
государственного
университета (ОГУ),



Н. В. Якунина,
д-р техн. наук, профессор
кафедры автомобильного
транспорта ОГУ,



В. В. Котов,
канд. техн. наук, доцент
кафедры автомобильного
транспорта ОГУ

Один из показателей качества перевозок пассажиров по регулярным городским маршрутам — несвоевременное прибытие пассажиров в пункт назначения — является пока недостаточно изученным. С использованием положений теории квалиметрии разработана модель рисков, вызывающих такой нежелательный эффект.

Пассажирский автомобильный транспорт оказывает большое влияние на социально-экономическое состояние общества. За последние годы федеральные, региональные и муниципальные власти уделяют много внимания этой отрасли: в рамках федеральных целевых программ обновляется парк подвижного состава (ПС), совершенствуется технологический и организационный базис деятельности, создаются приоритетные условия для регулярных перевозок. Вместе с тем ее современное состояние нуждается в постоянном совершенствовании. Одним из направлений остается повышение качества перевозок. Высокое качество оказываемых услуг способно повысить привлекательность транспорта общего пользования, обеспечить его устойчивое функционирование, повысить конкурентоспособность по отношению к другим способам удовлетворения транспортного спроса.

Риски несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения определяют качество услуг городского пассажирского автомобильного транспорта. Знание основных теоретических положений, направленных на уменьшение рисков, и создание на этой основе эффективных методик позволит значительно повысить предсказуемость рассматриваемого аспекта.

Основополагающими документами в области управления качеством продукции и услуг являются международные стандарты серии ИСО 9000, в частности, стандарт ИСО 9004, который рассматривает управление качеством услуг. В работе [1] адаптирована методология

этого стандарта к технологическим и организационным особенностям процесса перевозок пассажиров, представленная в виде петли качества, которую образуют процессы маркетинга, проектирования технологий, организации и управления перевозками и непосредственных перевозок, включая контроль их исполнения.

В работах [2, 3] изучен показатель качества перевозок — время движения маршрутного транспортного средства (ТС) по участку маршрута. Приведены результаты анализа факторов, определяющих привлекательность регулярных пассажирских перевозок по отношению к перевозкам легковыми автомобилями по индивидуальным маршрутам. Сделано заключение, что наибольшее влияние на выбор способа передвижения, кроме тарифа за проезд, оказывают временные характеристики корреспонденций — продолжительность поездки, минимальное время ожидания на остановочном пункте, минимальное время подхода к остановочному пункту, соблюдение расписания движения.

Исследования, представленные в работах С. А. Яценко [4, 5], посвящены уменьшению времени поездки в городском пассажирском транспорте за счет номинальной вместимости ПС. Разработана методика, определяющая необходимое количество маршрутных ТС по критерию минимальных суммарных затрат времени на поездки, определены зависимости средней дальности поездки пассажиров и скорости сообщения ТС разной вместимости от длины маршрута, которые позволяют распределять транспортный спрос между ПС разной вместимости на регулярных маршрутах.

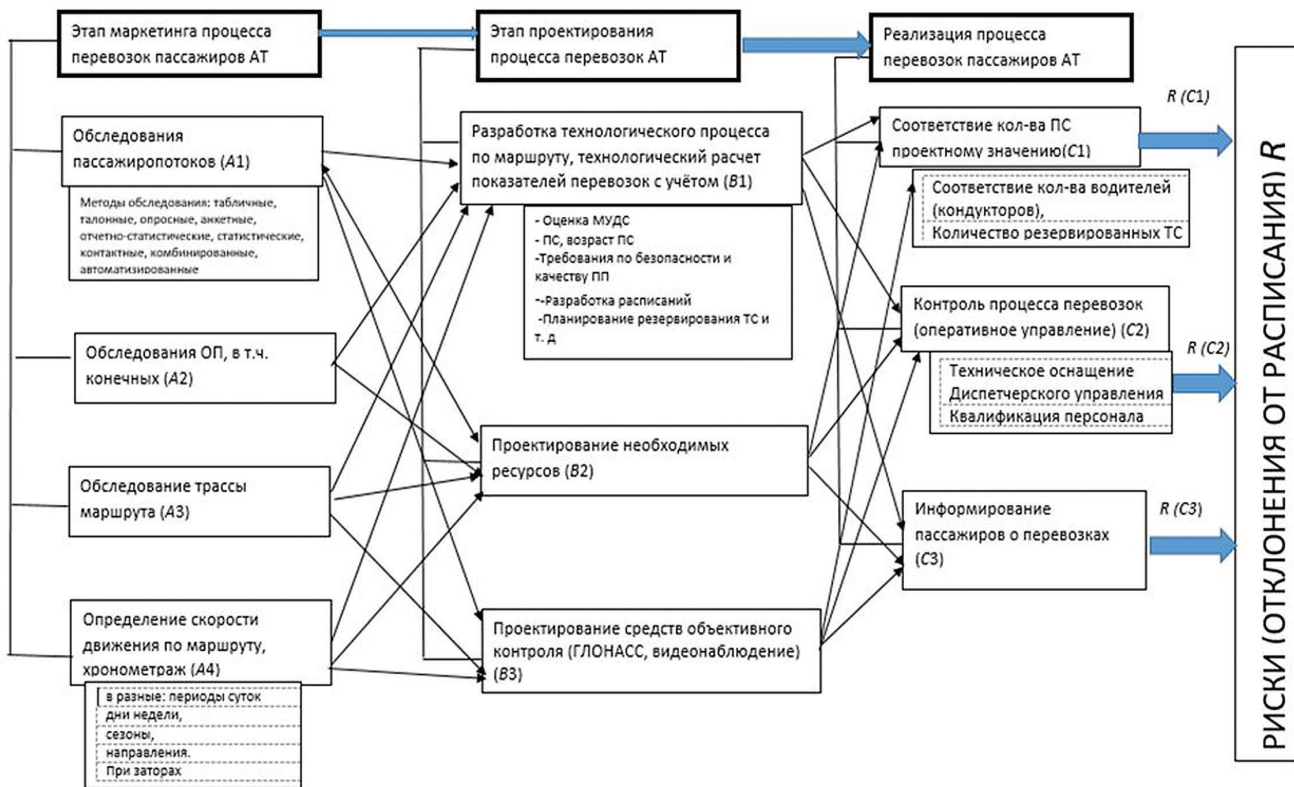


Рис. 1. Схема модели рисков несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения при регулярных городских перевозках (разработана авторами)

В работе [6] определены влияния технико-эксплуатационных факторов на результирующие показатели качества обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава. Получены количественные оценки влияния факторов между собой, используемых в процессе перевозок: количество автобусов на маршруте, длина маршрута, время оборота, время простоя на конечных пунктах, допустимое отклонение от расписания, время работы водителей, нулевой пробег всех автобусов.

Влияние показателя затрат времени пассажиров на восприятие комфортабельности поездки изучены в работе [7]. К таким показателям авторами отнесены время в пути и коэффициент наполнения (коэффициент использования вместимости) автобуса. Определены граничные значения времени в пути при различных состояниях комфортности и значениях коэффициента использования вместимости. Проанализирована чувствительность для оценки уровня комфорта стоящих пассажиров при различных факторах, влияющих на время в пути. В работах Л. Эболи и Г. Маццулла [8, 9] изучено влияние пассажиропотоков на выбор способа передвижения, рассмотрены два уровня наполненности автобусов: переполненный и непереполненный.

Представленный анализ исследова-

ний свидетельствует о глубокой изученности проблемы повышения качества перевозок пассажиров. Однако среди приведенных работ и большого количества трудов, не приведенных в настоящем анализе, не удалось встретить исследования качества перевозок по обобщающему показателю несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения при регулярных городских перевозках. Кроме того, отсутствуют работы, направленные на предотвращение появления такого негативного явления, оценку рисков его возникновения.

Целью настоящей работы является разработка инструментария для оценки рисков несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения при регулярных городских перевозках.

Для определения влияния составных частей системы на ожидаемый результат возможно применение различных методов, одним из которых является метод анализа иерархий [10]. Он приемлем для решения многокритериальных задач в сложной обстановке с иерархическими структурами.

С использованием дедуктивной логики строятся тщательно осмысленные логические цепочки для того, чтобы объединить различные умозаключения. Метод анализа иерархий является

замкнутой логической конструкцией, обеспечивающей с помощью простых правил анализ сложных проблем во всем их разнообразии и приводящей к наилучшему результату. Также применение метода позволяет включить в иерархию все имеющиеся по рассматриваемой проблеме знания.

Основываясь на результатах адаптированной к пассажирским автомобильным перевозкам методологии управления качеством [1], разработана схема модели рисков несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения при регулярных городских перевозках (рис. 1). Риски такого запаздывания формируются в процессе подготовки и осуществления перевозок, которые относятся к этапам: маркетинга процесса перевозок; проектирования перевозок; реализации перевозок.

Этап маркетинга включает:

- A1 — обследование пассажиропотоков; определение скорости движения ТС для разных периодов суток, дней недели (будние, субботние, воскресные дни), сезонов года, направлений движения, движения при заторах. Методы обследования могут различаться по способу проведения; анкетные, отчетно-статистические, натурные (силуэтные, опросные, талонные, табличные, визуальные), автоматизированные (контакт-

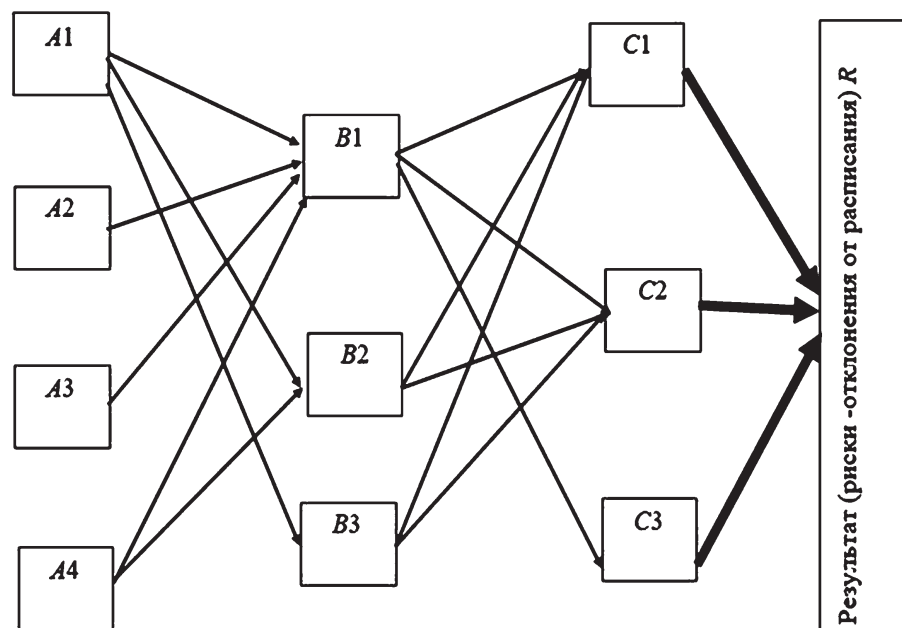


Рис. 2. Иерархическая структура влияния составных частей системы подготовки и реализации процесса перевозок на риски R несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения (разработана авторами)

ные, косвенные, бесконтактные, комбинированные) обследования; по степени охвата; сплошные и выборочные обследования; по длительности проведения: разовые и систематические; автоматизированные, характеризующиеся различной степенью точности.

- A_2 — обследование остановочных пунктов, включая конечные, на предмет оценки пропускной способности и безопасности.

- A_3 — обследование маршрутной улично-дорожной сети для оценки условий безопасности, а также условий движения.

- A_4 — определение скорости движения в различных условиях (по сезонам года, климатическим условиям, дням недели, времени суток, направлениям движения и т. д.).

Этап проектирования включает:

- B_1 — разработку технологического процесса перевозок с учетом оценки состояния маршрутной улично-дорожной сети, наличия ПС определенной номинальной вместимости; технологический расчет процесса перевозок (количество и вместимость ПС, определение интервалов движения по часам суток и дням недели, разработка расписаний движения ТС) с учетом требований, предъявляемых к их качеству.

- B_2 — определение необходимого количества ресурсов, включающего персонал и его квалификацию; материальные ресурсы (топливо, расходные материалы, запасные части и др.).

- B_3 — проектирование средств активного контроля (ГЛОНАСС, видеонаблюдение), позволяющих контролировать в удаленном режиме процесс перевозки, оплату проезда и другие средства.

- Этап реализации процесса перевозок включает:

- C_1 — осуществление процесса перевозок с соблюдением рассчитанных показателей в части: ПС, в том числе за резервированных ТС; водителей (кондукторов), персонала, материальных ресурсов и др.

- C_2 — диспетчерское управление и осуществление контроля за процессом перевозок.

- C_3 — информационное обеспечение о маршруте на остановочных пунктах, своевременное информирование о движении ТС по маршруту.

Результат выполнения каждым маршрутным транспортным средством расписания движения является функцией рассмотренных процессов. Используя процессный подход, при котором существует вложенность этапов жизненного цикла процесса перевозок пассажиров, модель (рис. 1) преобразована в структуру в виде трехуровневой иерархии (рис. 2), т. е. системы зависимых или наслаиваемых уровней, каждый из которых состоит из некоторых факторов.

Неравномерность влияния составных частей приводит к необходимости определения приоритетов их влияния на риски. Определение приоритетности факторов низшего уровня относительно

цели может быть сведено к последовательности решения задач определения приоритетов для каждого уровня, а каждая такая задача — к последовательности попарных сравнений.

Сравнения остаются основными составляющими, даже если исходная задача осложнена условиями обратной связи между различными уровнями или факторами [10]. Эта задача решена с помощью метода анализа иерархий, разработанного Т. Саати. Он основан на составлении квадратной матрицы и попарном сравнении составных частей в каждом уровне.

В результате проведенных решений получены следующие зависимости рисков:

$$R(A) = 0,571A_1 + 0,064A_2 + 0,133A_3 + 0,232A_4;$$

$$R(B) = 0,65B_1 + 0,25B_2 + 0,1B_3;$$

$$R(C) = 0,61C_1 + 0,29C_2 + 0,1C_3;$$

После проведения процедуры нормирования получена математическая модель рисков несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения:

$$R = 0,19A_1 + 0,021A_2 + 0,044A_3 + 0,077A_4 + 0,217B_1 + 0,0833B_3 + 0,203C_1 + 0,097C_2 + 0,034C_3$$

Учитывая различные значения весовости факторов, влияющих на риск несвоевременного прибытия в пункт назначения, с использованием метода Парето определены наиболее значимые из них (рис. 3).

Таким образом, разработана модель рисков несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения при регулярных городских перевозках. Модель содержит три уровня: маркетинг процесса перевозок; проектирование процесса перевозок; реализацию процесса. В результате моделирования установлены процессы, наиболее (в совокупности 80%) влияющие на риски несвоевременного прибытия пассажиров к месту назначения (по мере убывания): разработка технологического процесса перевозок,

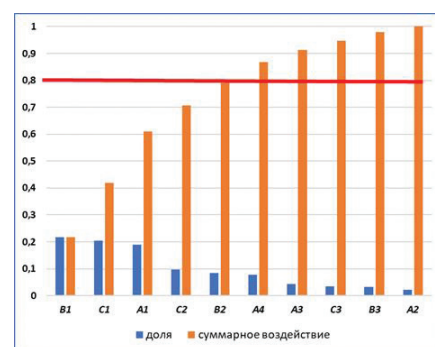


Рис. 3. Диаграмма Парето для определения наиболее значимых процессов подготовки и осуществления перевозок

технологический расчет показателей перевозок, соответствие количества подвижного состава проектному значению при перевозках, обследование пассажиропотоков, контроль процесса перевозок, проектирование необходимых ресурсов.

Практическая значимость работы состоит в разработанном инструментарии повышения качества перевозок на основе предотвращения нежелательных результатов не только по изученному показателю, но и по другим. Направления дальнейших исследований связаны с оценкой состояния наиболее весомых частей рассматриваемой системы и уточнения их влияния на риски несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения. 

Источники

1. Якунина Н. В. Методология повышения качества перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам: монография. Оренбург: Университет, 2015. 262 с.
2. Нестеренко Д. Х., Якунина Н. В., Арсланов М. А. Факторный анализ направлений повышения активности использования городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник МГТУ, 2018. Т. 21. № 4. С. 533–540.
3. Нестеренко Д. Х., Якунина Н. В. Исследование мотивирующих факторов выбора способа передвижения в структуре городских пассажирских перевозок // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. научн. техн. конф. Тюмень: ТюмГНГУ, 2017. С. 507–511.
4. Яценко С. А. Классификация автобусных транспортных средств в системе городского пассажирского транспорта // Вестник ИрГТУ. 2011. № 10 (57). С. 138–143.
5. Яценко С. А., Колганов С. В. Маркетинговые исследования спроса на рынке пассажирских транспортных услуг в г. Иркутске // Вестник ИрГТУ. 2012. № 5 (64). С. 122–128.
6. Матанцева О. Ю., Аредова А. К., Щеголева И. В. Исследование влияния факторов на качество обслуживания пассажиров и эффективность использования подвижного состава // Мир транспорта. 2022. № 20(4). С. 98–104.
7. Xianghao Shen, Shumin Feng, Zhenning Li et al. Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in-vehicle time. 2016. № 5. 62 с. DOI: 10.1186/s40064-016-1694-7
8. Eboli L., Mazzula G. A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view // Transp Policy. 2011. № 18. С. 172–181.
9. Eboli L., Mazzulla G. Service quality attributes affecting customer satisfaction for bus transit // J Public Transp. 2007. № 10(3). С. 21–136.
10. Saaty T. L., Vargas L. G. Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. New York: Springer Science+Business Media, 2001. 333 p.



Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Основные сферы:



Сходства и различия базовых подходов к вопросам взаимодействия колеса и рельса на отечественных и иностранных железных дорогах



А. Н. Антропов,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
«Вагоны» Уральского
государственного
университета путей
связи (УрГУПС),



Т. А. Антропова,
доцент кафедры
«Проектирование
и эксплуатация
автомобилей»
УрГУПС,



К. М. Колясов,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
«Вагоны» УрГУПС

В основе движения поезда по железной дороге лежит взаимодействие колес с рельсами. Именно физическая суть качения колеса по рельсу во многом определяет важнейшие технические и экономические параметры перевозочного процесса, скорость поездов и безопасность их движения.

В России, как и в других ведущих железнодорожных державах, регулярно проводятся семинары, симпозиумы и конференции по вопросам взаимодействия колес и рельсов. При этом в эксплуатации иностранных и российских железных дорог есть много существенных отличий, серьезно влияющих на подходы к решению задач контакта рельса с колесом и методы их оценивания.

1. За рубежом движение поездов зачастую осуществляется по однопутным специализированным линиям. В России же основные магистрали, как правило, выполнены сразу в виде двухпутных участков и рассчитаны на высокую грузонапряженность [1]. Однопутные линии задействованы в основном на менее загруженных направлениях. Поэтому на железных дорогах других стран параметры пути и технология его содержания устанавливаются в зависимости от конкретного типа подвижного состава, эксплуатирующегося на той или иной линии [2]. При этом наблюдается значительное разнообразие динамических характеристик, так как параметры пути могут не совпадать на разных линиях одного государства [3].

Даже в случае использования одних и тех же железнодорожных путей и для пассажирских, и для грузовых перевозок применяются однопутные участки. Если же рассматривать применение двухпутных линий, то они обустроены по габаритам однопутных (за исключением европейских железных дорог).

Данный принцип построения и эксплуатации путевой инфраструктуры при всех его технико-экономических недостатках сводит к минимуму вероятность попадания поезда на другой путь при его сходе с рельсов. В свою очередь это фактически исключает ситуацию столкновения с ним поезда, движущегося по соседнему пути.

Эти отличительные инфраструктурные особенности позволяют большинству иностранных государств устанавливать на своих железных дорогах менее жесткие требования к устройству и содержанию пути по сравнению с железными дорогами РФ и руководствоваться исключительно экономическими критериями оценки безопасности движения.

2. Обязательно следует учитывать существенные (иногда принципиальные) различия в конструкции тележек грузовых вагонов, эксплуатирующихся на железных дорогах, несмотря на применение одинакового термина, описывающего их структуру, — «трехэлементная». Выпускающиеся отечественными заводами тележки на базе модели 18–100 являются бесвязевыми со свободно устанавливаемыми колесными парами в рельсовой колеи. Считается, что обусловленные такой конструкцией горизонтальные перекосы боковых рам тележки не увеличивают воздействие колес на рельсы, а, наоборот, уменьшают угол набегания в кривых. Однако в противовес этой теории существуют и альтернативные точки зрения.

У грузовых вагонов, эксплуатирующихся за рубежом, в частности, в США,

боковые рамы тележки обычно жестко связаны между собой [4]. В этом случае радиальное положение колес относительно рельсов при движении в кривых обеспечивается применением в конструкции тележки дополнительных устройств принудительной установки колесных пар. Кроме того, в тележках иностранного производства более широко применяются различные буксовые адаптеры, которые зачастую выполняют функцию первичной ступени подвешивания, а также повышают жесткость боковин и связанность тележки. При этом тип и параметры адаптеров обусловлены грузоподъемностью конкретной модели вагона и другими его характеристиками.

3. Снижение удельного сопротивления движению и повышение ресурса рельсов и колес во многом определяется согласованностью профилей этих двух тел в зоне контакта [5]. На сети дорог России наблюдается значительное различие в подходах к применению профилей катания между локомотивным и вагонным хозяйствами.

Если локомотивщики используют свои профили бандажей, которых насчитывается несколько (наиболее часто применяющиеся — ДМЕТипР и профиль по ГОСТ 11018), то у вагонников принят единый профиль поверхности катания колеса, отличающийся от большинства профилей бандажей локомотивов.

При этом нельзя назвать его идеальным — работы по разработке и переходу к оптимальным конформным профилям потенциально способны увеличить ресурс колесных пар в несколько раз. В этом отношении необходимо признать достижения зарубежных железнодорожных компаний: полный переход к конформным профилям, а также широкое применение литых «одноразовых» колес (не подлежащих обточке в течение всего периода жизненного цикла), в частности, на дорогах Северной Америки, можно считать значительным продвижением в оптимизации взаимодействия рельсов и колес.

Несмотря на имеющиеся отличия в конструкции, технологиях эксплуатации, технического обслуживания подвижного состава и содержания инфраструктуры, ведущие специалисты России и ряда зарубежных стран сходятся во мнениях относительно определения основных задач в области контактирования рельсов и колес, а также в путях их решения [6–10]. Вот несколько общих, базовых принципов:

В процессе движения из-за неровностей пути и геометрических параметров колес на поезд действуют вертикальные и поперечные ускорения. Учитывая высокие нагрузки, передающиеся от элементов подвижного состава на рельсы, материалы рельса и колеса должны обладать высокой прочностью для обеспечения сопротивления динамическим реакциям в зоне контакта.

Необходимо учитывать неизбежное появление усталостных дефектов в зоне контакта [11]. Вероятность их возникновения и скорость развития должны быть как можно более низкими, чтобы своевременно выявлять такие дефекты и тем самым устранять угрозы для эффективности перевозочного процесса и безопасности движения поездов.

С целью обеспечения безопасности требуется постоянное улучшение технологии контроля технического состояния элементов инфраструктуры и подвижного состава с реализацией как конечной цели непрерывного их мониторинга в режиме реального времени в течение всей эксплуатации железных дорог и подвижного состава.

Улучшение характеристик пути (шпал и рельсовых скреплений, основания и балласта), а также усовершенствование колес и ходовых частей (включая рессорное подвешивание) подвижного состава необходимо проводить на основе комплексных всесторонних исследований, включающих в себя расчеты, моделирование и натурные эксперименты. Ярким примером может служить вопрос повышения твердости рельсов и колес [12], когда применение одностороннего подхода приводит к увеличению хрупкости металла и, соответственно, повышенному образованию трещин как в колесе, так и в рельсе.

В зоне контактирования рельса и колеса необходимо обеспечить одновременное выполнение двух противоречащих условий: с одной стороны, сцепление колес с рельсами должно быть максимально высоким, чтобы эффективно реализовать силы тяги и торможения, с другой, — трение в зоне контакта должно быть минимальным, чтобы обеспечить наименьшее сопротивление качению и минимизировать износ поверхностей в случае их скольжения относительно друг друга. Поскольку в качестве материалов контактирующих тел используется металл, обладающий минимальным демпфированием, то контакт «сталь по стали» позволяет по сво-

им характеристикам свести к минимуму деформации и колеса, и рельса при их взаимодействии.

Все перечисленные базовые тезисы сформированы по результатам исследований и опыта эксплуатации железных дорог России и других стран. Работы, направленные на улучшение материалов, конструкций, методов ремонта и технического обслуживания основаны на одних и тех же принципах. При этом сами направления исследований весьма разнообразны, что не зависит от принадлежности к тому или иному государству, а обусловлено главным образом специализацией (профилем исследований) тех или иных ученых и специалистов [13–17].

Еще одной особенностью контакта «сталь по стали» помимо низких демпфирующих характеристик и, как следствие, минимальной упругой деформации является незначительная по своим размерам площадь контактирования (что логично, учитывая параметры упругой деформации металла). В то время, как в автомобильном транспорте рост нагрузки влечет за собой увеличение размеров площадки контакта, на железных дорогах повышение нагрузки пропорционально увеличивает величину контактного напряжения.

Площадь контакта при этом увеличивается крайне незначительно и остается примерно равной площади небольшой монетки ($d = 12–13$ мм). Если рассматривать форму пятна контакта, то в идеальных условиях оно представляет собой эллипс, как показано на *рис. 1*.

В качестве примера можно рассмотреть грузовой поезд массой 10 тыс. т. Если допустить, что он состоит из груженных четырехосных вагонов с осевой нагрузкой 23,5 т/ось, то суммарная площадь поверхности контактирования колес с рельсами будет меньше 1 м^2 . Образно говоря, локомотив и более сотни нагруженных под завязку вагонов опираются на небольшой офисный стол размером $1,3 \times 0,7$ м. И это далеко не предел. Как показано на *рис. 1*, за счет объемного воздействия на металл колеса и рельса давления со стороны окружающих масс, он практически не имеет свободного направления для деформации. Как видно, «стрелки напряжения» направлены со всех сторон к элементам колеса и рельса, взаимодействующим между собой.

В результате металл оказывается в состоянии воздействия на него высокого объемного давления. Это можно охарактеризовать как «состояние объемного

напряжения» [18]. В данном положении металл рельса и колеса может выдерживать значительные нагрузки.

Физическая природа такого контактного взаимодействия открывает некоторые возможности дальнейшего прогресса. При совершенствовании конструкции рельсов и колес в части применения высокопрочных сталей возможна эксплуатация подвижного состава с осевыми нагрузками до 70 т и выше. Однако, рассматривая реальные условия эксплуатации, складывается совсем другая картина. На российских железных дорогах в настоящее время большинство вагонов имеет осевую нагрузку 23,5 т/ось. У некоторых так называемых инновационных вагонов она составляет 25 т/ось. При этом даже несмотря на относительно невысокие осевые нагрузки, взаимодействие колес с рельсами уже порождает в эксплуатации массу проблем.

Данное противоречие легко объясняется тем, что фактически условия идеального контакта (рис. 1) почти никогда не обеспечиваются при взаимодействии рельсов и колес в действительных условиях эксплуатации. Причины расхождения теории и практики различны, но можно выделить три самых распространенных фактора:

В зависимости от состояния пути и подвижного состава в результате их взаимодействия возникают различные по характеру и величинам динамические нагрузки, которые могут намного превосходить статические и, в свою очередь, служат причинами нарушения объемно-напряженного состояния рассматриваемой контактной пары вплоть до соударения колес с рельсами.

Идеальное объемно-напряженное состояние может быть нарушено силами трения, действующими поперек площадки контакта [19]. В этом случае напряжение в контактируемых поверхностях будет увеличиваться, но продолжать считать его объемным уже нельзя. Идиллическая картина также нарушается и при смещении контакта из центральной зоны, например, к краям поверхностей рельса (или, наоборот, смещается зона контакта на поверхности катания колеса).

Самым очевидным несовершенством реального взаимодействия рельсов и колес по сравнению с теоретическими идеальными условиями является фактическое пятно контакта. Размеры площадки контактирования практически никогда не совпадают с расчетными значениями, а сама форма пятна зачастую лишь отдаленно напоминает эллипс. Это объясняется тем, что в эксплуатации не встречается абсолютно новых, безупречных по своим геометрическим параметрам рельсов и колес (бандажей). В рассматриваемой паре «колесо — рельс» оба тела имеют отклонения от номинальных геометрических параметров, что приводит к значительному относительно проскальзыванию в зоне контакта. А это в условиях значительных объемных напряжений всегда приводит к ускоренному изнашиванию контактирующих поверхностей.

На рис. 2 в качестве причины динамических нагрузок показаны некоторые конструктивные и эксплуатационные факторы. Рельсовые стыки, волнообразный износ и другие дефекты (навары, ползуны, выщербины, деформации свар-

ного шва в соединении рельсов и пр.) приводят к повышенным динамическим (и зачастую ударным) нагрузкам [20].

К выкрашиванию металла головки рельса или появлению наклонных параллельных трещин может привести интенсивное контактное взаимодействие колеса в зоне основания гребня с рельсом в области рабочей выкружки (рис. 3). На этом примере показано, как изменение формы пятна контакта приводит к изменению объемно-напряженного состояния металла. В результате возникают повышенные контактные напряжения, которые приводят к появлению таких дефектов, как усталостные трещины и выкрашивание металла.

На рис. 4 показан вариант контактирования колеса с рельсом в зоне наивысшей точки его профиля. При таком контакте нельзя говорить об объемно-напряженном состоянии этих двух тел, так как металлу и рельса, и колеса есть куда смещаться под действием высоких контактных давлений.

Соответственно при превышении определенной величины напряжения упругая деформация перерастает в пластическую, а, значит, образуется такой дефект, как наплыв металла.

При вписывании ходовой части подвижного состава в рельсовую колею в кривых с определенными отклонениями от оптимальных параметров возможно возникновение поперечного проскальзывания колес. В результате микропроскальзывания поперечные силы (относительно площадки контакта) вызывают поверхностную и подповерхностную деформацию металла в зоне площадки контакта.

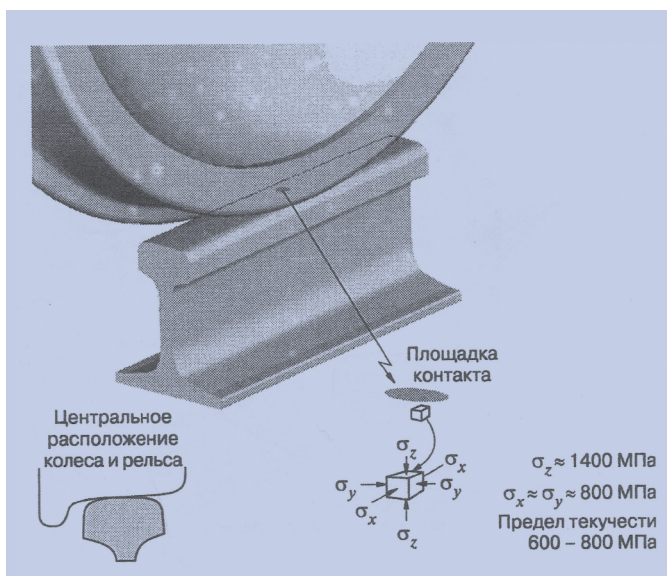


Рис. 1. Площадка контакта рельса с колесом

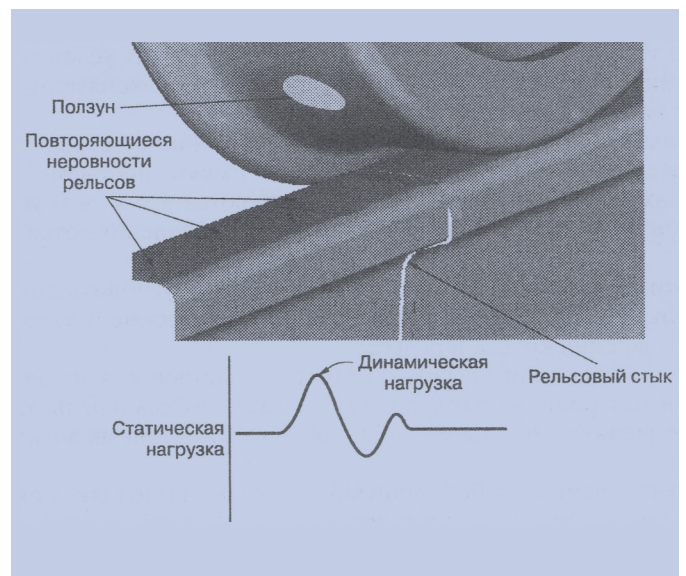


Рис. 2. Причины повышенных динамических нагрузок

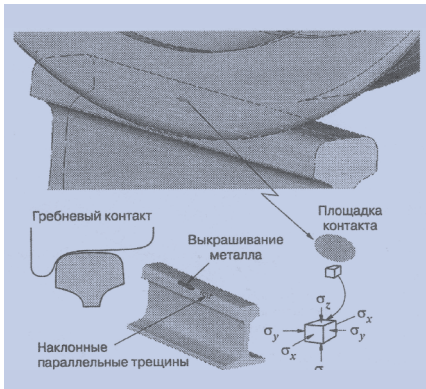


Рис. 3. Контактное взаимодействие колеса с рельсом в зоне основания гребня и выкружки

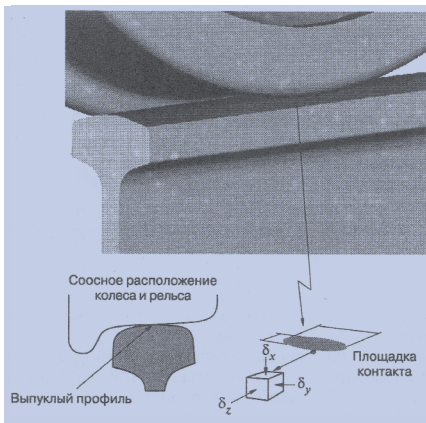


Рис. 4. Взаимодействие рельса с колесом в наиболее высокой точке профиля рельса

Изменение объемного напряженного состояния поверхностей приводит к пластической деформации и неравномерному износу поверхности катания колеса. Пластическая деформация рельса может выражаться в виде наплыва металла или же волнообразного износа рельсов, отличного по форме от наплыва, но имеющего ту же природу возникновения.

Таким образом, увеличение напряжений, переход от упругой деформации к пластической и, как следствие, возникновение контактно-усталостных дефектов в металле зачастую имеют общие причины: изменение формы площадки контакта или уменьшение ее размера.

Подводя итог анализа базовых подходов к вопросам взаимодействия рельсов и колес на отечественных и зарубежных железных дорогах, можно сделать вывод, что, несмотря на некоторые конструкционные, технологические и эксплуатационные различия, необходимость применения комплексного подхода к вопросам повышения эффективности и безопасности контактирования колеса с рельсом признается практически всеми ведущими организациями, институтами и специалистами мира.

При этом основные принципы взаимодействия рельсов и колес являются своего рода фундаментом, на котором необходимо выстраивать единую всеобъемлющую теорию контактирования.

Источники

1. Федорова В. И., Назаров И. В., Горский Д. В. Анализ состояния пути восточного полигона с применением цифрового грузового вагона V.1.0. в рамках оптимизации взаимодействия системы колесо-рельс // Сборник материалов конференции: II Международная конференция «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт». М., 2023. С. 275–283.
2. Huesmann H., Beck A. Система колесо-рельс с точки зрения путевого хозяйства // Железные дороги мира. 2005. № 10. С. 12.
3. Ehsan Evazzadeh. Influence of unsupported sleepers on the wheel-rail interaction // International Journal of Science and Engineering Applications. 2024. Pp. 40–43.
4. Kaiser I., Strano S., Terzo M., Tordela C. Anti-yaw damping monitoring of railway secondary suspension through a nonlinear constrained approach integrated with a randomly variable wheel-rail interaction // Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. Vol. 146. P. 107040.
5. Molatefi H., Mazraeh A., Shadfar M., Yazdani H. Advances in Iran railway wheel wear management: a practical approach for selection of wheel profile using numerical methods and comprehensive field tests // Wear. 2019. Vol. 426–427. Pp. 97–110.
6. Гаврилов Б. И., Воробьев А. А. Анализ исследований в области взаимодействия пары «колесо-рельс» // Сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции «Инноватика в современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития». Уфа, 2023. С. 228–236.
7. Scherbak P. N., Shapovalov V. V., Boiko N. I. et al. Interaction conditions improvement in the system «wheel-rail» // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. № 23. Pp. 11442–11447.
8. Сосновский Л. А., Сенько В. И. Проблема колесо – рельс с позиций трибофатики // Железнодорожный транспорт. 2007. № 3. С. 38–44.
9. Keropyan A., Gorbatyuk S., Gerasimova A. Tribotechnical aspects of wheel-rail system interaction // International Conference on Industrial Engineering (ICIE

2017). 2017. Pp. 564–569. (Procedia Engineering).

10. Никитин Д. Н., Новачук Я. А. Анализ механизма взаимодействия системы «колесо-рельс» // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2015. № 2 (4). С. 26–29.
11. Butini E., Marini L., Meacci M. et al. An innovative model for the prediction of wheel-rail and rolling contact fatigue // Wear. 2019. Vol. 436–437. P. 203025.
12. Канаев А. Т., Молдахметова А. Е., Богомоллов А. В. Оптимальное соотношение твердостей колесной и рельсовой стали, обеспечивающее минимальный износ пары трения «колесо-рельс» // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. № 8. С. 631–636.
13. Новачук Я. А., Никитин Д. Н., Тепляков А. Н., Коблов П. В. Актуализированная теория скорости взаимодействия колес с рельсами // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2019. № 1 (18). С. 16–23.
14. Six K., Meierhofer A., Müller G., Dietmaier P. Physical processes in wheel-rail contact and its implications on vehicle – track interaction // Vehicle System Dynamics. 2015. Vol. 53. № 5. Pp. 635–650.
15. Оптимизация взаимодействия колес с рельсами // Железные дороги мира. 2020. № 10. С. 76–80.
16. Филиппов О. К. Проблема колесо-рельс: нерешенные вопросы // Путь и путевое хозяйство. 2008. № 6. С. 8–9.
17. 红军 刘. Influence of wheelset elastic vibration mode order on wheel-rail dynamic interaction of heavy-haul freight wagon // Dynamical Systems and Control. 2021. Vol. 10. № 02. Pp. 106–119.
18. Щербakov С. С., Насань О. А. Напряженно-деформированное состояние и объемная повреждаемость в окрестности контактного взаимодействия в трибофатической системе колесо/рельс с учетом неконтактного деформирования рельса // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. 2016. № 1 (32). С. 234–247.
19. Zambrano O. A., Tressia G., Souza R. M. Failure analysis of a crossing rail made of hadfield steel after severe plastic deformation induced by wheel-rail interaction // Engineering Failure Analysis. 2020. Vol. 115. P. 104621.
20. Мещерякова А. Р., Цуканов И. Ю. Влияние смятия в зоне сварных стыков рельсового пути на контактное взаимодействие в системе «колесо-рельс» // Трение и износ. 2022. Т. 43. № 2. С. 192–201.

Снижение вредного воздействия морского транспорта на окружающую среду: проблемы и пути решения



В. Ю. Ланцева,
канд. юрид. наук, доцент
кафедры публичного
права Института
морского транспортного
менеджмента, экономики
и права Государственного
морского университета
имени адмирала
Ф. Ф. Ушакова

Ключевым потребителем углеводородного сырья на мировом рынке выступает транспортный сектор. Следствием неконтролируемого потребления нефтепродуктов стало катастрофическое загрязнение окружающей среды токсичными веществами и выбросами парниковых газов.

Сжигание топлива в транспорте дает около 15 % всех выбросов парниковых газов. Первое место в структуре их распределения в России занимает автомобильный транспорт — 61 %. Порядка 27 % приходится на трубопроводный транспорт, 5 % — на авиатранспорт, 3 % — на железнодорожный, 1 % — на водный транспорт¹. Общемировая статистика несколько отличается: снижается процент выбросов от трубопроводного транспорта, и увеличивается доля остальных, например, на морской приходится около 9 % [1].

Снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду имеет в современной транспортной политике одно из приоритетных значений. Сформировался ряд тенденций, направленных на снижение экологической нагрузки, вызванной развитием транспортных систем [2]. Часть из них нашла отражение в Транспортной стратегии РФ.

Во-первых, это тенденция перевода транспортных средств на альтернативные, экологически чистые виды топлива и источники энергии (биодизельное и водородное топливо, сжиженный природный газ, метанол, электрическая энергия) [3]. Например, применение СПГ способствует снижению выбросов CO₂ более чем в два раза, а задымленности — в девять раз [4].

Во-вторых, система экологически устойчивого транспорта [5], которая подразумевает достижение унифицированных общемировых целей в отношении здоровья людей и защиты окружающей

среды. Данная концепция должна быть подробно разработана и закреплена в отдельном стратегическом документе долгосрочного планирования на основе моделирования сценариев применения комплекса мероприятий, направленных на поступательное сокращение, а впоследствии — полное прекращение вредного воздействия транспорта на окружающую среду [6].

В-третьих, решение экологических проблем с помощью применения искусственного интеллекта, использование которого позволяет существенно снизить негативное воздействие транспортных процессов на экологическую обстановку. Например, системы автоматического управления движением транспортных средств позволяют оптимизировать их энергопотребление, снижая расход топлива, что ведет к сокращению выброса отработавших газов.

Понятие и классификация загрязнения окружающей среды морским транспортом

Морской транспортный сектор обеспечивает порядка 80 % международной торговли [7]. При этом спектр его негативного воздействия на окружающую среду достаточно велик и включает в себя выбросы отработавших газов, сброс сточных вод, аварийные разливы нефти, повышенный уровень шума, загрязнение морской среды чужеродными биологическими видами и др.

В Конвенции по морскому праву 1982 г. загрязнение морской среды определяется как привнесение человеком прямо или косвенно веществ или энергии в морскую среду, включая эстуарии, которое приводит или может привести

¹ Распоряжение правительства РФ от 27.11.2021 г. № 3363-р (ред. от 06.11.2024 г.) «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

к пагубным последствиям: вреду живым ресурсам и жизни в море, опасности для здоровья человека, созданию помех для деятельности на море, в том числе для рыболовства и других правомерных видов использования моря, снижению качества используемой морской воды и ухудшению условий отдыха.

Протокол о сотрудничестве в борьбе с загрязнением морской среды Черного моря нефтью и другими вредными веществами в чрезвычайных ситуациях содержит аналогичное понятие загрязнения морской среды.

Отечественное законодательство закрепляет легальное определение загрязнения в Федеральном законе «Об охране окружающей среды», где под загрязнением следует понимать поступление в окружающую среду вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых негативно воздействует на окружающую среду, т. е. наносящее экологический вред. Таким образом, оно сужает случаи отнесения к загрязнениям в сравнении с международной формулировкой, ограничиваясь непосредственным нанесением ущерба окружающей среде и исключая из данной категории потенциальную возможность нанесения такого ущерба, а, следовательно, нуждается в доработке.

Загрязнение морской среды вследствие эксплуатации морского транспорта можно классифицировать на физическое, механическое, биологическое и химическое. Под физическим загрязнением применительно к морскому транспорту следует понимать термическое, световое, шумовое, вибрационное, электромагнитное.

Термическое загрязнение от морских судов представляет собой изменение температуры окружающей среды вследствие выбросов в нее охлажденных или нагретых газов и вод.

Световое загрязнение заключается в изменении нормальной освещенности гидросферы, что вызывает сбой биоритмов гидробионтов, возрастание мутности морской воды.

Шумовое загрязнение происходит из-за того, что морские суда производят шум, распространяющийся на значительное расстояние, нанося ущерб гидробионтам, ориентирующимся на звук больше, чем на зрение. Источниками шума могут выступать судовые энергетические установки, ходовые винты и др.

Вибрационное загрязнение является следствием перемещения судов, в про-

цессе которого возникают вибрации и волны, способные привести к уничтожению водных организмов. Ориентация гидробионтов с помощью зрения зачастую затруднена, соответственно, многие гидробионты вынуждены пользоваться боковой линией, органом, воспринимающим вибрации и движение гидросферы, чему препятствуют вибрации, распространяемые морскими судами.

Электромагнитное загрязнение, или загрязнение электромагнитными полями, формируется находящейся на судах аппаратурой.

Различают бактериальное и органическое биологическое загрязнение. Под бактериальным следует понимать попадание в гидросферу со сточными водами с морских судов болезнетворных микроорганизмов, вызывающих при попадании в организм человека возникновение заболеваний (холеры, дизентерии и др.).

Самой серьезной экологической проблемой для морской среды является огромная антропогенная нагрузка. Самоочищающиеся способности морской воды в прибрежных частях бассейна постепенно теряются. В настоящее время эта проблема характерна для многих морей. Замкнутая береговая зона Черного моря во все времена была густонаселена, однако в последнее время из-за стремительного развития курортного бизнеса антропогенное воздействие мощным прессом легло на побережье водоема.

Биологическое загрязнение гидросферы морским транспортом

Загрязнение морской среды чужеродными видами требует особого внимания. Его практически невозможно предотвратить, при том, что оно угрожает не только морской среде, но и биосфере вообще. Благодаря расширению маршрутов морских судов происходит ежедневное перемещение десятков тысяч видов животных и растительных организмов.

Множество результативных интродукций, чуждых для определенной экосистемы видов, вызывает значительные экологические последствия. Интродуцированные виды являются одной из основных угроз биоразнообразию наряду с разрушением мест обитания. Данный вид биологического загрязнения морской среды торговыми судами в большинстве случаев имеет необратимый характер. Сравнительно недавнее занесение с балластными водами судов американского гребневика мнемииописа в Черное и Каспийское моря является яркой иллюстрацией инвазии [8].

Развитое судоходство — это проблема колоссального масштаба для экологической обстановки, в частности, в акватории Черного моря. Судами ежедневно перевозятся тысячи тонн разнообразного груза, вместе с ними в Черное море попадают чужеродные представители флоры и фауны. Вселяясь в животный мир моря, они часто проявляют себя очень агрессивно и уничтожают аборигенные виды. Так, вселение хищного моллюска рапаны и гребневика мнемииописа оказалось губительным для биоты Черного моря [9]. Данные виды привнесены вместе с балластными водами танкеров, которые спускаются в море при прибытии судна в порт. Вместе с ними в морскую воду попали привезенные личинки. Рапана и мнемииопис оказались стойкими и способными к адаптации, выжили и начали активно размножаться.

Будучи хищниками, эти виды моллюсков избрали своей пищей черноморских мидий — естественных чистильщиков и санитаров Черного моря, что привело к значительному сокращению данной популяции, и, как следствие, ухудшению фильтрации морской воды. Чужеродные виды своим внедрением нарушили равновесие в хрупкой экосистеме водоема, создав масштабную экологическую проблему, решение которой в ближайшее время не предвидится. Из-за ухудшения процесса фильтрации воды проблема загрязнения стала еще более острой.

Рапана обнаружена в 1947 г. недалеко от порта Новороссийск. Она относится к виду брюхоногих моллюсков и завезена из Японского моря [10]. Так как естественных врагов у данного вида в Черном море нет, то при активном размножении рапаны сильно сокращена популяция черноморских мидий, а популяция черноморских устриц уничтожена практически полностью.

Гребневик мнемииопис — это хищный вид, рацион которого состоит из молодежи мидий и планктона. Вследствие уменьшения фильтрации вод органическое загрязнение стало возрастать, так как море не успевает полностью его поглотить и возникает эвтрофикация. Гребневик сумел сильно размножиться и нарушить кормовую базу черноморских обитателей, из-за чего произошло сокращение численности рыбных ресурсов.

В то же время по результатам многочисленных исследований сделан вывод: полное заполнение акватории Черного моря сероводородом маловероятно и почти невозможно. Причиной тому —

процесс окисления нижних слоев, сдерживающих сероводород. Этому способствует нормальное количество растворенного в воде кислорода, и, хотя не во всех районах моря его объем большой, он достаточен для того, чтобы сдерживать полное заполнение водоема сероводородом. Однако это не уменьшает опасность сероводородного заражения моря и не умаляет серьезность данной экологической проблемы для всего черноморского региона.

В Балтийское море чужеродные виды зачастую привносятся из тепловодных бассейнов и распространяются преимущественно в поверхностных водах акватории, которые хорошо прогреваются. Периодически в донных сообществах тоже появляются вселенцы, однако из-за низких температур придонных вод Балтики популяция инвазивных видов не способна заселить большие территории, и часто локализована на ограниченном пространстве.

Наиболее успешно освоившими-ся переселенцами в Балтийских водах считаются донные черви полихеты [11]. Благодаря своим невероятно большим способностям к выживанию в холодных водах данный вид сумел распространиться на огромные территории на дне бассейна и стать доминирующим над другими видами, в том числе местными.

Становится все очевиднее, что монокультура полихет и ее активное распространение в дальнейшем приведет к значительным изменениям в экосистеме Балтийского моря, что не может не отразиться на разных популяциях рыб, ракообразных, планктона и даже прибалтийских видах птиц.

Достаточно успешным примером инвазии также считается вселение рыбы бычка-кругляка. Данный вид изначально обитал в тепловодных морях, таких как Азовское, Черное, Каспийское. Несмотря на это, бычок-кругляк обладает огромной устойчивостью к перепадам температур и одинаково хорошо чувствует себя как в теплых водоемах, так и в холодных. Очень быстро бычок стал доминировать над балтийской корюшкой и другими видами мелких рыб. За четверть века он успел заселить обширные территории поверхностных вод Балтики. И хоть его масштабное распространение пока не представляет большой угрозы для экосистемы, ряд ученых считает, что в дальнейшем этот вид способен полностью подавить местные популяции мелких рыб.

При этом следует заметить, что загрязнение чужеродными видами, хоть и происходит вследствие деятельности людей, но остается не контролируемым. Таким образом, немалая часть этой разновидности загрязнения происходит без прямого умысла человека спустя длительный период времени.

Уничтожение организмов, попавших в балластные воды, позволит сократить масштабы проблемы. Существует множество технологий очистки балластных вод, в частности, фильтрация, применение биоцидов (химических веществ или микроорганизмов, способных уничтожать или повреждать живые организмы), ультразвука.

Химическое загрязнение окружающей среды морским транспортом

При химическом загрязнении естественные химические свойства природной среды изменяются в результате выброса вредных веществ, образующихся при работе морского транспорта, например, при сжигании углеводородного топлива. Но наиболее опасными загрязнителями считаются тяжелые металлы и органические соединения, полученные синтетическим путем.

Морской транспорт наносит основной ущерб атмосфере и гидросфере как в режиме нормальной эксплуатации, так и в аварийных ситуациях, когда окружающая среда подвергается колоссальному ущербу от попадания в нее токсичных грузов. Судовые двигатели, промывочные и балластные воды выступают основными источниками пагубного влияния морского флота на экологию.

Подавляющая часть торговых судов оборудована дизельными двигателями, которые выпускают продукты сгорания в атмосферу. Впоследствии токсичные вещества попадают в воды мирового океана.

Промывочные воды являются результатом промывки танков перед каждой загрузкой танкера углеводородным сырьем с целью удаления остаточных продуктов в емкостях. В настоящее время они без очистки откачиваются за борт и являются главным источником постоянного загрязнения морской среды нефтью и нефтепродуктами.

Балластные воды также являются источником не только биологического, но и химического загрязнения гидросферы. Танкеры зачастую идут в последующий порт отправления груза порожними.

При этом танки заполняются балластными водами (из-за малой осадки порожний танкер утрачивает управляемость), содержащими, как и промывочные, остатки нефти и нефтепродуктов, а по прибытии в порт либо непосредственно перед ним в открытых водах балластные воды также сбрасываются за борт.

Балластные и промывочные воды как нефтесодержащие смеси должны сдаваться на станции очистки таких вод, однако это происходит крайне редко ввиду неосознанности судовладельцев, желающих минимизировать временные и финансовые затраты.

Однако следует отметить, что к постепенному загрязнению небольшим количеством углеводородного сырья, в отличие от аварийных разливов нефти, морская среда отчасти адаптируется посредством увеличения численности микроорганизмов, способных к разложению углеводородов. Тем не менее такое постоянное отравление наносит не меньше вреда, чем аварийные разливы нефти [12].

Периодически в акваториях большинства морей происходит загрязнение морской среды нефтепродуктами из-за аварийных ситуаций, случающихся с судами. Продолжительность наличия на воде нефтяных пятен подвержена совокупному влиянию множества факторов и может варьироваться от нескольких дней до нескольких месяцев. Углеводородное сырье большой плотности может погружаться на дно. Испарению может быть подвержено до 40% массы разлива нефти.

Различные промышленные предприятия и коммунальные службы также способствуют загрязнению, их аварийные выбросы наносят ощутимый вред морским живым ресурсам. В России ликвидацией разливов нефти и аварийных выбросов занимается многоцелевой природоохранный комплекс — теплоход «Светломор» [13].

В отечественном законодательстве аварийные случаи с морскими судами классифицируются на инциденты, аварии и очень серьезные аварии¹. В зависимости от степени вреда, нанесенного морской среде, к инцидентам относятся случаи разлива углеводородного сырья без достижения уровня отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации. Для Черного моря и морей Тихого океана установлен самый высокий порог

¹ Приказ Минтранса России от 08.10.2013 г. № 308 «Об утверждении Положения о расследовании аварий или инцидентов на море».

разлива нефти и нефтепродуктов в 1 т. Самый низкий порог разлива в 0,3 т нефти и нефтепродуктов установлен для Балтийского моря.

Аварией признается случай нанесения либо возможности нанесения серьезного ущерба окружающей среде. Серьезным ущербом признается разлив углеводородного сырья, соответствующий либо превышающий уровень отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации. При этом авария должна быть вызвана повреждением судна, а масса разлива нефти и нефтепродуктов не должна превышать 500 т.

С 1 января 2021 г. Приказ Минприроды от 03.03.2003 № 156 «Об утверждении Указаний по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации» утратил силу, соответственно, классификация на инциденты и аварии, закрепленная в Приказе Минтранса РФ № 308, безосновательна.

Очень серьезной аварией признается случай причинения ущерба окружающей среде, которым выступает разлив углеводородного сырья массой от 500 т вследствие повреждения судна.

Меры по снижению вредного воздействия морского транспорта на окружающую среду

Приоритетным направлением снижения вредного воздействия морского транспорта на окружающую среду является потребность обезуглеродить морской транспортный сектор с помощью альтернативных видов энергии, в частности, биотоплива, водородного топлива, аммиака и др. Экологическую ситуацию в морских портах может значительно улучшить береговое электроснабжение, предполагающее отключение судами собственных двигателей и подключение к береговому источнику электроэнергии на период пребывания судна в акватории порта.

Целесообразно введение законодательного требования нейтрализации химического и биологического загрязнения торговыми судами морской среды посредством применения доступных методов от фильтрации до использования биоцидов и ультразвука.

Наиболее рентабельной можно считать установку на судне автономной системы обеззараживания балластных вод в процессе сбрасывания за борт [14]. Предварительная фильтрация значительно увеличивает эффективность их

очистки. В перспективе возможно законодательное закрепление требования внедрения оборудования, исключающего сброс в морскую среду балластных и промывочных вод вне станций очистки.

Снижение шумового загрязнения морской среды возможно за счет снижения скорости судов, что является более энергоэффективным, и позволяет одновременно сократить количество выбросов в атмосферу.

Способом повышения эффективности защиты морской среды юридическими методами является расширение легитимного понятия загрязнения, отражающего только самые распространенные виды загрязнения.

Представляется крайне важным систематическое повышение уровня экологической культуры как у экипажей морских торговых судов, так и у судовладельцев.

Источники

1. Углубленный доклад о внутреннем транспорте и изменении климата, часть 1: на пути к чистому нулю — состояние, прогнозы и тенденции выбросов парниковых газов Европейской экономической комиссии (ECE/TRANS/2024/4). URL: https://unece.org/sites/default/files/2024-01/ECE_TRANS_2024_04r.pdf (дата обращения: 06.03.2025).
2. Цели в области устойчивого развития ООН. Транспорт. URL: <https://www.un.org/ru/actnow/facts-and-figures> (дата обращения: 06.03.2025).
3. Крстич С., Модина М.А., Кузнецова Ю.С. и др. Снижение токсичности отработавших газов морских судов // Эксплуатация морского транспорта. 2023. № 1(106). С. 184–188.
4. Кириллов Н.Г. Экологические проблемы эксплуатации водного транспорта и первый опыт создания отечественного судна на сжиженном природном газе // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О.Макарова. 2016. № 2(36). С. 98–109.
5. Боран-Кешишьян А.Л., Рудиков М.С., Попов Е.А., Попова А.В. Анализ факторов, влияющих на экологическую эффективность морского транспорта // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф.Ушакова. 2024. № 1(46). С. 10–12.
6. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems (6th ed.). Routledge, 2024. DOI: 10.4324/9781003343196.

7. Круть А.А., Каданцева С.Ю. Некоторые аспекты обеспечения энергетической безопасности морского торгового судоходства в условиях санкций и торговых ограничений на основе развития топливных систем, использующих альтернативное судовое топливо // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т. 6. № 3(144). С. 28–33.
8. Bilio M., Niermann U. Is the comb jelly really to blame for it all? Mnemiopsis leidyi and the ecological concerns about the Caspian Sea // Marine ecology progress series. 2004. Vol. 269. P. 173–183.
9. Николаева Г.Г. Роль вселенца-хищника (гребневика мнемииопсиса) в кризисе экосистемы Черного моря — пример антропогенного воздействия на морскую экосистему. НИР: грант № 93–05–09623. Российский фонд фундаментальных исследований. 1993.
10. Пиркова А.В. Характеристика митотических хромосом рапаны *gapan venosa* (valenciennes, 1846) (gastropoda, muricidae) // Российский журнал биологических инвазий. 2019. Т. 12. № 3. С. 96–105.
11. Михайлова А.В., Попова Е.В., Шипулин С.В. и др. О вселении представителей рода *Marenzelleria* (Polychaeta, Spionidae) в бассейн Каспийского моря // Российский журнал биологических инвазий. 2021. Т. 14. № 3. С. 45–49.
12. Пономарев М.В. Правовые проблемы охраны морской среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // Морские исследования и образование (MARESEDU-2023): Труды XII Международной научно-практической конференции, 23–27 октября 2023 г., Москва, Россия. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024. С. 557–561.
13. Балашов М.Г., Гуля А.А., Иващук И.А., Цыганова В.В. Методы и технические средства ликвидации разливов нефти // Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений: труды региональной научно-практической конференции, 29–30 ноября 2018 г., Севастополь. Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2019. С. 46–53.
14. Решняк В.И., Каляуш А.И., Рочев Д.И. Технология очистки и обеззараживания балластной воды // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 1. С. 32–38.

Автоматизированная система управления учета запасными частями на железнодорожной станции



А. В. Клюканов,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Технологии
грузовой и коммерческой
работы, станции
и узлы» Приволжского
государственного
университета путей
связи

В текущей эксплуатационной работе на объектах железнодорожной инфраструктуры важнейшее значение имеет сокращение ручного труда и влияния человеческого фактора. Это достигается путем автоматизации производственных процессов. Далеко не последнюю роль в этом направлении играет и создание автоматизированных систем по работе с запасными частями.

Автоматизация железных дорог является важнейшим компонентом современных железнодорожных систем. Она обеспечивает безопасную и эффективную работу железнодорожной сети, а ее внедрение позволяет максимально оптимизировать и упростить рабочие процессы любого железнодорожного предприятия¹. Особенно актуальна автоматизация систем управления хранением и учета запасных частей на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта (грузовые дворы, контейнерные площадки, железнодорожные станции, пункты осмотра и технического обслуживания, сортировочные горки, пункты подготовки вагонов под погрузку и др.).

Согласно техническому регламенту «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта», в состав запасных частей, используемых на объектах железнодорожного транспорта, входят: болты для рельсовых стыков и креплений; запорно-пломбировочные устройства; костыли путевые; упругие пружинные элементы; накладки для изолирующих стыков; реле электромагнитные; шурупы путевые; тормозные колодки; шпильки; валики подъемника автосцепок и др.².

Из приведенной номенклатуры запасных частей видно, что такие эле-

менты используются в разных подсистемах инфраструктуры железнодорожного транспорта. Ненадлежащий учет и управление запасами этих деталей может привести к сбою в работе отдельных устройств и возникновению простоя технологического процесса.

Запасные части обычно хранятся на стеллажах с размещением непосредственно в зоне работы или на складских комплексах. Стеллажи применяются стоечного типа с набором неавтоматизированных секций хранения, статичный учет расхода и пополнения деталей ведется на компьютере.

При этом сохраняется высокая доля ручного труда. Работник склада должен самостоятельно вести поиск и сортировку деталей на стеллажах. Это отнимает много времени, а также существует высокий риск ошибок при поиске и выборе требуемой детали.

Кроме того, стеллажи, размещенные на открытых пространствах объектов инфраструктуры, трудно пополнять и вести учет необходимых деталей в условиях оперативной работы. Автоматизированная система хранения запасных частей является более эффективным решением. Автоматизированные системы хранения и поиска — это роботизированные или управляемые компьютером технологии, которые могут извлекать или хранить изделия в определенных местах на складе³. Существует много разных вариантов автоматизации систем хранения:

¹ ГОСТ 59853-2021. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2022. 16 с.

² Технический регламент ТС. «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». URL: <https://clck.ru/3FF8xt> (дата обращения: 15.12.2024).

³ ГОСТ Р 59282-2020. Системы управления складом. Функциональные требования. М.: Изд-во стандартов, 2021. 26 с.

- кубическое хранилище AR/RS — технология извлечения единичных грузов из определенных мест хранения;
- Pick-by-light и Pick-by-voice — технологии отбора материальных ценностей по свету и голосовых команд;
- RFID-системы — технология распознавания промаркированных объектов посредством радиосигналов;
- автоматизированные стеллажи — системы адресного хранения и поиска мелкоступных изделий с использованием измерительных датчиков [1–3].

В России автоматизированные системы хранения применяются ограниченно и преимущественно на крупных складах. На объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, грузовые дворы, пункты осмотра и др.) автоматизация стеллажного хозяйства находится на низком уровне. Автоматизация стеллажей на таких объектах позволит: повысить производительность труда; сократить количество ошибок комплектации и извлечения требуемых деталей; проводить мониторинг хранимых элементов в реальном времени; оптимизировать управления запасными частями.

Рассмотрим развитие системы обеспечения и хранения запасных частей на примере технического обслуживания грузовых вагонов на крупных станциях. Здесь замена неисправных деталей и сборочных единиц вагонов без их отцепки от составов ведется со стационарных и неавтоматизированных корпусных стеллажей.

Часто для накопления деталей используются малотоннажные контейнеры и переоборудованные самодельные устройства. Разная вместимость стеллажных конструкций и вероятностный характер расхода запасных частей приводит к сбою производительности труда. Нарушение работ может быть обусловлено и поиском нужной детали в условиях оперативного технического обслуживания вагонов.

Традиционно управление ресурсом запасных частей включает в себя централизованную схему (рис. 1). Работник склада вручную ведет подсчет запасов и учет местонахождения комплектующих, отслеживает нехватку запасных частей, осуществляет их доставку на стеллажи.

На современных складах снабжения значительная часть операций по вводу, обработке, сортировке данных о запасных частях выполняется с привлечением компьютерных программных комплексов [4].

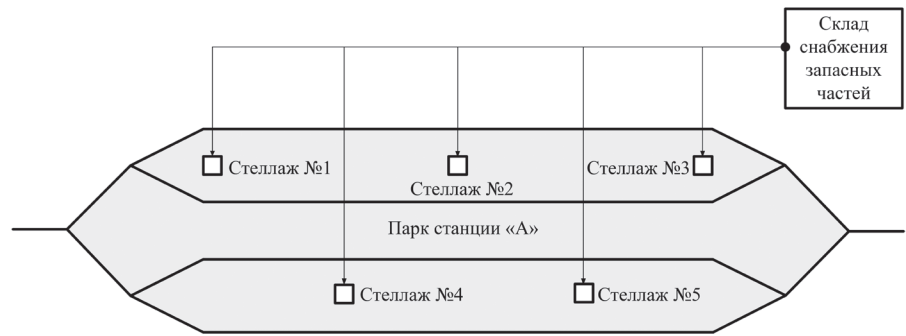


Рис. 1. Централизованная схема раздачи запасных частей со склада снабжения на неавтоматизированные стеллажи

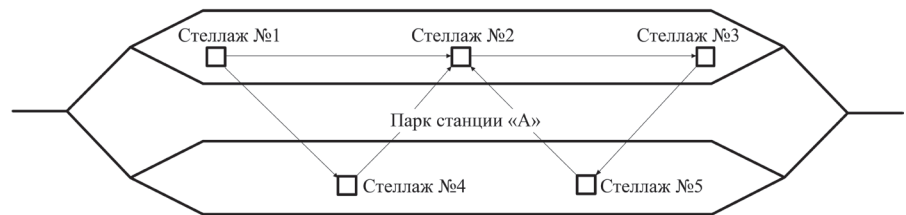


Рис. 2. Децентрализованная схема доукомплектования стеллажей запасными частями

Раздача запасных частей со склада на стеллажи производится по заявкам и по мере необходимости комплектования. При этом автоматизация склада не синхронизирована со стеллажами, которые находятся в парках станции. Это приводит к снижению скорости и своевременности комплектования стеллажей, возникновению незапланированных простоев и другим операционным проблемам.

Для устранения недостатков технологии раздачи запасных частей из одного источника предлагается пополнять стеллажи по децентрализованной схеме, когда каждый из них может обеспечиваться комплектующими в реальном времени с других стеллажей. Децентрализованная схема доукомплектования парковых стеллажей запасными частями приведена на рис. 2.

Сущность такой децентрализованной схемы состоит в том, что наполнение стеллажей деталями происходит со склада (плановая логистика снабжения), а их доукомплектование — с любых соседних стеллажей. Это позволяет всегда иметь требуемые запасные части в зоне технического обслуживания с большей частотой расхода деталей за счет перераспределения запасных частей между стеллажами. Данное техническое решение позволяет значительно ускорить поиск требуемых деталей в текущей оперативной работе и создать резерв времени для пополнения мало задействованных стеллажей со склада снабжения.

Предлагается автоматизированная система управления и учета запасных частей, общий вид которой изображен на рис. 3 [5].

Исходным этапом ячейки хранения 2, находящиеся внутри корпуса стеллажа 1, заполняются запасными частями, причем на каждой секции размещаются детали с одинаковым типоразмером [5, 6]. Состояние занятости ячеек определяется тензодатчиком 3, который пропорционально приложенному усилию нагруженной полки выдает дискретный выходной сигнал в виде цифрового кода.

Переключение тензодатчика 3 в положение ячейки хранения «занятая/свободная» обеспечивается двухпозиционным переключателем 4, а электрический сигнал на удаленный терминал 6 через кабельный разъем 5 передается по проводной или радиосвязи.

В удаленном терминале цифровой сигнал с тензометрических ячеек с каждого стеллажа обрабатывается и преобразуется в численный показатель занятости ячеек. Таким образом формируется адресная система хранения и учета запасных частей, общая структура которой для парка «А» показана на рис. 4, где 1–5, n — номер автоматизированных стеллажей; a – c — номер тензометрические ячейки хранения. Например, адрес тензометрической ячейки a : А-1- a .

Блок анализа удаленного терминала определяет загрузку стеллажей запасными частями в течение определенного временного цикла. Это позволяет увидеть пики и провалы в использовании

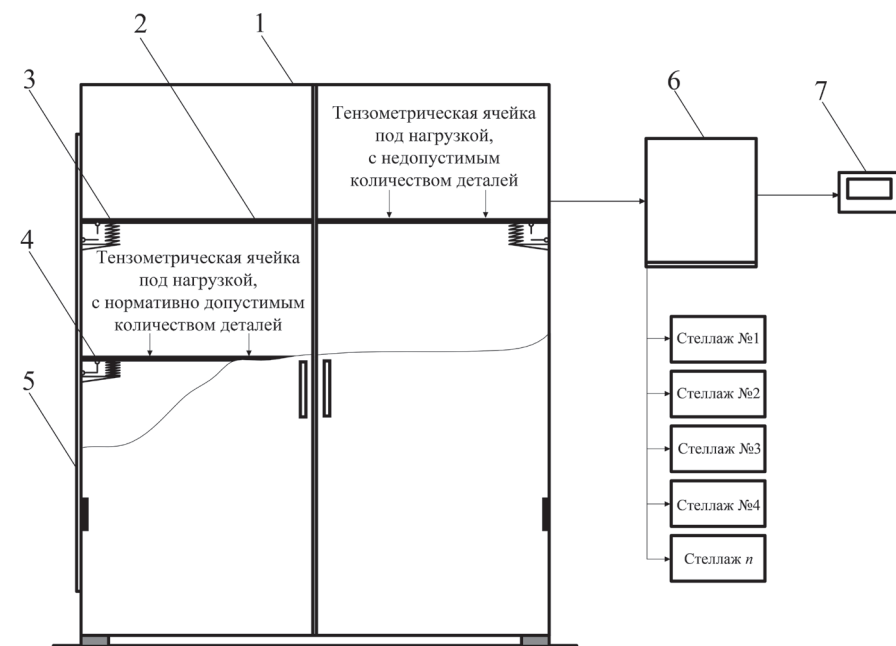


Рис. 3. Автоматизированная система управления и учета запасных частей

1 — корпус стеллажа; 2 — ячейка хранения; 3 — тензодатчик; 4 — двухпозиционный замыкатель; 5 — кабельный разъем; 6 — удаленный терминал; 7 — мобильное устройство

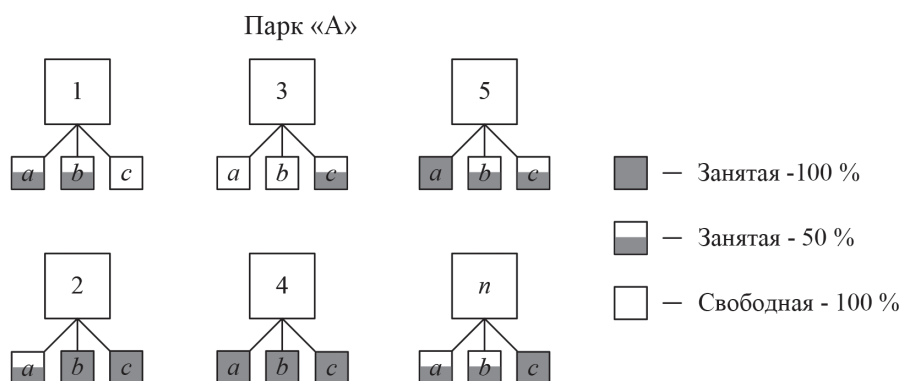


Рис. 4. Адресная система хранения и учета запасных частей

стеллажей. График их загрузки по времени показан на рис. 5.

Загрузка единичных тензометрических ячеек 31, 32, 33 и каждого стеллажа 3ст1, 3ст2...3стn на графике отображается площадью прямоугольников, где одна из сторон — это временной интервал, другая — текущее количество запасных частей в процентах. Из рис. 5 видно, что в стеллажах № 1 и 3 запасные части расходуются наиболее интенсивно.

В условиях оперативной работы запасные части могут быть заимствованы из соседних стеллажей № 2 и 4, менее занятых в работе. Это позволяет улучшить логистику запасных частей в системе снабжения «склад — стеллажи» за счет наличия требуемой детали в должном количестве в нужном месте в текущий момент времени.

При этом в оперативной работе затраты времени на поиск необходимых деталей на соседних стеллажах и их пере-

мещение в задействованные стеллажи не должны превышать времени на подвоз запасных частей со склада снабжения. Опрос автоматизированных стеллажей программным комплексом удаленного терминала происходит каждые 30 с.

Программное обеспечение терминала может быть эффективно интегрировано в применяемую автоматизированную систему управления склада. Информация о занятости ячеек посредством коротких сообщений также передается в мобильное устройство. Оно позволяет принимать сигнал от терминала и интерпретировать его с выводом готовой информации об укомплектовании запасными частями ближайших стеллажей. Использование такого устройства позволяет упростить поиск требуемых запчастей за счет определения местоположения укомплектованных стеллажей в реальном времени.

Предлагаемая автоматизированная система поиска и хранения запасных частей обеспечивает:

- высокий отклик в поиске требуемых деталей с укомплектованных парковых стеллажей;
- анализ текущей загрузки автоматизированных стеллажей и прогнозирование расхода запчастей на каждом стеллаже;
- эффективное распределение запасных частей в условиях оперативной работы между стеллажами рабочей группы;
- выявление критического остатка и резерва запчастей на стеллажах.

Для оценки эффективности применения рассматриваемой системы может быть введен комплексный критерий KI , состоящий из подкритериев $KI_{\text{ваг}}$, $KI_{\text{ст}}$, $KI_{\text{скл}}$, $KI_{\text{му}}$, $KI_{\text{жд}}$. Их выбор включает в себя меры оценки. Структурная схема расположения критериев показана на рис. 6.

Разработанные критерии позволяют оценить эффективность применения автоматизированной системы управления по шкале от 0 до 1 [7]. Чем выше значение, тем лучше внедрение. Комплексный критерий может быть записан в виде:

$$KI = (KI_{\text{ваг}} f_{\text{ваг}} + KI_{\text{ст}} f_{\text{ст}} + KI_{\text{скл}} f_{\text{скл}} + KI_{\text{му}} f_{\text{му}} + KI_{\text{жд}} f_{\text{жд}}),$$

где $KI_{\text{ваг}}$ — определяет количественные и качественные характеристики вагонов. Этот показатель основан на учете плана перевозок вагонов и показателей их безотказной работы:

$$KI_{\text{ваг}} = (KM_{\text{ваг}} d_{\text{ваг}1} + KM_{\text{ваг}} d_{\text{ваг}2} + KM_{\text{ваг}} d_{\text{ваг}3}),$$

при этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} d_{\text{ваг}1} + d_{\text{ваг}2} + d_{\text{ваг}3} = 1 \\ 0 \leq d_{\text{ваг}1}, d_{\text{ваг}2}, d_{\text{ваг}3} \leq 1 \end{cases},$$

где $KI_{\text{ст}}$ — определяет эффективность применения автоматизированных стеллажей в зависимости от технической конфигурации компонентов, определяющих нормальную работу стеллажей. Этот показатель взвешивается в том числе и количеством автоматизированных стеллажей, используемых в работе:

$$KI_{\text{ст}} = (KM_{\text{ст}} d_{\text{ст}1} + KM_{\text{ст}} d_{\text{ст}2} + KM_{\text{ст}} d_{\text{ст}3} + KM_{\text{ст}} d_{\text{ст}4} + KM_{\text{ст}} d_{\text{ст}5}),$$

при этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} d_{\text{ст}1} + d_{\text{ст}2} + d_{\text{ст}3} + d_{\text{ст}4} + d_{\text{ст}5} = 1 \\ 0 \leq d_{\text{ст}1}, d_{\text{ст}2}, d_{\text{ст}3}, d_{\text{ст}4}, d_{\text{ст}5} \leq 1 \end{cases},$$

где $KI_{\text{скл}}$ — определяет эффективность взаимодействия автоматизированных стеллажей со складом снабжения. Этот показатель зависит от скорости и стабильности передачи информации между стеллажами и складом. Эффективная передача

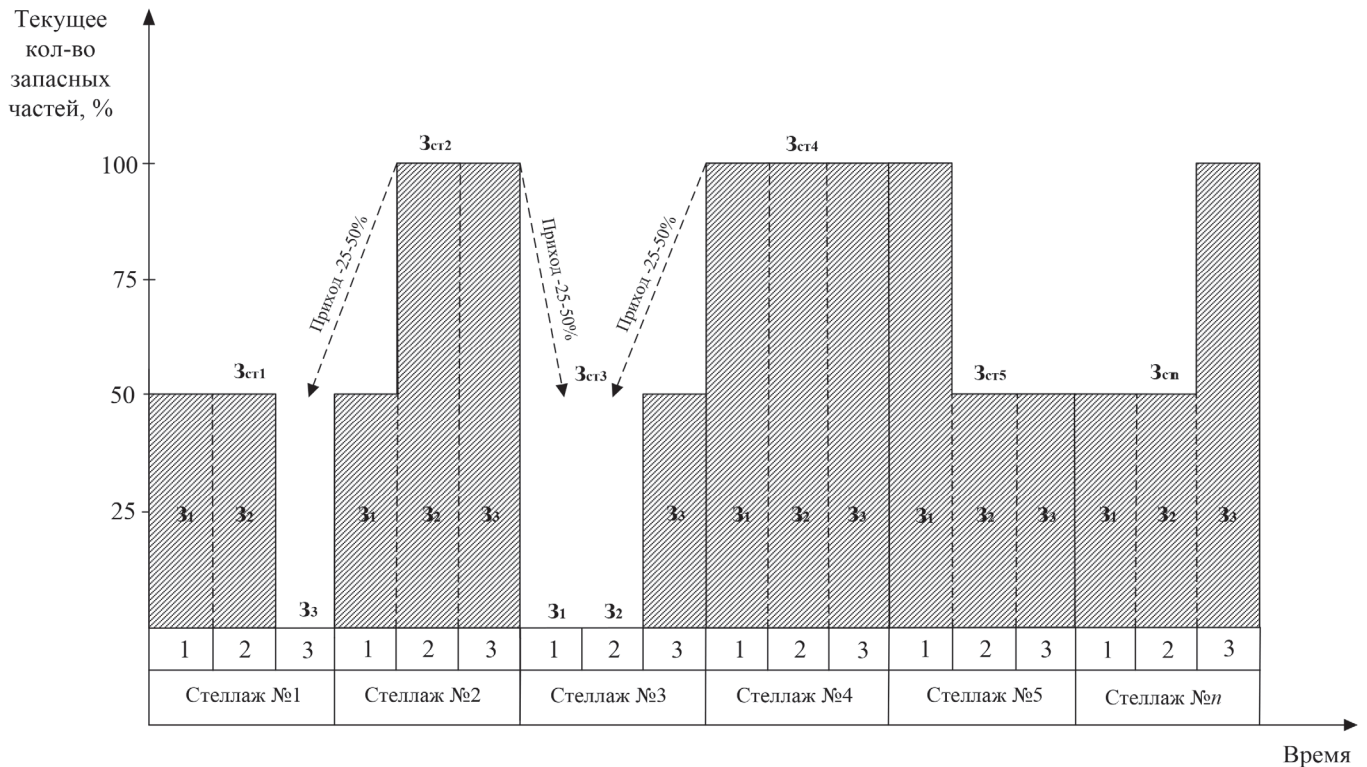


Рис. 5. График текущей загрузки автоматизированных стеллажей от времени



Рис. 6. Структурная схема критериев, влияющих на эффективность использования автоматизированной системы управления и учета запасных частей

ча данных обусловлена множеством факторов, включая тип используемых сетей и программно-го обеспечения:

$$KI_{\text{скл}} = (KM_{\text{скл1}}d_{\text{скл1}} + KM_{\text{скл2}}d_{\text{скл2}} + KM_{\text{скл3}}d_{\text{скл3}}),$$

при этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} d_{\text{скл1}} + d_{\text{скл2}} + d_{\text{скл3}} = 1 \\ 0 \leq d_{\text{скл1}}, d_{\text{скл2}}, d_{\text{скл3}} \leq 1 \end{cases},$$

где $KM_{\text{му}}$ — определяет быстродействие мобильного устройства и визуализацию информации о наличии запасных частей на стеллажах, объединенных в единую информационную сеть:

$$KI_{\text{му}} = (KM_{\text{му1}}d_{\text{му1}} + KM_{\text{му2}}d_{\text{му2}}),$$

при этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} d_{\text{му1}} + d_{\text{му2}} = 1 \\ 0 \leq d_{\text{му1}}, d_{\text{му2}} \leq 1 \end{cases},$$

где $KI_{\text{жд}}$ — определяет зависимость железно-дорожных путей от количества и расположе-

ния автоматизированных стеллажей в парке станций. Этот показатель зависит от технико-эксплуатационных характеристик путей:

$$KI_{\text{жд}} = (KM_{\text{жд}} d_{\text{жд1}} + FM_{\text{жд}} d_{\text{жд2}}),$$

при этом должно соблюдаться условие:

$$\begin{cases} d_{\text{жд1}} + d_{\text{жд2}} = 1 \\ 0 \leq d_{\text{жд1}}, d_{\text{жд2}} \leq 1 \end{cases}$$

Выбор этих подкритериев и включение в себя меры оценки. Как показатели, так и подкритерии, требуют определения их веса при оценке, который может быть определен с помощью опросов или интервью с экспертами.

Таким образом, предложенная автоматизированная система управления и учета запасных частей может быть использована не только для технического обслуживания грузовых вагонов на крупных станциях, но и на других объектах железнодорожной инфраструктуры (грузовые дворы, контейнерные площадки, пункты подготовки вагонов под погрузку), на которых необходимо улучшить организацию логистики запасных частей в реальном времени.

Внедрение такой автоматизированной адресной системы позволит ускорить

поиск и инвентаризацию комплектующих, упростить учет операций по подбору и сортировке запчастей на участках хранения, сократить риск ошибок, проводить анализ текущей загруженности стеллажей и оборот запасных частей, снизить потери, связанные с обработкой запросов на поиск деталей с требуемыми параметрами.

Оценка эффективности автоматизированной системы управления и учета запасных частей взвешивается на основании разработанного комплексного критерия методом экспертного анализа.

Источники

1. Гумберг Н. С. О проектировании информационной системы складской логистики с использованием RFID-меток // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 8(146). С. 61–63. EDN: GPZEBV.
2. Карякин А. Т., Жантуева А. В. Особенности использования в складской логистике rfid-технологий // Московский экономический журнал. 2021. № 4. DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10251. EDN: XGLYWI.
3. Automated Storage and Retrieval System. URL: <https://modula.us/blog/automated-storage-retrieval-system/> (дата обращения: 15.12.2024).

automated-storage-retrieval-system/ (дата обращения: 15.12.2024).

4. Спешилова И. В. Эволюция логистики и цепей поставок в условиях цифровой парадигмы // Научное обозрение: теория и практика. 2024. Т. 14. № 1(101). С. 95–105. DOI: 10.26088/2226-0226-2024-14-1-95-105. EDN: WGYHUI.
5. Патент RU 2778490 C2. Автоматизированный комплекс стеллажей для хранения и учета запасных частей / Г. Г. Киселев, А. В. Ключанов. Заявл. 06.08.2019. Опубл. 22.08.2022. EDN: FOOQFR.
6. Левченко Д. А., Ключанов А. В. Автоматизированное адресное хранение и учет запасных частей на объектах железнодорожного транспорта // Дни студенческой науки: Сборник материалов 50-й научной конференции обучающихся СамГУПС, посвященной 50-летию СамГУПС, 4–28 апреля 2023 г., Самара, Россия. Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. Т. 1. Вып. 24. С. 45–47. EDN: ZHIQNH.
7. Демин В. А. Критерии эффективности транспортно-логистических систем // Мир транспорта. 2021. Т. 16. № 5 (78). С. 192–198. EDN: YNQNVB.



Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Академия включает
48 РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ

ДАТА ОСНОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ТРАНСПОРТА:

26 июня 1991 года



Президент Академии:
Д.Т.Н.
АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ МИШАРИН

СОСТАВ АКАДЕМИИ В 2023 ГОДУ

> **680 УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ:**

170 ДОКТОРОВ НАУК

510 КАНДИДАТОВ НАУК

260 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ РАТ



Влияние личностных особенностей пилотов гражданской авиации на принятие решений в условиях неопределенности



М. В. Ерхова,
канд. пед. наук, доцент
кафедры гуманитарных
и социально-экономических
дисциплин Ульяновского
института гражданской
авиации им. главного
маршала авиации
Б. П. Бугаева (УИГА),



П. В. Зобов,
канд. экон. наук,
декан факультета
подготовки авиационных
специалистов УИГА

Все большую актуальность приобретает новое направление психологии — психология неопределенности. Свое название оно получило от феномена, который в научной литературе отождествляется с двусмысленностью, амбивалентностью, неполнотой и дефицитом информации, противоречивостью, вариативностью, изменчивостью.

Существует несколько подходов, определяющих сущность ситуаций неопределенности. Когнитивно-поведенческий подход (Е. А. Белорусова, Е. В. Акчурина, И. В. Борисова и др.) основан на предположении о том, что неопределенность ситуации имеет прямую связь с параметром оценки возможности прогноза и перспективами личностного развития человека [1, 2].

В рамках инженерно-психологической направленности (Е. А. Климов, Б. Ф. Ломов) неопределенность ситуации возникает из-за невозможности человека преодолеть информационный барьер, связанный с недостатком знаний, опыта, умений действовать в определенной ситуации [3, 4].

При возрастном-психологическом подходе (И. С. Кон, Ф. Райс) неопределенность рассматривается как ситуация личностного самоопределения, связанная со множественным выбором и соответствующая возрастному этапу [5].

В культурологическом аспекте (К. Б. Мамардашвили, А. Г. Асмолов) неопределенность связывается с увеличением количества неопределенных жизненных ситуаций, социально приемлемых образцов поведения, возвышением свободы выбора [6].

В рамках психофизиологического подхода (Е. Н. Соколов, П. К. Анохин) неопределенность относится к неизвестности того, какое действие с наибольшей вероятностью сможет удовлетворить потребности человека [7]. Неопределенность возникает в различных сферах жизни человека. Она снижает его способность к системному анализу ситуации, оценке

и прогнозированию оптимального поведения [8]. Следствием этого становится неспособность человека использовать эффективные стратегии преодоления стресса и принятия решения в эмоционально напряженных ситуациях.

Особенную актуальность изучение поведения человека в неопределенных ситуациях, связанных с необходимостью принятия ответственных и продуманных решений, приобретает в деятельности пилотов гражданской авиации. Согласно концепции CRM1 [9], пилот принимает решение в условиях неопределенности, если требующие учета факторы настолько новы и сложны, что невозможно получить достаточно информации для прогнозирования и управления ситуацией. Неопределенность в принятии решений усиливается, если текущая или назревающая ситуация не подчиняется известным закономерностям. Неопределенность зачастую характерна для решений, принимаемых в быстро меняющихся условиях. Сталкиваясь с неопределенностью, пилот чаще всего может попытаться получить дополнительную информацию (это уменьшает новизну и сложность ситуации) или действовать в соответствии с опытом, знаниями и интуицией, предполагая вероятности различного развития событий.

В психологии принятия решения рассматривается как мыслительный процесс, приводящий к выбору одного из нескольких возможных вариантов действий. Психологические исследования принятия решений человека в усло-

¹ CRM (Crew Resource Management) — управление ресурсами экипажа воздушного судна для обеспечения безопасности полетов.

виях неопределенности включают анализ когнитивных составляющих поведения человека и личностных аспектов регуляции его выбора.

Наиболее распространенным подходом к принятию решений в авиации является модель рационального выбора. Согласно этой модели правильное решение становится результатом сбора пилотом всей доступной информации, ее изучения, анализа и ранжирования вариантов для определения лучшего решения.

К моделям подобного типа, которым обучаются пилоты в рамках тренинга CRM, можно отнести GRADE model¹, DECIDE model², FORDEC model³ и др. Они обеспечивают структурный подход к принятию решений: сбор информации и принятие решений после анализа информации в течение определенного периода времени. Такой подход оптимален для выполнения стандартных задач.

В нестандартных ситуациях, как показывают последние исследования, решения принимаются иначе. Когда люди сталкиваются с незнакомой ситуацией, неполнотой данных, переменными условиями, неопределенными перспективами, дефицитом времени для ситуационной осознанности, они выбирают сначала порядок действий, затем действуют, оценивают результат и делают следующий шаг. Такое циклическое представление о процессе принятия решений характерно для теории естественного принятия решений [10].

В рамках развития психологии неопределенности предложена мультипликативная модель принятия решений, включившая три основных параметра оценивания решений человека: по его интеллектуальным особенностям, личностным характеристикам и вкладу интеллектуально-личностных усилий [11]. При этом роль личностных особенностей пилота в ситуациях неопределенности при пилотировании воздушного судна приобретает огромное значение. Ведь принятие решений в летной дея-

тельности обычно протекает на фоне личностно окрашенных интенсивных переживаний, вызванных дефицитом времени, высоким социальным контролем, большой рабочей нагрузкой.

Следует отметить, что американские исследователи выделили пять опасных для пилотов личностных особенностей, влияющих на принятие решений: склонность к риску, импульсивность, нетерпимость к авторитетам, уверенность в собственной неуязвимости, смирение и покорность [12]. В связи с этим, изучение влияния индивидуальных особенностей личности пилота на стиль принятия решения в ситуации неопределенности является очень актуальным.

В настоящей статье представлены результаты исследования связи между продуктивностью принятия решений пилотами гражданской авиации в условиях неопределенности и их личностными характеристиками. Работа проводилась в 2024 г. В ней участвовали 34 действующих пилота, обучающихся на факультете безотрывных форм обучения Ульяновского института гражданской авиации.

Цель исследования — анализ влияния личностных характеристик пилотов на индивидуальный стиль принятия решений в условиях неопределенности.

В качестве диагностического инструментария использованы Мельбурнский опросник принятия решений (МОПР) и опросник «Личностные факторы принятия решений» (ЛФР-25). Мельбурнский опросник (Melbourne Decision Making Questionnaire — MDMQ) предназначен для диагностики индивидуального стиля принятия решений в условиях неопределенности. В его основе лежит модель принятия решений, включающая пять основных стратегий совладания со стрессом, связанным с принятием сложных решений в ситуации неопределенности:

- игнорирование информации о рисках и продолжение следования выбранному курсу действий;
- некритичное принятие курса действий, который может быть либо навязанным другим лицом, либо являющимся общепринятым;
- защитное избегание (прокрастинация) или перекалывание ответственности на других;
- гипербдительность, т.е. импульсивное принятие решений, предполагающее избавление от стрессовой ситуации, паника при выборе альтернатив;
- бдительность — систематический анализ и объективная оценка информа-

ции, рассмотрение альтернатив, разработка схемы действий.

Согласно модели, бдительность является оптимальной стратегией, позволяющей принять рациональные решения. Исходя из данной модели, МОПР содержит четыре шкалы: бдительность, гипербдительность, прокрастинация и избегание. Опросник позволяет оценить конфигурацию стилей принятия решений человеком в сложной ситуации.

ЛФР-25 предназначен для диагностики двух типологических свойств человека — готовности к риску и субъективной рациональности, лежащих в основе личностной регуляции выбора альтернатив при принятии жизненных и профессиональных решений:

Субъективная рациональность — готовность человека анализировать и оценивать свои решения, создавать целостную картину альтернатив, прогнозировать риски и действовать на основе систематического анализа информации.

Личностная готовность к риску — выбор альтернатив, связанных с большей вероятностью угроз и негативных последствий. Подобный выбор может быть основан на переоценке человеком своих возможностей, слабой ориентировке в ситуации, чрезмерной эмоциональности и др.

Представленные опросники, на наш взгляд, позволяют составить полную картину влияния личностных факторов на принятие решений пилотами в эмоционально-напряженной ситуации.

В таблице показаны среднегрупповые значения, полученные пилотами по МОПР и ЛФР-25.

Анализ среднегрупповых результатов респондентов по опроснику МОПР показывает, что преобладающим стилем принятия решения пилотами в ситуации неопределенности является бдительность или систематический анализ альтернатив как основы принятия решений (92 % от максимального значения).

На наш взгляд, данная стратегия базируется на важнейшем навыке пилотов — ситуационной осознанности, обучение которому проводится в рамках тренинга CRM. Именно этот навык позволяет пилоту следить, запоминать, быстро переключать внимание между источниками информации, давать критическую оценку постоянно обновляемым представлениям о воздушной ситуации. И именно объективная оценка поступающей информации о состоянии воздушного судна, внешней среды и времени является условием правильных решений.

¹ GRADE model (Gather, Review, Analyze, Decide, Evaluate) — модель принятия решений, которая предполагает структурированный процесс сбора информации, ее анализа перед принятием решения и оценкой его результатов.

² DECIDE model (Detect, Estimate, Choose, Identify, Do, Evaluate) — модель принятия решений пилотами, состоящая из шести этапов: фиксация проблемы, оценка необходимости действий, выбор курса действий, оценка последствий, действия и оценка результатов.

³ FORDEC (Facts, Options, Risks, Decide, Execute, Check) — модель принятия решений пилотами, состоящая из шести этапов: сбор фактов, рассмотрение альтернатив, оценка рисков, принятие решения, выполнение решения, оценка результатов.

Среднегрупповые значения пилотов гражданской авиации по Мельбурнскому опроснику принятия решений и опроснику ЛФР-25

Показатели	Мельбурнский опросник принятия решений				Опросник «Личностные факторы принятия решений»	
	Бдительность	Избегание	Прокрастинация	Гипербдительность	Рациональность	Склонность к риску
Среднее значение	16,6	9,5	6,8	7,2	6,7	2,5
Максимальное значение	18	18	15	15	12	13
Процент от максимального значения	92	53	45	48	56	19,2

Наименее выраженной стратегией принятия решений в эмоционально напряженных условиях, согласно результатам диагностики, является стратегия «прокрастинации», или перекладывание ответственности на других. Это говорит о выраженном внутреннем локусе контроля опрошенных, т. е. готовности видеть причины происходящего и источник активности в самом себе. Такое качество позволяет пилотам в сложных ситуациях рассчитывать прежде всего на себя, свою компетентность и опыт, а не тратить время на поиск виновных.

Низко выражена у пилотов гипербдительность, т. е. эмоционально неконтролируемое принятие решений, склонность к панике. Низкие среднегрупповые показатели стратегий прокрастинации и гипербдительности говорят об эмоциональной устойчивости пилотов, их готовности к четкому выполнению своих обязанностей. Сочетание данных параметров с высокой бдительностью позволяет говорить о наличии устойчивых личностных предпосылок для принятия оптимальных решений.

Некоторые опасения вызывает средний уровень выраженности «избегания» как стратегии принятия решений, свидетельствующей о возможности игнорирования некоторой поступающей пилоту информации (в том числе о рисках, ухудшении воздушной обстановки и т. п.).

Рассматривая личностные детерминанты принятия решений (опросник ЛФР-25), пилоты демонстрируют приоритетность рациональной регуляции выбора альтернатив при принятии профессиональных решений над эмоционально-импульсивным. Это подтверждается и результатами диагностики по Мельбурнскому опроснику.

Однако низкое значение по шкале «склонность к риску» может также свидетельствовать о возможном промедле-

нии пилотами при принятии решений и некоторой закрытости от новой информации. Это подтверждается и повышенным уровнем стратегии «избегания» по опроснику МОПР.

Таким образом, общий анализ полученных данных свидетельствует о наличии у пилотов гражданской авиации следующих личностных детерминант, влияющих на эффективность принятия решений: эмоциональной устойчивости и рациональности как способности сохранить оптимальные показатели деятельности при принятии решений в ситуациях неопределенности. Однако наличие тенденции к закрытости от новой информации (в том числе о воздушной обстановке) может увеличить риски неэффективных решений при управлении воздушным судном.

Результаты представленного исследования подтверждают необходимость развития у курсантов и действующих пилотов личностных качеств и умений, способствующих принятию оптимальных решений в эмоционально напряженных ситуациях неопределенности.

Переход авиационных компаний от стандартных программ обучения пилотов к обучению на основе анализа фактических данных (Evidence-Based Training — EBT) показал необходимость приоритетного развития определенных компетенций пилотов, в том числе влияющих на эффективность принятия решения. К ним можно отнести компетенции: устранение проблем и принятие решений (Leadership and Teamship — LTW); ситуационная осведомленность (Situational Awareness — SAW); управление рабочей нагрузкой (Workload Management — WLM).

В условиях получения пилотами профессионального образования данные компетенции можно развивать через факультативные курсы — тренинги «Развитие эмоционального интеллекта»,

«Развитие навыков совладающего поведения».

Источники

1. Белорусова Е. А. Ситуация неопределенности как источник развития личности // Молодой ученый. 2018. № 50 (236). С. 455–459.
2. Белорусова Е. А. Ситуация неопределенности как источник развития личности // Молодой ученый. 2018. № 50 (236). С. 455–459.
3. Дружилов С. А. Инженерно-психологический подход к профессиональной деятельности и профессионалам // Успехи современного естествознания. 2011. № 1. С. 126–127.
4. Психология труда, инженерная психология и эргономика: учебник для вузов / под ред. Е. А. Климова, О. Г. Носковой, Г. Н. Солнцевой. М.: Изд-во Юрайт, 2024. 661 с.
5. Мухина С. Е., Князева Ю. С. Толерантность к ситуации неопределенности как условие социально-психологической адаптации взрослых // Проблемы и вопросы психологии развития, возрастной психологии. 2021. № 1. С. 55–68.
6. Mobilis in mobili: личность в эпоху перемен / под общ. ред. А. Асмолова. М.: Издательский Дом ЯСК, 2018. 546 с.
7. Анохин П. К. Философские аспекты теории функциональных систем. М.: Наука, 1978. 400 с.
8. Корнев Г. Н. Феномен неопределенности в исследовании экономических систем: монография. М.: Нобель-Пресс, 2013. 180 с.
9. CAP 737 Crew Resource Management (CRM) Training Guidance for Flight Crew, CRM Instructors (CRMIS) and CRM Instructor-Examiners (CRMIES). URL: https://vk.com/doc247409661_440267042?hash=slvMuKyZWD3Qso2ilnhRGcp9RT-fUYvzSbcMLbGwKtIT&dl=Qr9HMTZtZd-NEwSFAIpaY9OJ5YcH0qbt7Q4Q66HzgHP (дата обращения: 25.03.2025).
10. Кляйн Г. Натуралистическое принятие решений // Человеческие факторы: Журнал Общества человеческих факторов и эргономики. 2008. № 50 (3). С. 456–460.
11. Корнилова Т. В. Психология неопределенности: единство интеллектуально-личностной регуляции решений и выборов // Психологический журнал. 2013. № 34 (3). С. 89–100.
12. Стрелков Ю. К. Психологическое содержание операторского труда. М.: Российское психологическое общество, 1999. 196 с.

Как снизить шум трамвая: актуализация технических условий на прирельсовые вкладыши трамвайных путей



Е. П. Дудкин,
д-р техн. наук, профессор
кафедры «Строительство
дорог транспортного
комплекса»
Петербургского
государственного
университета путей
сообщения Императора
Александра I (ПГУПС),



Н. Н. Султанов,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Строительство
дорог транспортного
комплекса» ПГУПС,



Д. А. Каковко,
аспирант кафедры
«Строительство
дорог транспортного
комплекса» ПГУПС

Трамвай, как и любой городской транспорт, влияет на окружающую среду. Его основными негативными воздействиями, в направлении минимизации которых ведется работа, являются вибрации и шум. Применяемые до настоящего времени новые конструкции пути с прирельсовыми вкладышами уже доказали свою эффективность. Однако использование новых материалов для изготовления вкладышей требует актуализации технических условий на их изготовление.

Источниками вибрационных и шумовых воздействий, производимых трамваем, являются дефекты поверхности катания рельсов и колес [1], неизбежно возникающие в ходе эксплуатации. При соблюдении установленных норм текущего содержания они не представляют угрозы безопасности движения.

В условиях городской застройки шум и вибрация серьезно влияют на качество жизни населения, эксплуатацию близлежащих зданий и сооружений, комфорт пассажиров и привлекательность трамвая как современного вида городского транспорта [2, 3]. Для снижения уровня шума и вибрации при капитальном ремонте трамвайных путей и новом строительстве активно применяются современные конструкции, включающие прирельсовые профили (вкладыши и мастики). Проведенные исследования показывают, что шум от подвижного состава при проходе по путям с прирельсовыми профилями значительно меньше, чем при проходе по путям, выполненным по старым технологиям (без их использования) [3, 4].

Профили в конструкции трамвайного пути выполняют следующие функции: поглощение шума и вибрации; закрепление рельса; восприятие нагрузок и сил от колеса и передача на основание; устройство деформационного шва между рельсом и прилегающим дорожным покрытием [5, 6]; формирование желоба (при использовании железнодорожных рельсов).

Прирельсовые вкладыши в конструкциях трамвайного пути располагаются

в двух зонах: под подошвой рельса — подошвенные профили; по боковой поверхности рельсов — боковые (наружные и внутренние), предназначенные для установки в пазухи рельсов. Профили обычно приклеиваются к поверхности рельса при помощи полиуретановой мастики. Также в зависимости от конструкции дорожной одежды между профилем и покрытием может заливаться горячая битумная мастика или устраиваться стык с помощью плавкой битумно-полимерной ленты.

От колес подвижного состава на путь передается сложное силовое воздействие, которое можно разложить на вертикальные и горизонтальные (поперечные и продольные) составляющие: вертикальные силы, вызывающее осадку и изгиб рельсов; боковое давление (изгиб рельсов и поперечный сдвиг пути); продольные силы (угон рельсовых нитей).

Следовательно при эксплуатации прирельсовых профилей в элементах шумо- и виброизоляции возникают следующие напряжения:

- сжатия: в подошвенной зоне в основном от вертикальных сил колес трамвая; в боковой зоне сжатие спровоцировано наличием подуклонки рельса, движением трамвая в кривой, наличием температурных напряжений;
- растяжения — в боковой и подошвенной зоне.

Напряжения растяжения в подошвенной зоне возникают в области рельсовой волны перед трамваем. При обеспечении адгезии вкладыша (мастики) к бетону и подошве рельса материал будет под-

вержен растяжению в зоне перед трамваем, так как под колесом профиль (мастика) будет сжиматься. Дополнительные силы растяжения будут провоцироваться температурными напряжениями в летний период, когда длина рельса увеличивается.

Напряжения растяжения в боковой зоне будут провоцироваться: температурными напряжениями, боковой нагрузкой на рельс за счет конусности колеса (с одной стороны рельса профиль будет сжиматься, а с другой — растягиваться), боковыми силами при движении трамвая в кривой.

Анализ работы подошвенных и боковых вкладышей показывает, что они выполняют разные функции, подвергаются разным типам воздействий, следовательно, и требования к ним должны быть различны [7], их свойства не регламентированы в правилах технической эксплуатации трамвая¹.

В настоящий момент основные физико-механические свойства профилей и материалы их изготовления регламентированы ТУ 2539–001–03222089–2011 «Профили резиновые подошвенные» и ТУ 2539–002–03222089–2011 «Профили резиновые боковые».

Для выполнения своих функций профили должны обладать следующими свойствами: демпфирование колебаний; водонепроницаемость; эластичность; упругость, восстановление первоначального вида после принятия от рельсов деформаций, возникающих из-за горизонтальных и вертикальных сил; совместимость с горячей заливкой мастики; термостойкость при укладке асфальта; возможность геометрической корректировки; устойчивость к химической и ультрафиолетовой коррозии; устойчивость к противогололедным реагентам; удобство при монтаже (возможность подрезки на месте).

Согласно техническим условиям (ТУ), для изготовления профилей применяют резиновую и полимерную смесь, обеспечивающую соответствие изделия необходимым требованиям, приведенным в технических условиях: твердость по Шору; условная прочность при растяжении; относительное удлинение при разрыве; относительная остаточная деформация при 20% статической деформации сжатия после старения в воздухе при температуре $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение $(240 - 2)$ ч.

Эта группа требований характеризует прочностные и деформативные свойства вкладышей, которые являются наиболее существенными при оценке их работы в пути.

Твердость по Шору — это метод измерения твердости материалов, разработанный Альбертом Шором в 1920-х гг. Он создал несколько шкал для оценки твердости различных материалов, наиболее известные из которых — шкалы Шор А и Шор D. Шкала Шор А используется для измерения твердости более мягких материалов, таких как резина, эластомеры и мягкие пластики. Твердость материалов по Шору определяется глубиной проникновения индентера в материал, при этом она оценивается в условных единицах, где 0 — максимальное проникновение (низкая твердость), а 100 — отсутствие проникновения (максимальная твердость).

В актуализированную версию ТУ предлагается включить новый параметр — модуль упругости. Он является физической величиной, которая прямым образом характеризует деформируемость материала и может быть полезна в расчетах пути на прочность, в оценке жесткости пути.

Поскольку твердость по Шору определяется мерой вдавливания индентера, т. е. почти полностью упругой деформацией, существует зависимость между твердостью по Шору и модулем упругости. Однако вдавливание, полученное испытанием по Шору при небольшой упругой деформации, зависит не только от модуля упругости, но и от приложенной нагрузки, форм индентера (его типа) и времени вдавливания, поэтому зависимости этих двух величин носят сложный характер и данные показатели не всегда взаимозаменяемы [8].

Метод определения твердости по Шору скорее представляет собой эмпирическую проверку, предназначенную в первую очередь для целей контроля [8].

Согласно ГОСТ 24621–2015 «Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору)», не существует простой зависимости между твердостью вдавливания, определенной этим методом, и какими-либо фундаментальными свойствами испытуемого материала.

Оставшиеся требования можно разделить на две группы: учитывающие эксплуатационные условия работы вкладышей и конструктивные особенности пути с применением вкладышей.

К требованиям, учитывающим эксплуатационные условия работы вкладышей, можно отнести:

- температурный интервал применения с сохранением своих свойств;
- изменение массы после воздействия в течение (24 ± 1) ч при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ (водопоглощение);
- температурный предел хрупкости;
- изменение относительного удлинения при разрыве после старения в воздухе при $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение $(24 \pm 0,5)$ ч;
- коэффициент морозостойкости по эластичному восстановлению после сжатия при -25°C .

Эта группа требований характеризует надежность и долговечность материала вкладыша применительно к условиям его эксплуатации. Показатели характеризуют свойства материала вкладышей под действием низких и высоких температур, влажности, тем самым учитывая характер эксплуатации вкладышей: круглогодично в широком диапазоне температур, на открытом воздухе, подвергаясь температурному старению и воздействию воды.

При этом условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве и изменение относительного удлинения при разрыве после старения в воздухе при $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение $(24 \pm 0,5)$ ч (%) не могут быть отнесены к обязательным требованиям, так как влияние их на работоспособность вкладышей (как показал опыт эксплуатации) незначительно, а относительное удлинение мало.

К требованиям, учитывающим конструктивные особенности пути с применением вкладышей, можно отнести: удельное объемное сопротивление электрическому току и кратковременная термостойкость. Требования к термостойкости определяют применение профилей в конструкциях с дорожной одеждой из литого асфальтобетона. Температура асфальтобетонной смеси в момент укладки может достигать $180 - 220^\circ\text{C}$.

Вкладыши изготавливаются из различных материалов (полимерные, композитные и т. п.), что не учитывается разработанными ранее техническими условиями. При этом опыт последних лет и испытания крупных зарубежных компаний — TINES (Польша), PDT profiles (Германия), Sika (Швейцария), Getzner Werkstoffe GmbH (Австрия), Prefa (Бельгия) — показали практичность и целесообразность использования новых мате-

¹ Правила технической эксплуатации трамвая. М., 2001 г.



Рис. 1. Модель конструкции трамвайного пути с вкладышами

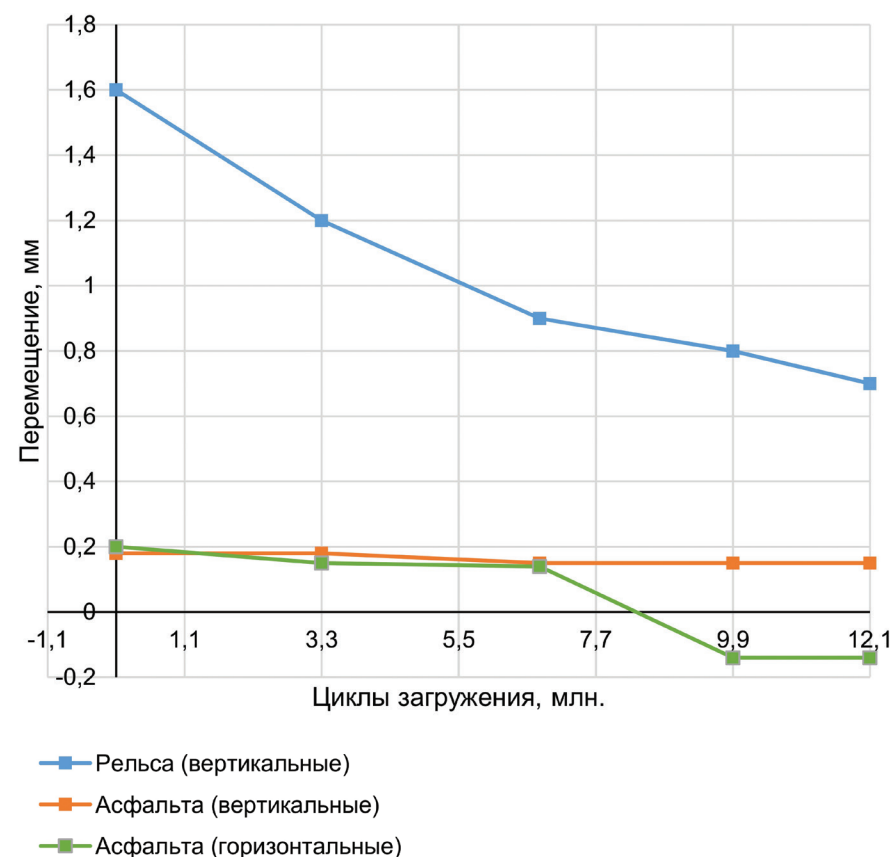


Рис. 2. График перемещений испытываемых элементов в зависимости от числа циклов нагрузки

риалов и конструкций трамвайного пути.

В ПГУПС разработана конструкция пути на беспшальном основании, и проведены лабораторные испытания [5, 9] вкладышей Prefarails, которые не отвечают разработанным ТУ 2539-001-03222089-2011 «Профили резиновые подшвенные» и ТУ 2539-002-03222089-

2011 «Профили резиновые боковые» по ряду физико-механических требований к самому материалу (относительное удлинение при разрыве, остаточная деформация при сжатии и т. п.).

При этом испытания проводились не только самих вкладышей, но и модели, имитирующей действующую конструк-

цию трамвайного пути с вкладышами (рис. 1). Параметры испытуемого образца: размеры модели 1000×450×505 мм; несущее основание из фибробетона В35; рельсы Ri60; осевая нагрузка 83,35кН/ось; направление действия нагрузки вертикальное; вкладыши компании Prefarails; количество циклов нагружения 12 млн циклов; частота 5 Гц.

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. 2).

Результаты лабораторных исследований показали, что конструкция пути обеспечивает надежную и безопасную эксплуатацию 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. По данным ГУП «Горэлектротранс» за 25 лет, что соответствует сроку службы рельсов, среднее количество циклов нагружения составляет около 5 млн циклов.

Для улучшения характеристик профилей и возможности использования современных материалов, а также с целью обеспечения их надежной работы и долговечности, ТУ на прирельсовые вкладыши требуют актуализации.

Для обеспечения оптимальной работоспособности прирельсовых вкладышей необходимо разделить параметры контроля на три группы:

1. Обязательные:

- температурный интервал применения с сохранением своих свойств;
- твердость по Шору А;
- модуль упругости;
- относительная остаточная деформация при 20 % статической деформации сжатия после старения в воздухе при температуре $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (24) ч;
- изменение массы после воздействия в течение (24 ± 1) ч при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ (водопоглощение), %;
- температурный предел хрупкости;
- удельное объемное сопротивление электрическому току;
- коэффициент морозостойкости по эластичному восстановлению после сжатия при -25°C ;
- термостойкость кратковременная;

• циклические испытания.
2. Желательные (зависят от условий эксплуатации): условная прочность при растяжении, МПа (не менее).

3. Необязательные (не влияют на работу вкладышей):

- относительное удлинение при разрыве, % (не менее);
- изменение относительного удлинения при разрыве после старения в воздухе при $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение $(24 \pm 0,5)$ ч, % (в пределах).

Количественная характеристика этих показателей требует дополнительных исследований.

Прирельсовым профилям отводится важная роль в любых современных конструкциях трамвайных путей. Профили являются связующим звеном, объединяющим рельс, подрельсовое основание и дорожное покрытие в единую систему, обеспечивая совместную работу всех ее элементов без нарушения целостности или снижения эксплуатационных качеств ее элементов.

Геометрические параметры профилей и свойства их материалов существенно влияют на работу рельсового пути, его надежность и долговечность, а также на

эксплуатационные качества трамвайной линии в целом, уровень воздействия на окружающую среду. **Т**

Источники

1. Кустенко А. А. Исследование влияния шума и вибрации в трамвайном движении // Вестник Курганского государственного университета. 2017. № 2 (45). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-shuma-i-vibratsii-v-tramvaynom-dvizhenii> (дата обращения: 12.07.2024).
2. Романовская Н. В. Оценивание параметров виброизоляции трамвайных путей по результатам исследования математической модели // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2013. № 3 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenivanie-parametrov-vibroizolyatsii-tramvaynyh-putey-po-rezultatam-issledovaniya-matematicheskoy-modeli> (дата обращения: 12.07.2024).
3. Дудкин Е. П., Китаев С. В., Востриков О. В. Опыт эксплуатации трамвайных путей в Санкт-Петербурге // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 3 (82) С. 47–50.

4. Левадная Н. В., Черняева В. А. Рациональные меры и средства снижения городского шума // Транспорт Российской Федерации. 2014. № 4. С. 76–78.
5. Дудкин Е. П., Параскевопуло Ю. Г., Султанов Н. Н. Использование фибробетона в конструкции трамвайных путей // Транспорт Российской Федерации. 2012. № 3–4 (40–41) С. 77–79.
6. Косой Ю. М. Устройство дорожного покрытия на стыке с трамвайными путями // Жилищное и коммунальное хозяйство. 1995. № 4–5. С. 49.
7. Романовская Н. В. Разработка технических условий на резиновые вкладыши для рельсов трамвайных путей // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. № 3. С. 251–256.
8. Chellappa Chandrasekaran. Anticorrosive Rubber Lining. William Andrew Publishing, 2017. Pp. 165–172. DOI: 10.1016/B978-0-323-44371-5.00019-0.
9. Дудкин Е. П., Параскевопуло Ю. Г., Султанов Н. Н., Параскевопуло Г. Ю. Городской рельсовый транспорт: инновационные конструкции трамвайного пути на выделенном полотне // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 4 (47). С. 51–53.



Общероссийская общественная организация

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА – В ЦИФРАХ

Академия включает
48 РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ



СОСТАВ ОО «РАТ» В 2023 ГОДУ

> 680 УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ:

170 ДОКТОРОВ НАУК

510 КАНДИДАТОВ НАУК

260 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ РАТ



ДАТА ОСНОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ТРАНСПОРТА:

26 июня 1991 года

www.rosacademtrans.ru

Транспортные проблемы г. Омска



Э. А. Сафронов,
д-р техн. наук, профессор
кафедры «Организация
и безопасность
движения» Сибирского
государственного
автомобильно-дорожного
университета (СибАДИ),



Е. С. Семенова,
канд. экон. наук, доцент
кафедры «Управление
качеством» СибАДИ

В последние годы в г. Омске обострились проблемы с транспортным обслуживанием населения как в новых, так и в старых районах. Нарушение градостроительных нормативов, невыполнение решений генплана и отсутствие метро приводят к увеличению транспортных, коммунальных и иных расходов, ухудшению показателей безопасности, доступности и экологии города.

Транспортные проблемы крупных городов в нашей стране имеют свою историю и специфику. Изначально их основные параметры были рассчитаны на общественный транспорт. В результате автомобилизации, уровень которой в настоящее время превышает значение 1995 г. в 3,5 раза, в прибыли остались лишь зарубежные компании. Об этом можно судить по потерям, которые они понесли в результате ухода с российского рынка в связи с наложением на Российскую Федерацию санкций. Потери иностранных производителей превышают 38 млрд дол. США, наибольшие из которых относятся к фирмам из Японии, ФРГ, Франции и др.

При этом наблюдается увеличение производства отечественных автомобилей. В 2024 г. по сравнению с 2023 г. оно составило 32,5% по всем видам выпускаемого автотранспорта¹.

Возникшие в городах проблемы в сфере безопасности, экологии и заторов приводят к значительным экономическим проблемам. При этом законодательная база градостроительства не помогает их решать. Необходимо комплексное решение транспортной логистики, включая использование для этого новых видов транспорта.

Проблемы градостроительства

На условия жизни населения влияет множество факторов. В качестве главных выделим форму плана города и состояние градостроительных показателей — плотность населения и транспортной сети. Причем, второй показатель напрямую связан с первым [1].

Анализ планировки г. Омска проведен с использованием графоаналитического метода Центрального научно-исследовательского и проектного института по градостроительству (Москва) [2].

Он основан на анализе застройки города с использованием концентрических окружностей. При этом градостроительные показатели г. Омска оказались в два раза ниже нормативов. Плотность населения города — 4500 чел./км², плотность транспортной сети — 1 км/км².

Основная проблема заключается в том, что показатели продолжают снижаться, что приводит к ухудшению транспортного и коммунального обслуживания населения. Основная причина — увеличение территории города при одновременном уменьшении численности населения [3].

За последнюю четверть века по официальным данным население города сократилось на 60,0 тыс. жителей и составило 1104,5 тыс. на 2024 г. В то же время территория новой застройки вышла за пределы 10-ти километровой зоны от центра. Причина такого положения — невыполнение решений генерального плана города на 2000 г. по размещению застройки. Генплан г. Омска на 2025 г. отрицает генплан на 2000 г., включая территорию аэропорта — в нем она уже застроена. На самом деле застройка размещена за пределами города.

В генплане г. Омска на 2000 г. в зоне 4 км от центра города (Главпочтамт) планировалась застройка улиц Герцена, Тарской, Северных, Линий и других участков. Однако по состоянию на 2024 г. эти планы не реализованы, а новая жилая застройка вышла за пределы 10-ти километровой зоны от центра.

На рис. 1 показан генплан г. Омска на 2000 г., и отмечены участки новой застройки, которые появились к 2024 г. Но они оказались не в центральной зоне города (4 км от центра), как это планировалось, а в районе 10-километровой зоны и далее.

В новых отдаленных районах проживает более 100 тыс. жителей, но поскольку они удалены от центра в 2,5 раза, то и все затраты на транспортную логистику и коммунальное обслуживание для этой группы населения пропорционально вы-

¹ Сколько потеряли автопроизводители после ухода из России. URL: <https://rg.ru/2022/11/07/skolko-poteriali-avtoproizvoditeli-posle-uhoda-iz-rossii.html> (дата обращения: 11.03.2025).

росли. При этом плотность населения сократилась до 4 тыс. жит./км². Ухудшились показатели транспортной системы, включая доступность остановочных пунктов. Это привело к резкому росту стоимости проезда на общественном транспорте и коммунальных услуг.

В результате повысились дотации города на компенсацию данных потерь. Это происходит в условиях недостаточного бюджетного финансирования. В 2024 г. в г. Омске оно составило 34,5 млрд руб., Тюмени — 40,7, Красноярске — 61,1, Новосибирске — 102,5 млрд руб.

Средняя зарплата в Омске в 2024 г. составила 64 тыс. руб., в среднем по РФ — 82 тыс. руб. По уровню зарплаты г. Омск занимает 41 место среди крупных городов РФ. Это вызывает недовольство населения и является причиной его оттока из города.

Ухудшение условий проживания населения приводит к большим сопутствующим потерям. Затраты времени на поездки повышают транспортную усталость, приводят к росту ДТП и ухудшению экологии. К дополнительным потерям ведет увеличение площади жилой застройки, которой требуются затраты для благоустройства территории, вывоза мусора, озеленения, дополнительных объектов обслуживания, торговли и медицины.

Таким образом, все ведет к хуторскому расселению начала 20 в. В центре остается одноэтажная ветхая деревянная застройка без современных удобств, неблагоустроенные территории формируют социально неблагополучные слои населения, — все это ухудшает городскую среду.

Размещение застройки на левом берегу Иртыша следует считать преждевременным и экономически необоснованным, поскольку ресурсы правого берега остались неиспользованными. Новый генплан на 2040 г. предлагает размещать жилые площадки таким образом (рис. 2), что жилые массивы 1, 3, 7, 8 и 13 расположены на расстоянии более, чем 8 км от центра города. Такие решения ухудшают планировочные показатели [4].

Правобережная территория города на 50 % занята одноэтажной ветхой застройкой. Нужен комплекс мероприятий по освоению этой территории, включая экономические интересы населения. Освоение левого берега было очень затратным, пришлось делать большой намыв территории. В результате Омск-Арена вышла из строя и пришлось возводить новую G-Drive Арену за 12 млрд руб.

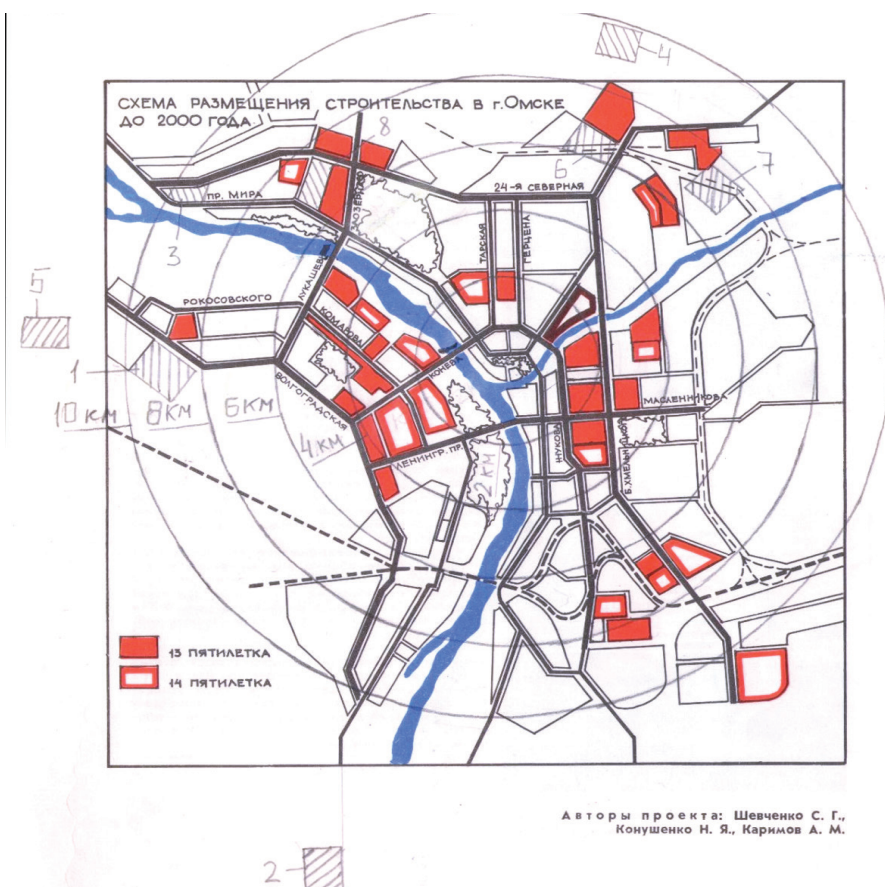


Рис. 1. Генплан г. Омска на 2000 г. Жилая застройка за последний период на 2024 г.
1 – ЖК «Зеленая река»; 2 – ЖК «Ясная Поляна»; 3 – ЖК «Пригородный»; 4 – ПГТ «Большие поля»; 5 – ЖК «Рябиновка»; 6 – ЖК «Новый Амур»; 7 – ЖК «Успешный»; 8 – ЖК «Модерн»

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ СХЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ



Рис. 2. Генплан г. Омска на 2040 г. Перечень строящихся и запланированных микрорайонов
1 – ЖК «Сады Науки»; 2 – ЖК «Регата»; 3 – ЖК «Снегири»; 4 – ЖК «Золотой Парус»; 5 – ЖК «Граф»; 6 – ЖК «Дом на Кемеровской»; 7 – ЖК «Волгоградская Звезда»; 8 – ЖК «ПАРК-квартал «Королев»»; 9 – ЖК «Кварталы Драверта»; 10 – ЖК «Родные Пенаты»; 11 – ЖК «ИмПарк»; 12 – ЖК «Северное Сияние»; 13 – ЖК «Березка»

Следует отметить, что застройка многих крупных городов не размещается на другом берегу — Самара, Волгоград, Ростов-на-Дону, Уфа.

Транспортные проблемы

Проблемы в сфере городского транспорта возникают в связи с нарушением градостроительных нормативов по плотности населения и транспортной сети в течение многих десятилетий. Например, решение о строительстве Омского метро принято в 1985 г., строительство началось в 1995 г., но не завершено до сих пор. Капвложения составили 20 млрд руб., а ситуация в городе только ухудшилась.

Последнее крупное обсуждение транспортного вопроса состоялось в марте 2014 г. Это был проект системы легкорельсового транспорта, разработанный в Москве (ООО «Агентство «Городские проекты»») по инициативе губернатора Омской обл.

На рис. 3 показан последний вариант транспортной системы ЛПТ, который прошел общественное обсуждение и получил одобрение на региональном уровне. Планировалось построить объект протяженностью 100 км за шесть лет. Более 60 % населения могли бы его использовать. Система планировалась по типу г. Кельна, когда центр проходит под землей, остальные линии — наземные.

Однако реализация проекта легкорельсового транспорта отложена, в связи с чем метромост через Иртыш недогружен, поскольку работает только его автодорожная часть [5].

Сопутствующая проблема — это опасность дорожного движения. Эффективным способом ее повышения является скоростной внеуличный транспорт. Напомним, что в январе 2018 г. правительством утверждена Стратегия безопасности дорожного движения в РФ на 2018–2024 гг. В ней к 2024 г. предусматривалось снижение числа погибших от ДТП в 3,25 раза (до четырех погибших на 100 тыс. населения), а к 2030 г. — достижение нулевой смертности на дорогах [6]. Однако поставленная в Стратегии цель выполнена лишь на 24 %.

В проекте новой Стратегии безопасности дорожного движения в РФ на 2025–2035 гг. предусматривается снижение социального риска в 2030 г. по сравнению с базовым 2023 г. в 1,5 раза, а в 2035 г. — в 2 раза. Таким образом, показатель со-

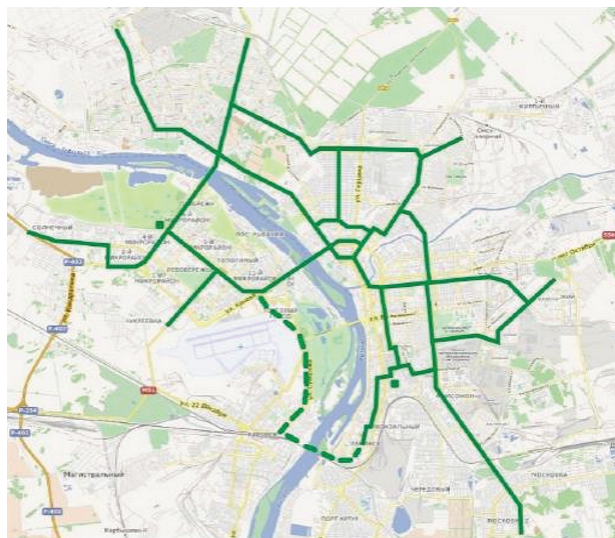


Рис. 3. Предлагаемая система легкорельсового транспорта в г. Омске, 2014 г.

ставит соответственно по годам 9,9, 6,6, 4,95 погибших на 100 тыс. жителей.

Заклучение

Состояние транспортной инфраструктуры города зависит от целого ряда факторов: планировки города; размещения жилых и иных планировочных зон; соблюдения градостроительных правил; компактности и экономичности застройки; транспортного каркаса; правильного выбора видов транспорта; предпочтения долговечным и высокопроизводительным системам [7, 8].

Современные технические решения необходимы для экономии времени и сил населения, снижения аварийности и загрязнения среды [9]. При правильной организации процесса можно добиться успехов и в сфере транспортной инфраструктуры городов. Это дает стимул для ускоренного развития экономики и улучшения условий жизни населения.

Крупные города РФ должны получить возможность активного участия в развитии своей транспортной инфраструктуры, что отвечает положениям действующей Конституции РФ об ответственности муниципальных властей.

Следует отметить положительные сдвиги в поставленной проблеме. Так, по заявлению главного архитектора г. Омска Р. В. Воробьева, в городе будет реализована программа комплексного развития территорий. Работы начинаются в Центральном округе города, где на месте большого участка индивидуальной жилой застройки, в основном с высокой степенью износа, появится комфортабельный многоэтажный район.

Комплексное развитие территорий предполагает строительство социаль-

ных объектов: транспортной инфраструктуры, инженерных сетей, школ, поликлиник и др. Программа направлена на повышение эффективности использования территорий правого берега Иртыша, создание необходимых условий для совершенствования транспортной и социальной инфраструктуры и обновление застроенных участков земли.

В департаменте архитектуры идет подготовка к проведению аукциона на право заключения договора по ее застройке. Решение затронутых проблем приведет к ускоренному развитию города и улучшению условий жизни населения. Т

Источники

1. Сафронов Э. А., Сафронов К. Э. Влияние формы плана города на эффективность градостроительства // Градостроительство. 2014. № 4 (32). С. 20–24.
2. Якшин А. М., Говоренкова Т. М., Каган М. И. и др. Графоаналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании. М., 1979. 104 с.
3. Дохтуров П. П. Влияние форм городских территорий на количество и дальность передвижений населения // Архитектура СССР. 1965. № 6.
4. Агуреев И. Е., Пышный В. А., Куценко Л. Е. и др. Вопросы управления городскими транспортными системами: монография. Пенза, 2017. С. 72–94.
5. Сафронов Э. А., Сафронов К. Э. Методика расчета загрузки линий метрополитена // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, экономике, практике. 2012. № 3–4 (40–41). С. 26–29.
6. Сафронов Э. А., Сафронов К. Э., Семенова Е. С. Методы повышения результативности «Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы» // Автомобильный транспорт. 2018. № 5. С. 34–39.
7. Логистика: общественный пассажирский транспорт: учебник / под общ. ред. Л. Б. Миротина. М.: Экзамен, 2006. 224 с.
8. Рингерт Л. Введение в универсальный дизайн: учебник. Университет штата Северная Каролина, 2006. 127 с.
9. Хомич В. А. Экология городской среды: учебное пособие для вузов. М.: Изд-во АСВ, 2006. 240 с.

Александр С. Мишарин, д-р техн. наук, президент Российской академии транспорта (РАТ),

Илья П. Потапов, исполнительный директор РАТ.

Четыре года трансформации: векторы развития транспортной науки и итоги деятельности Российской академии транспорта // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 3–4.

В марте 2025 г. состоялась отчетно-выборная конференция Российской академии транспорта, которая стала поводом для подведения итогов четырехлетнего периода и определения приоритетов научного сопровождения развития транспортной системы России. В условиях структурных изменений отрасли Академия выступила как опорная научно-экспертная структура, способная отвечать на вызовы времени и формировать направления технологического обновления.

Ключевые слова: Российская академия транспорта, транспортная наука, научное сопровождение транспортной системы России

Контакты: i.potapov@rosacademtrans.ru

Наталья С. Мигда, канд. юрид. наук, доцент кафедры «Публичное право» Государственного морского университета имени адм. Ф. Ф. Ушакова.

Финансово-правовое обеспечение развития транспортных технологий и информационного обеспечения // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 5–9.

Исследованы основные проблемы во взаимодействии органов власти и частных инвесторов в сфере финансирования проектов транспортной сферы, т. е. государственно-частного партнерства. Определены спорные аспекты в области взаимодействия государства и инвесторов, предложены пути решения некоторых проблем посредством стабилизации их диалога с помощью концессионных соглашений.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, транспортная трансформация, финансы, национальные проекты

Контакты: Natashachebanova90@gmail.com

Наталья А. Журавлева, д-р экон. наук, директор Института прикладной экономики и бухгалтерского учета железнодорожного транспорта, профессор кафедры «Экономика транспорта» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),

Игорь Л. Сакович, канд. экон. наук, первый заместитель начальника Октябрьской железной дороги по экономике, финансам и корпоративной координации — филиала ОАО «РЖД»,

Елена В. Новикова, главный специалист отдела методологии бюджетирования и ценообразования управления экономики железнодорожного транспорта Института прикладной экономики и бухгалтерского учета железнодорожного транспорта ПГУПС.

Использование больших данных в сценарном анализе развития транспортного полигона Северо-Западного федерального округа // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 10–14.

Проекты развития транспортной, прежде всего железнодорожной, инфраструктуры должны быть реализованы под достоверно оцененные объемы перевозок. При этом меняющаяся геоэкономика изменяла структуру и объемы перевозимых грузов, что существенно затрудняет обоснование эффективности таких проектов. Обосновано, что большие данные и их сценарный анализ могут существенно усилить аргументацию транспортного развития полигонов железных дорог.

Ключевые слова: сценарный анализ, неструктурированные данные, агентное моделирование, прогнозы грузоперевозок

Контакты: zhuravleva_na@mail.ru

Анастасия А. Головина, старший преподаватель кафедры «Публичное право» Государственного морского университета им. адм. Ф. Ф. Ушакова.

Совершенствование законодательства об ответственности за совершение актов морского пиратства // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 15–17.

Современное уголовное законодательство России в ст. 227 УК РФ содержит норму об уголовной ответственности за совершение актов морского пиратства, фактически являющуюся специальной нормой по отношению к статье 162 УК РФ («Разбой»). Проведенный анализ данных норм показал наличие дискуссионных вопросов, способных создать проблемы в рамках правоприменения. По результатам исследования сформулированы выводы и предложения.

Ключевые слова: морское пиратство, безопасность мореплавания, убийство, квалификация, разбой, морской транспорт

Контакты: a.a.golovina@mail.ru

Дмитрий В. Ефанов, д-р техн. наук, профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), профессор Российского университета транспорта (МИИТ),

Евгений М. Михайлюта, аспирант, инженер Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ.

Технологические основы разработки интеллектуальных систем управления движением поездов с тесно интегрированными безопасными комплексами мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 18–25.

Предложена укрупненная архитектура системы управления движением поездов с тесной интеграцией с системами автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры. Разработана модель ее надежности. Предложены способы информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов. Описанные решения целесообразно учитывать при разработке принципиально новых безопасных систем управления движением поездов с интеллектуальным анализом условий возникновения внешних дестабилизирующих факторов и парированием их проявлений.

Ключевые слова: безопасность перевозочного процесса на железных дорогах, система автоматизированного мониторинга объектов инфраструктуры железных дорог, информационное сопряжение систем управления и мониторинга, адаптивное управление с учетом данных мониторинга

Контакты: tres-4b@yandex.ru

Анастасия О. Баранникова, канд. ист. наук, научный сотрудник Научной лаборатории пространственной логистики Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского,

Анна К. Вороненко, эксперт Научной лаборатории пространственной логистики МГУ им. адм. Г. И. Невельского.

Проблемы подготовки данных для обучения нейросети с целью анализа и прогнозирования тарифов на морском транспорте // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 26–30.

Рассмотрены проблемы, возникающие на этапе подготовки обучающих данных для нейросети, анализирующей тарифы на перевозки стандартных контейнеров морским транспортом между портами Китая и Приморского края России, в перспективе способной с приемлемой точностью прогнозировать изменения в тарифных планах грузоперевозчиков.

Ключевые слова: тарифы на транспорте, ставки

фрахта, транспортная логистика, СОС, SOC, искусственный интеллект, нейросети, интеллектуальные транспортные системы, машинное обучение, программирование на языке Python

Контакты: electronicccm@yandex.ru

Николай Г. Шешера, канд. техн. наук, старший научный сотрудник Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДГУПС),

Игорь Н. Пугачев, д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения РАН, профессор кафедры изысканий и проектирования железных и автомобильных дорог ДГУПС,

Денис Е. Григоров, начальник кабинета специальных дисциплин кафедры информационного и технического обеспечения ОВД Дальневосточного юридического института МВД России имени И. Ф. Шилова.

Исследование интенсивности транспортных потоков методами машинного обучения для интеллектуальных транспортных систем // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 31–36.

Показано, что эффективность интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях зависит от возможностей их программно-аппаратных комплексов по анализу интенсивности транспортных потоков. При этом на сегодняшний день с использованием нейронных сетей данный параметр считают по видеопотоку, моделируют для прогноза. Такую модель нельзя считать универсальной, так как она обучена с учетом узкого набора данных. Предлагается универсальный метод прогноза интенсивности транспортного потока на основе исследований алгоритмов машинного обучения.

Ключевые слова: интенсивность транспортного потока, городские агломерации, методы машинного обучения, интеллектуальные транспортные системы

Контакты: kolyaka239@mail.ru

Александр А. Воробьев, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),

Ян С. Ватулин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС,

Андрей С. Батаев, канд. техн. наук, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы» ПГУПС,

Эдуард Ю. Чистяков, старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и технологии» ПГУПС

Оценка динамического воздействия высокоскоростного подвижного состава на эстакадные и мостовые сооружения на грунтах с пониженной несущей способностью // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 37–42.

Выполнена оценка степени влияния вибрационного воздействия высокоскоростного подвижного состава на несущие элементы эстакады, расположенной в прибрежной зоне, с учетом нагрузки на опоры от набегавших волн. Установлен волновой характер распределения деформаций и ускорений в толще грунта и теле эстакады с тенденцией резкого снижения интенсивности энергетических процессов в пределах глубин заложения свайного фундамента. Предложена методика численного исследования напряженно-деформированного состояния эстакады и прилегающего грунта с пониженной несущей способностью при общем воздействии набегавших волн и движущегося высокоскоростного поезда.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, имитационное моделирование, модальный анализ, высокоскоростной подвижной состав, динамическое исследование,

распределение модальных (эффективных) долей массы конструкции

Контакты: 79219751198@yandex.ru

Олег В. Москвичев, д-р техн. наук, директор Института управления и экономики Приволжского государственного университета путей сообщения (ПривГУПС),

Елена Е. Москвичева, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы» ПривГУПС,

Анжелика А. Грузд, преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» ПривГУПС.

Научно-методический подход к интеграции цифровых технологий в работу железнодорожных грузовых станций и примыкающих путей необщего пользования // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 43–47.

Представлен поэтапный научно обоснованный методический подход к принятию решений по внедрению и/или интеграции цифровых технико-технологических решений в условиях ограниченности инвестиционных ресурсов и специфики работы грузовых железнодорожных станций и примыкающих путей необщего пользования. Разработана математическая модель, основанная на теории массового обслуживания, иллюстрирующая взаимодействие станции и примыкающих к ней путей. Результаты моделирования позволяют определить барьерные места в процессе информационного и технологического взаимодействия рассматриваемых объектов. Предлагается рассмотреть оригинальный классификатор цифровых технико-технологических решений.

Ключевые слова: цифровые технологии, классификатор цифровых решений, грузовая железнодорожная станция, путь необщего пользования, перерабатывающая способность станции, теория массового обслуживания

Контакты: moskvichev063@yandex.ru

Ирина В. Моргунова, соискатель кафедры автомобильного транспорта Оренбургского государственного университета (ОГУ),

Наталья В. Якунина, д-р техн. наук, профессор кафедры автомобильного транспорта ОГУ,

Виталий В. Котов, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта ОГУ.

Модель рисков несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения при регулярных городских перевозках // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 48–51.

Актуальность статьи обусловлена недостаточной изученностью одного из показателей качества перевозок пассажиров по регулярным городским маршрутам в виде несвоевременного прибытия пассажиров в пункт назначения. С использованием положений теории квалитметрии, методов анализа иерархий Т. Саати, попарного сравнения Парето разработана модель рисков, вызывающих такой нежелательный эффект. В результате моделирования установлены процессы, в наибольшей степени влияющие на риски несвоевременного прибытия пассажиров к месту назначения.

Ключевые слова: пассажирский автомобильный транспорт, риски, качество перевозок

Контакты: yakunin-n@yandex.ru

Александр Н. Антропов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС),

Татьяна А. Антропова, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей» УрГУПС,

Константин М. Колясов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны» УрГУПС.

Сходства и различия базовых подходов к вопросам взаимодействия колеса и рельса на отечественных и иностранных железных дорогах // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 52–55.

Рассмотрены первичные вопросы взаимодействия колесных пар подвижного состава с рельсами с точки зрения особенностей этой проблемы на железных дорогах России и мира. Проанализированы сходства и различия конструкций подвижного состава и путевой инфраструктуры, технологий и условий эксплуатации. Выявлены общие базисы, исследовано пятно контакта колеса и рельса, рассмотрено влияние на него профилей катания колеса. Сделаны выводы о необходимости применения комплексного подхода к решению проблемы для формирования единой всесторонней теории взаимодействия, охватывающей все аспекты контактирования колесных пар с рельсами.

Ключевые слова: взаимодействие рельса и колеса, пятно контакта, относительное проскальзывание, динамические нагрузки, объемно-напряженное состояние металла

Контакты: antropovan@mail.ru

Вероника Ю. Ланцева, канд. юрид. наук, доцент кафедры публичного права Института морского транспортного менеджмента, экономики и права Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова

Снижение вредного воздействия морского транспорта на окружающую среду: проблемы и пути решения // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 56–59.

Проанализированы ключевые виды загрязнения окружающей среды, возникающие при эксплуатации морского транспорта. Особое внимание уделяется биологическому загрязнению морскими судами акватории Черного моря. По результатам исследования предлагаются меры снижения вредного воздействия морского транспорта на окружающую среду.

Ключевые слова: окружающая среда, морской транспорт, биологическое загрязнение, химическое загрязнение, интродукция, балластные воды

Контакты: lantseva.v@yandex.ru

Алексей В. Ключанов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы» Приволжского государственного университета путей сообщения.

Автоматизированная система управления учета запасными частями на железнодорожной станции // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 60–64.

Выделены особенности и преимущества схемы доукомплектования запасными частями посредством их перераспределения между стеллажами рабочей группы в текущий момент времени. Уточнены компоненты автоматизированной системы управления запчастями и их взаимодействие между собой в единой информационной сети. Рассмотрены функциональные возможности комплекса автоматизированных стеллажей. Разработан комплексный критерий, позволяющий провести экспертную оценку предложенной системы.

Ключевые слова: автоматизированная система хранения, автоматизированный стеллаж, информационная сеть, тензодатчик, склад снабжения, запасные части

Контакты: kav.samara@mail.ru

Марина В. Ерхова, канд. пед. наук, доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин Ульяновского института гражданской авиации им. главного маршала авиации Б. П. Бугаева (УИГА),

Павел В. Зобов, канд. экон. наук, декан факультета подготовки авиационных специалистов УИГА.

Влияние личностных особенностей пилотов гражданской авиации на принятие решений в условиях неопределенности // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 65–67.

Рассмотрены особенности принятия решений пилотами гражданской авиации в условиях неопределенной ситуации. Приведены результаты исследования влияния личностных характеристик на индивидуальный стиль принятия решений. Представлена среднegrupповая конфигурация пяти базовых стратегий принятия решений пилотами и их типологических качеств — готовности к риску и субъективной рациональности, лежащих в основе выбора альтернатив при принятии профессиональных решений.

Ключевые слова: психология неопределенности, принятие решений, личностные детерминанты принятия решений, стили принятия решений пилотами гражданской авиации

Контакты: m.v.erhova@mail.ru

Евгений П. Дудкин, д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),

Нариман Н. Султанов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» ПГУПС,

Дмитрий А. Каковко, аспирант ПГУПС.

Как снизить шум трамвая: актуализация технических условий на прирельсовые вкладыши трамвайных путей // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 68–71.

Обоснованы функции прирельсовых профилей, применяемых в бесшпальных конструкциях трамвайных путей. Приведена классификация вкладышей, и выполнен анализ воспринимаемых ими нагрузок. Проанализированы существующие технические условия на вкладыши. Разработана классификация показателей прирельсовых профилей на обязательные, желательные и не обязательные, которые необходимо учесть при разработке новых технических условий.

Ключевые слова: бесшпальная конструкция трамвайного пути, прирельсовые профили, лабораторные испытания, конструкция трамвайного пути, вертикальная осадка, шум и вибрация

Контакты: dmank@mail.ru

Эдуард А. Сафронов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Организация и безопасность движения» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ),

Екатерина С. Семенова, канд. экон. наук, доцент кафедры «Управление качеством» СибАДИ.

Транспортные проблемы г. Омска // Транспорт РФ. — 2025. — № 3 (118). — С. 72–75.

В последние годы в г. Омске обострились проблемы с транспортным обслуживанием населения как в новых, так и в старых районах. Нарушение градостроительных нормативов, невыполнение решений генплана и отсутствие метро приводят к увеличению транспортных, коммунальных и иных расходов, ухудшению показателей безопасности, доступности и экологии города. Рассмотрены причины обострения транспортных проблем и методы их комплексного решения.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, плотность населения, плотность транспортной сети, градостроительство, генплан, центр города, планировка города, жилая застройка

Контакты: esemyonova@rambler.ru

Alexander S. Misharin, Doctor of Technical Sciences, President of the Russian Academy of Transport (RAT),

Ilya P. Potapov, Executive Director of RAT.

Four Years of Transformation: Development Vectors in Transport Science and the Results of the Russian Academy of Transport's Activities // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 3–4.

In March 2025, the reporting and election conference of the Russian Academy of Transport was held, providing an opportunity to summarize the outcomes of the past four years and define priorities for scientific support of Russia's transport system development. Amid structural changes in the industry, the Academy has established itself as a key scientific and expert institution capable of responding to contemporary challenges and shaping the course of technological modernization.

Keywords: Russian Academy of Transport, transport science, scientific support of the Russian transport system

Contact: i.potapov@rosacademtrans.ru

Natalia S. Migda, Candidate of Juridical Sciences, Associate Professor at the Department of Public Law, Admiral F. F. Ushakov State Maritime University.

Financial and Legal Support for the Development of Transport Technologies and Information Systems // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 5–9.

The article explores key challenges in cooperation between governmental authorities and private investors in financing transport sector projects, particularly in the context of public-private partnerships. It highlights controversial aspects in the interaction between the state and investors and proposes solutions through stabilizing dialogue mechanisms, especially via concession agreements.

Keywords: public-private partnership, transport transformation, finance, national projects

Contact: Natashachebanova90@gmail.com

Natalia A. Zhuravleva, Doctor of Economics, Director of the Institute of Applied Economics and Railway Accounting, Professor at the Department of Transport Economics, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University (PSTU),

Igor L. Sakovich, Candidate of Economic Sciences, First Deputy Head for Economics, Finance and Corporate Coordination, October Railway (branch of Russian Railways),

Elena V. Novikova, Lead Specialist, Department of Budgeting and Pricing Methodology, Institute of Applied Economics and Railway Accounting, PSTU.

Using Big Data in Scenario Analysis of Transport Development in the Northwestern Federal District // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 10–14.

Transport infrastructure development projects, particularly in railways, should be based on reliably assessed freight volumes. However, changing geo-economic conditions have transformed cargo structures and volumes, complicating project justification. The article substantiates that big

data and scenario analysis significantly enhance the argumentation for transport infrastructure development in rail networks.

Keywords: scenario analysis, unstructured data, agent-based modeling, freight transport forecasts

Contact: zhuravleva_na@mail.ru

Anastasia A. Golovina, Senior Lecturer, Department of Public Law, Admiral F. F. Ushakov State Maritime University.

Improving Legislation on Criminal Liability for Acts of Maritime Piracy // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 15–17.

Article 227 of the Russian Criminal Code addresses maritime piracy, serving as a special provision relative to Article 162 («Robbery»). Comparative analysis of these norms reveals controversial issues that may cause enforcement problems. The article provides conclusions and recommendations based on legal analysis.

Keywords: maritime piracy, maritime safety, homicide, legal qualification, robbery, maritime transport

Contact: a.a.golovina@mail.ru

Dmitry V. Efanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Higher School of Transport, Institute of Mechanical Engineering, Materials and Transport, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Professor at Russian University of Transport (MIIT),

Evgeny M. Mikhailyuta, Postgraduate Student, Engineer, Higher School of Transport, SPbPU.

Technological Foundations for Developing Intelligent Train Control Systems Integrated with Infrastructure Monitoring Complexes // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 18–25.

A macro-architecture of an intelligent train control system integrated with automated monitoring of railway infrastructure is proposed. A reliability model has been developed, and methods for information interfacing between monitoring and control systems are suggested. The described solutions are relevant for designing advanced train control systems capable of analyzing and counteracting destabilizing external factors.

Keywords: railway transportation safety, automated infrastructure monitoring, system interfacing, adaptive control based on monitoring data

Contact: tres-4b@yandex.ru

Anastasia O. Barannikova, Candidate of Historical Sciences, Researcher, Scientific Laboratory of Spatial Logistics, Admiral G. I. Nevelskoy Maritime State University,

Anna K. Voronenko, Expert, Scientific Laboratory of Spatial Logistics, Admiral G. I. Nevelskoy Maritime State University.

Data Preparation Issues for Training Neural Networks to Analyze and Forecast Maritime Transport Tariffs // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 26–30.

The article addresses challenges in preparing training datasets for a neural network analyzing maritime freight tariffs for standard containers

between ports in China and Russia's Primorsky Krai. The model aims to predict tariff changes with acceptable accuracy in the future.

Keywords: transport tariffs, freight rates, transport logistics, COC, SOC, artificial intelligence, neural networks, intelligent transport systems, machine learning, Python programming

Contact: electronicccm@yandex.ru

Nikolay G. Sheshera, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Far Eastern State Transport University (FESTU),

Igor N. Pugachev, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor, Department of Surveying and Design of Railways and Highways, FESTU,

Denis E. Grigorov, Head of the Department of Special Disciplines, Department of Information and Technical Support of Air Traffic Control, Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia.

Studying Traffic Flow Intensity Using Machine Learning for Intelligent Transport Systems // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 31–36.

The effectiveness of intelligent transport systems in urban agglomerations depends on their software and hardware capabilities for analyzing traffic flow intensity. Currently, neural networks process video streams to calculate this parameter and build predictive models. However, these models are not universal due to narrow data training. A generalized method for forecasting traffic intensity based on machine learning algorithms is proposed.

Keywords: traffic flow intensity, urban agglomerations, machine learning methods, intelligent transport systems

Contact: kolyaka239@mail.ru

Alexander A. Vorobyov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Ground Transport and Technological Complexes, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University (PSTU),

Yan S. Vatulin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Thermal Power Engineering, PSTU,

Andrey S. Vataev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Ground Transport and Technological Complexes, PSTU.

Assessment of Dynamic Impact of High-Speed Rolling Stock on Viaducts and Bridges on Weak Soils // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 37–42.

The article assesses how vibrations from high-speed trains affect the structural elements of a coastal viaduct, considering the additional loading from incoming waves. It identifies a wave-like distribution of strain and acceleration in the ground and viaduct structure, with a marked decrease in energy intensity at the pile foundation depth. A numerical method is proposed for evaluating the stress-strain state of the viaduct and adjacent weak soil under combined dynamic influences.

Keywords: stress-strain state, simulation modeling, modal analysis, high-speed rolling stock, dynamic research, modal mass distribution

Contact: 79219751198@yandex.ru

Oleg V. Moskvichev, Doctor of Technical Sciences, Director, Institute of Management and Economics, Privolzhsky State University of Railway Transport (PrivSRTU),

Elena E. Moskvicheva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Freight and Commercial Operations, Stations and Hubs, PrivSRTU,

Anzhelika A. Gruz, Lecturer, Department of Transport Operations Management, PrivSRTU.

Scientific and Methodological Approach to Integrating Digital Technologies in Railway Freight Stations and Private Tracks // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 43–47.

A phased, scientifically grounded approach to decision-making on the integration of digital technologies into railway freight station operations and adjoining private tracks is presented. A mathematical model based on queuing theory illustrates the interaction between stations and private tracks. Simulation results help identify bottlenecks in technological and informational interaction. A novel classifier for digital technological solutions is proposed.

Keywords: digital technologies, digital solutions classifier, freight railway station, private track, station throughput, queuing theory

Contact: moskvichev063@yandex.ru

Irina V. Morgunova, Postgraduate Student, Department of Automotive Transport, Orenburg State University (OSU),

Natalia V. Yakunina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automotive Transport, OSU,

Vitaly V. Kotov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automotive Transport, OSU.

Risk Model of Passenger Delays in Regular Urban Transport // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 48–51.

The article addresses insufficient study of one key passenger transport quality indicator: the risk of passengers arriving late at their destination. A risk model has been developed using qualimetry theory, Saaty's Analytic Hierarchy Process, and Pareto pairwise comparison. Key processes influencing late arrivals have been identified.

Keywords: urban passenger transport, risks, transport quality

Contact: yakunin-n@yandex.ru

Alexander N. Antropov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Railway Cars, Ural State University of Railway Transport (USURT),

Tatyana A. Antropova, Associate Professor, Department of Automotive Design and Operation, USURT,

Konstantin M. Kolyasov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Railway Cars, USURT.

Similarities and Differences in Fundamental Approaches to Wheel–Rail Interaction on Russian and Foreign Railways // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 52–55.

The article examines the primary issues of wheel-set-to-rail interaction, comparing conditions on Russian and foreign railway systems. It analyzes rolling stock and track infrastructure designs, operational technologies, and conditions. A comparative study of contact patches and the impact of wheel tread profiles is presented. The need for a comprehensive approach is emphasized to form a unified theory of wheel–rail interaction covering all aspects of contact mechanics.

Keywords: wheel–rail interaction, contact patch, relative slip, dynamic loads, volumetric stress state of metal

Contact: antropovan@mail.ru

Veronika Yu. Lantseva, Candidate of Juridical Sciences, Associate Professor, Department of Public Law, Institute of Maritime Transport Management, Economics, and Law, Admiral F. F. Ushakov State Maritime University.

Reducing the Environmental Impact of Maritime Transport: Problems and Solutions // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 56–59.

The article analyzes key types of environmental pollution caused by maritime transport operations, with a focus on biological contamination of the Black Sea basin by ships. Based on the study's results, the authors propose measures to mitigate the harmful effects of maritime transport on the environment.

Keywords: environment, maritime transport, biological pollution, chemical pollution, species introduction, ballast water

Contact: lantseva.v@yandex.ru

Aleksei V. Klyukanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Freight and Commercial Operations, Stations and Hubs, Privolzhsky State University of Railway Transport.

Automated Spare Parts Inventory Management System at a Railway Station // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 60–64.

The article outlines features and benefits of an on-the-fly spare parts replenishment scheme through redistribution among shelving units in a workgroup. The components of the automated inventory system and their interaction within a unified information network are described. The functional capabilities of automated shelving systems are examined, and a comprehensive criterion for expert evaluation of the proposed system is introduced.

Keywords: automated storage system, automated shelving, information network, strain gauge sensor, supply warehouse, spare parts

Contact: kav.samara@mail.ru

Marina V. Erkhova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Humanities and Socio-Economic Disciplines, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev (UICA),

Pavel V. Zobov, Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Aviation Specialists Training, UICA.

Impact of Civil Aviation Pilots' Personality Traits on Decision-Making Under Uncertainty // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 65–67.

The article explores how pilots make decisions under uncertain conditions and examines the influence of personality traits on individual decision-making styles. It presents a group-level configuration of five core decision-making strategies and their typological qualities — risk readiness and subjective rationality — as fundamental factors in professional decision-making.

Keywords: psychology of uncertainty, decision-making, personality determinants of decisions, pilot decision-making styles

Contact: m.v.erhova@mail.ru

Evgeny P. Dudkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Road Construction for the Transport Complex, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University (PSTU),

Nariman N. Sultanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Road Construction for the Transport Complex, PSTU,

Dmitry A. Kakovko, Postgraduate Student, PSTU.

How to Reduce Tram Noise: Updating Technical Specifications for Trackside Inserts in Tram Tracks // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 68–71.

The article substantiates the functional role of rail-side profiles used in ballastless tram track structures. A classification of inserts is presented along with an analysis of the loads they absorb. Existing technical specifications for inserts are evaluated. A new classification system for rail-side profile parameters — mandatory, desirable, and optional — is proposed for future technical documentation development.

Keywords: ballastless tram track, rail-side profiles, laboratory testing, tram track structure, vertical settlement, noise and vibration

Contact: dmank@mail.ru

Eduard A. Safronov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Traffic Management and Safety", Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)

Ekaterina S. Semenova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of "Quality Management", SibADI

Transport Issues in Omsk // Transport RF. — 2025. — No. 3 (118). — P. 72–74.

In recent years, the city of Omsk has experienced worsening issues with transport services in both new and old residential areas. Violations of urban planning regulations, failure to implement the general plan, and the absence of a metro system have led to increased transportation, utility, and other costs, as well as declining indicators of safety, accessibility, and environmental quality. The article examines the causes of the escalating transport problems and presents integrated approaches to solving them.

Keywords: transport, transport infrastructure, population density, transport network density, urban planning, general plan, city center, city layout, residential development

Contact: esemyonova@rambler.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



Общероссийская общественная организация **РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА**

Академия включает
48 РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ

ДАТА ОСНОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ТРАНСПОРТА:

26 июня 1991 года



Президент Академии:

**А.Т.Н.
АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ МИШАРИН**

СОСТАВ АКАДЕМИИ В 2023 ГОДУ

> 680 УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ:

170 ДОКТОРОВ НАУК

510 КАНДИДАТОВ НАУК

260 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ РАТ



Общероссийская общественная организация **РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА – В ЦИФРАХ**

Членами
Академии
за 2021–2023 гг.:

ПРОВЕДЕНО **БОЛЕЕ 200** МЕРОПРИЯТИЙ
(В ТОМ ЧИСЛЕ ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦИЙ).

ОПУБЛИКОВАНО **БОЛЕЕ 1000** ПУБЛИКАЦИЙ
И МОНОГРАФИЙ В РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ ИЗДАНИЯХ.

БОЛЕЕ 9000 СПЕЦИАЛИСТАМ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТА
И ТРАНСПОРТНОЙ НАУКИ РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА
ОПЛАТИЛА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ ПО АКТУАЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ ОБУЧЕНИЯ.

СИЛАМИ АКАДЕМИИ ВЫПОЛНЕНО
БОЛЕЕ 500 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ.

ПРОВЕДЕНО 4 КРУПНЫХ ОБЩЕАКАДЕМИЧЕСКИХ
МЕРОПРИЯТИЯ, В Т. Ч. КОНФЕРЕНЦИЯ «РОЛЬ НАУКИ
В ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ТРАНСПОРТА» В РАМКАХ XVI МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА
И ВЫСТАВКИ «ТРАНСПОРТ РОССИИ – 2022».

ПРИНЯТО 60 ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЧЛЕНОВ,
СОЗДАНО 4 НОВЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЯ.
ТЕРРИТОРИЯ ПРИСУТСТВИЯ РАТ – **48 РЕГИОНОВ**.

САЙТ И НОВОСТНЫЕ ПОРТАЛЫ АКАДЕМИИ
ПОСЕЩАЕТ **БОЛЕЕ 3500** ЧЕЛОВЕК ЕЖЕДНЕВНО.



www.rosacademtrans.ru

info@rosacademtrans.ru