№ 3 (124) 2026

ISSN 1994-831 X
E-ISSN 2658-3674

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЖУРНАЛ О НАУКЕ, ПРАКТИКЕ, ЭКОНОМИКЕ



Гидроэнергобашня как источник электроснабжения

Лучшие мировые практики ВСМ

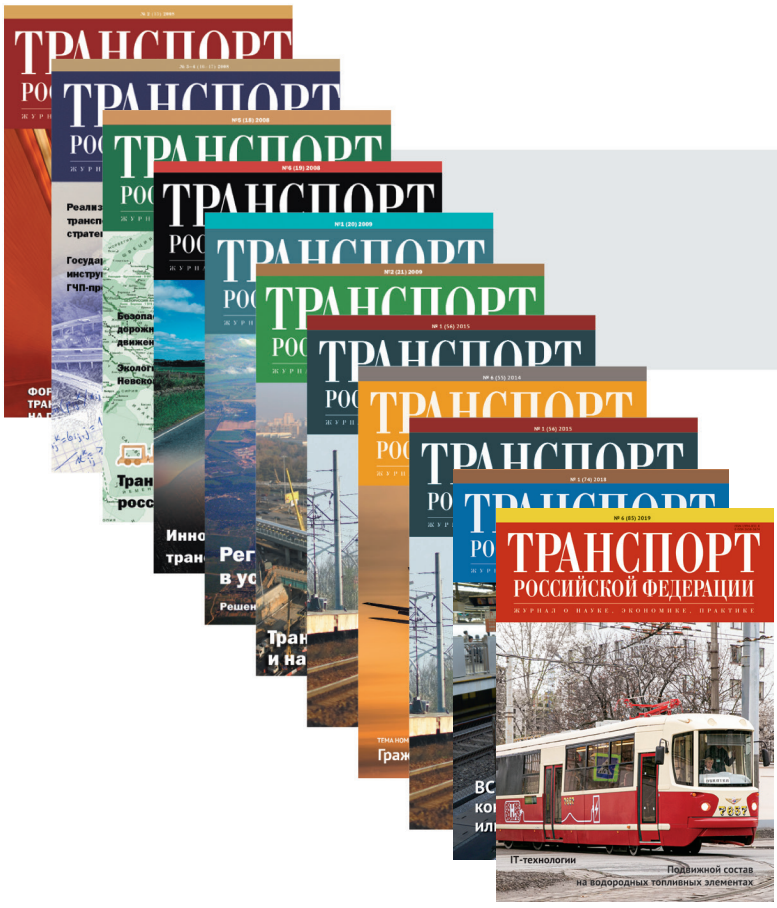
Трансформация логистической архитектуры Северо-Запада

Экологические риски влияния дорожного шума

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

ISSN 1994-831 X E-ISSN 2658-3674

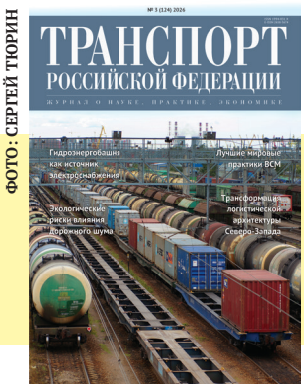


ФОТО: СЕРГЕЙ ТЮРИН

№ 3 (124) 2026

Содержание

ГОСУДАРСТВО И ТРАНСПОРТ

К. В. Голубкина, Е. С. Комарова.
Современные проблемы и перспективы развития морского арбитража в России в контексте международной практики 3

ПРАВО

А. Н. Иванков, М. В. Четчуев, П. К. Рыбин.
Проблемы применения действующих норм и правил проектирования железнодорожных станций и узлов 6

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

О. В. Москвичев, А. А. Грузд.
Оптимизационный подход к интеграции цифровых технико-технологических решений в работу железнодорожных станций 10

А. И. Епихин, С. И. Кондратьев, Е. В. Хекерт.
Датчики и технологии искусственного интеллекта для ситуационной оценки состояния двигателя на автономных судах 14

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Е. Б. Куликова, Е. А. Хлопенова.
Лучшие мировые практики формирования сети объектов инфраструктуры для обслуживания высокоскоростного подвижного состава 18

А. С. Яковлева, Е. П. Епифанова, Ю. В. Пономарчук.
Определение диагностического признака для анализа состояния изолирующих стыков 24

ЛОГИСТИКА

А. Ю. Баландина.
Структурная трансформация логистической архитектуры Северо-Запада России: анализ динамики морских перевозок в условиях санкций 29

ИНФРАСТРУКТУРА

Г. Ш. Мамулашвили. Гидроэнергобашня типа «Шлиссельбург» как автономный источник кризисного электроснабжения объектов железнодорожного и морского транспорта 34

НАУКА И ТРАНСПОРТ

А. Н. Савоськин, А. А. Чучин.
Работа системы автоматического управления скоростью движения электровоза с управляемыми преобразователями возбуждения 38

Э. Р. Хамраева, Ю. П. Бороненко, Л. В. Цыганская.
Выбор параметров и технических решений трехэлементных тележек для грузовых вагонов с малой массой тары 42

ЭКОЛОГИЯ

А. В. Кочетков, А. М. Щелудяков.
Экологические риски влияния дорожного шума от транспортных потоков 47

ГОРОД И ТРАНСПОРТ

Е. В. Феклин.
Повышение эффективности функционирования городского общественного транспорта на основе централизованного управления рассредоточенными производствами 51

ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНИКА

К. С. Перфильев, Г. М. Волохов, С. Н. Журавлев.
Управление скольжением колесных пар локомотива по критерию минимума износа в контакте «колесо — рельс» 57

РЕГИОН

Н. У. Гюлев.
Оценка качества пассажирских перевозок на маршрутах города в пиковый период (на примере г. Махачкалы) 61

М. В. Гаврилов, Е. Е. Москвичева, Ю. П. Пацев.
Перспективы развития терминально-логистической инфраструктуры в регионах Поволжья для осуществления контрейлерных перевозок 65

Аннотации 69

Abstracts 85

Транспорт Российской Федерации

Журнал о науке, практике, экономике

УЧРЕДИТЕЛИ

ОО «Российская академия транспорта»,
ФГБОУ ВО ПГУПС

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 № ФС77-91113 от 01.04.2026 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

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

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

Адрес редакции:
121596, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Можайский, ул. Горбунова, д. 2, стр. 3, пом. 24/2

https://rostransport.elpub.ru/jour
info@rosacademtrans.ru
www.rosacademtrans.ru
Тел.: 8 (495) 970-74-09.

Редакция журнала не несет ответственности за содержание рекламных материалов.

Установочный тираж 7 000 экз.

Подписано в печать 29.06.2026.

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., член Президиума Российской академии транспорта, д. т. н.

Пашков К.А., первый 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 Ространснадзоре, 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 регионального 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 регионального 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 логистике 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., заведующая кафедрой «Экономика транспорта» 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 Института проблем транспорта РАН, член Президиума 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 Восточного регионального отделения РАТ

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

Потапов И. П. — исполнительный директор РАТ

Пугачев И. Н. — д.т.н., заместитель директора по научной работе Хабаровского федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения РАН, профессор ДВГУПС

Розенберг Е. Н. — д. т. н., первый заместитель 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), председатель Центрального отделения РАТ

Тимофеев О. Я. — д.т.н., профессор кафедры конструкции и технической эксплуатации судов СПбГМТУ

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

Трофименко Ю. В. — д. т. н., вице-президент РАТ, председатель Дорожно-транспортного отделения РАТ, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» МАДИ

Якунин Н. Н. — д. т. н., профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта Оренбургского государственного университета

УДК 341.6

Современные проблемы и перспективы развития морского арбитража в России в контексте международной практики



К. В. Голубкина,
канд. юрид. наук, доцент кафедры теории и истории государства и права Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова (ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова),



Е. С. Комарова,
магистрант по направлению подготовки «юриспруденция» ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова

Очевиден существенный разрыв между потенциальными возможностями и реальным положением международного коммерческого арбитража как инструмента разрешения морских споров в Российской Федерации. Для решения проблемы необходимо принятие ряда правовых и иных мер.

Несмотря на амбициозные государственные задачи по развитию морской инфраструктуры, включая Северный морской путь, и историческое присутствие авторитетного национального института — Морской арбитражной комиссии (МАК) при Торгово-промышленной палате РФ, российская юрисдикция демонстрирует устойчивую тенденцию к «утечке» споров в зарубежные арбитражные центры, прежде всего в Лондон (LMAA[1]) и Сингапур (SCMA[2]). Данный парадокс требует тщательного анализа системных проблем в российском правовом поле и выработки научно обоснованных мер по их преодолению на основе адаптации положительного международного опыта.

Центральной проблемой, порождающей правовую неопределенность и создающей риски для участников морской торговли, является вопрос арбитрабельности ключевых категорий морских споров, т. е. возможность споров стать предметом арбитражного разбирательства.



Российское законодательство содержит расплывчатые и внутренне противоречивые критерии. Статья 248.1 Арбитражного процессуального кодекса РФ (АПК РФ)[3] и статья 7 Федерального закона «Об арбитраже (третейском разбирательстве) в Российской Федерации» (ФЗ «Об арбитраже») отсылают к таким оценочным категориям, как «публичные интересы» и «исключительная компетенция» государственных судов[4].

На практике это приводит к тому, что споры о морском залоге (статья 367 Кодекса торгового мореплавания РФ (КТМ РФ)), особенно затрагивающие права третьих лиц, расчеты по общей аварии (глава XVI КТМ РФ), где роль диспашера может трактоваться как публично-правовая, и даже некоторые иски из столкновения судов становятся предметом длительных судебных прений уже на стадии оспаривания арбитражной оговорки[5].

По данным анализа практики МАК за последние три отчетных периода (2023–2025), доля исков, связанных с морским залогом, отклоненных комиссией со ссылкой на статью 225.1 АПК РФ, составляет в среднем около 40% **[1]**. Иски о правах на морские суда в силу части 2 статьи 38 АПК РФ подпадают под исключительную подсудность государственных арбитражных

[3] Арбитражный процессуальный кодекс Российской Федерации от 24.07.2002 № 95-ФЗ (ред. от 01.10.2023) // Собрание законодательства РФ. 2002. № 30. Ст. 3012.

[4] Федеральный закон от 29.12.2015 № 382-ФЗ «Об арбитраже (третейском разбирательстве) в Российской Федерации» (ред. от 28.06.2021) // Собрание законодательства РФ. 2016. № 1 (часть I). Ст. 2.

[5] Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30.04.1999 № 81-ФЗ (ред. от 14.07.2022) // Собрание законодательства РФ. 1999. № 18. Ст. 2207.

судов по месту государственной регистрации судна, что создает прямую коллизию с международной практикой, где подобные споры традиционно рассматриваются арбитрами **[2]**.

Кроме того, неопределенность вносит также законодательное регулирование. Так, согласно статье 33 АПК РФ, дела, возникающие из административных и иных публичных правоотношений, не могут быть переданы на рассмотрение третейского суда. Это включает споры, тесно связанные с осуществлением публично-правовых функций, таких как ведение судовых реестров. На практике это приводит к тому, что даже споры, формально вытекающие из договора (например, чартера), но затрагивающие вопросы, отнесенные к исключительной компетенции государственных судов, становятся причиной возникновения споров о компетенции, что значительно замедляет процесс разбирательства.

В коренном противоречии с этим находится подход, доминирующий в таких центрах, как Англия и Сингапур. В указанных юрисдикциях действует презумпция арбитрабельности: любой спор, прямо не изъятый законом из компетенции арбитров, считается подлежащим арбитражному разбирательству, если на то есть воля сторон.

Яркой иллюстрацией тому служит дело Fiona Trust & Holding Corporation v Privalov (суть спора заключалась в вопросе — следует ли разрешать споры через арбитраж или через судебные разбирательства) **[3]**, в котором английский суд постановил, что коммерческое арбитражное соглашение должно толковаться максимально широко, если стороны не выразили прямо противоположного намерения.

Сингапурские суды, руководствуясь схожими принципами, закрепленными в акте Сингапура «О международном арбитраже», ограничивают свое вмешательство до минимума, способствуя тем самым предсказуемости и стабильности арбитражного процесса. Результатом такого подхода является практически 100%-ная арбитрабельность морских споров, что создает привлекательную правовую среду для международного бизнеса.

Вторым критически важным аспектом, определяющим конкурентоспособность арбитражного форума, является процедурная эффективность и технологическое оснащение. Современный морской арбитраж — это не только вопрос юридической квалификации, но и скорость, гибкость и удобство самой процедуры. В этой связи МАК сталкивается с серьезным вызовом, связанным с технологическим отставанием. Отсутствие полноценной цифровой платформы для подачи документов, проведения онлайн-слушаний (особенно с участием иностранных арбитров и представителей), безопасного обмена информацией и прозрачного отслеживания статуса дела существенно увеличивает сроки и издержки разбирательства.

Если в МАК доля дел, рассмотренных с использованием онлайн-технологий, по оценкам экспертов, не превышает 15%, то в SCMA этот показатель достигает 85% благодаря внедренной системе e-CaseFile и активному использованию видеоконференцсвязи **[4]**. Средний срок разрешения спора в МАК составляет около 8 мес, в то время как в LMAA аналогичные споры по документарной процедуре разрешаются в среднем за 3–4 мес. Гибкие процедуры, такие как LMAA Small Claims Procedure (упрощенная процедура арбитража, разработанная Лондонской ассоциацией морских арбитров, для рассмотрения небольших споров — до 100000 дол. США), позволяют существенно экономить время и ресурсы сторон, что особенно важно для малого и среднего бизнеса.

Не менее важным элементом процедурной эффективности является также специализация арбитров. В составе LMAA более 85% из них имеют непосредственный практический опыт работы в судоходстве (бывшие капитаны, старшие механики, судовые брокеры), что обеспечивает более четкое понимание технических деталей спора, будь то оценка степени вины капитанов при сложном столкновении или корректности составления диспаши по общей аварии **[5]**. Российская же практика, хотя и предполагает привлечение экспертов, но не имеет устоявшейся традиции включения в состав арбитров именно технических специалистов на постоянной основе.

Отдельного внимания заслуживает вопрос международного позиционирования МАК. Как показывают данные, в 2022 г. лишь 12% споров с иностранным элементом были инициированы в МАК, тогда как 41% российских компаний выбрали LMAA. Для изменения этой тенденции необходима активная работа по продвижению МАК на международной арене, включая участие в авторитетных арбитражных форумах, усиление сотрудничества с ведущими центрами (LMAA, SCMA) и возможную разработку модельных арбитражных оговорок на английском языке, рекомендованных для использования российскими участниками внешнеэкономической деятельности.

Наиболее серьезным препятствием для интеграции российского морского арбитража в глобальное правовое пространство остается проблема признания и исполнения арбитражных решений. Несмотря на то, что Российская Федерация является участницей Нью-Йоркской конвенции 1958 г.[1], российские арбитражные суды демонстрируют тенденцию к расширительному толкованию оснований для отказа в выдаче исполнительного листа. Наиболее часто используется ссылка на нарушение публичного порядка (статья V(2)(b) Нью-Йоркской конвенции, статья 239 АПК РФ). Под «публичным порядком» зачастую понимаются не только фундаментальные принципы права **[6]**, но и текущие политико-экономические обстоятельства. Ярким примером является дело № А32–47144/2022, где российский суд отказал в признании и исполнении решения арбитража, принятого в соответствии с регламентом Лондонского международного третейского суда, сославшись на «контрсанкционные» нормативные акты.

Подобная практика, приводящая к отказу в исполнении в среднем в трети случаев (по накопленным данным за 2023–2025 гг.), резко контрастирует с подходом судов Англии и Сингапура, где процент исполнения арбитражных решений стабильно превышает 95%. В этих юрисдикциях отказ возможен лишь в исключительных случаях при доказанных грубых нарушениях фундаментальных принципов правосудия, а сама процедура рассмотрения ходатайства о признании решения занимает в среднем 30 дней.

Проблема усугубляется отсутствием единообразной практики даже внутри российской судебной системы. В то время как одни суды следуют ограничительному толкованию публичного порядка, другие, как показано в деле о буксире «Шахтерск-1», — отменяют решения МАК по формальным основаниям, таким как «отсутствие мотивированного обоснования выводов», что также создает риски для сторон и подрывает доверие к институту.

Сингапурские же суды руководствуются принципом, согласно которому лишь четко определенные законом категории споров исключаются из арбитража, например, в деле PT Asuransi Jasa Indonesia (Persero) v. Dexia Bank SA (№ ARB 005 of 2002).

Таким образом, сравнительный анализ выявляет три ключевые системные проблемы российского морского арбитра-

[1] «Конвенция о признании и приведении в исполнение иностранных арбитражных решений» (Заключена в г. Нью Йорке 10.06.1958) // Вестник ВАС РФ. 1993. № 8.

жа: ограничительный и неопределенный подход к арбитрабельности; процедурная неэффективность и технологическое отставание; непоследовательная и зачастую излишне строгая судебная практика признания решений, подрывающая принцип правовой определенности. Для решения указанных проблем необходим комплекс мер, направленных на глубокую модернизацию как нормативной базы, так и практики деятельности МАК. В качестве первоочередных шагов предлагается следующее:

Детализировать перечень споров, подлежащих рассмотрению МАК, в КТМ РФ. В настоящее время Положение о Морской арбитражной комиссии при ТПП РФ (Приложение II к Закону РФ «О международном коммерческом арбитраже») устанавливает общий перечень споров из торгового мореплавания[1]. Однако для устранения правовой неопределенности и исключения споров о компетенции целесообразно внести в КТМ РФ отдельную статью, содержащую исчерпывающий перечень морских споров арбитрабельной природы. В этот перечень следует включить споры, связанные с морским залогом, правами собственности на суда (за исключением споров, непосредственно связанных с государственной регистрацией), а также экологические иски, вытекающие из договорных отношений, что позволит унифицировать подходы государственных судов и арбитража.

Разработать и внедрить специализированные арбитражные регламенты для рассмотрения сложных категорий дел. В отличие от существующих общих положений о МАК, предлагается создать отдельные регламенты для таких специфических категорий, как общая авария (с возможностью применения Йорк-Антверпенских правил в редакции, согласованной сторонами), спасание и столкновение судов. Ключевым нововведением должно стать закрепление в этих регламентах права включать в состав арбитров, помимо юристов-практиков морского дела: капитанов, сюрвейеров, инженеров-судостроителей, что обеспечит рассмотрение спора с учетом технической специфики.

Создать полноценную цифровую экосистему МАК. В целях устранения технологического отставания и повышения процессуальной эффективности (в противовес существующему бумажному документообороту) необходимо законодательно закрепить и реализовать создание комплексной цифровой платформы МАК. В отличие от действующих положений, не регламентирующих цифровую среду, такая платформа должна включать:

- модуль для электронной подачи процессуальных документов с использованием усиленной квалифицированной электронной подписи;
- систему онлайн-разбирательств (видеоконференцсвязь с функцией записи и протоколирования), что особенно востребовано в условиях географической удаленности участников спора;
- автоматизированную рассылку уведомлений и защищенное облачное хранилище для доказательств, обеспечивающее прозрачность и сохранность материалов дела.

Ввести обязательную практику публикации обезличенных решений МАК. По аналогии с подходом LMAA целесообразно внести изменения в регламент МАК, предусматривающие систематическую публикацию решений (в обезличенной форме). Это будет способствовать формированию единообразной и предсказуемой арбитражной практики, а также повысит привлекательность МАК для участников внешнеэкономической деятельности.

Инициировать издание специализированного постановления Пленума Верховного суда РФ. Несмотря на наличие общих разъяснений, требуется принятие отдельного постановления «О применении оговорки о публичном порядке при признании и исполнении иностранных арбитражных решений». Данный акт должен ограничить использование основания об отказе в признании и приведении в исполнение решений лишь случаями прямого и очевидного противоречия фундаментальным принципам российского правопорядка, что соответствует международным стандартам и статье 35 Закона о международном коммерческом арбитраже.

Создать в системе Верховного суда РФ специализированную коллегию по морским спорам. В целях обеспечения единообразия судебной практики и повышения квалификации судей при рассмотрении категорий дел, связанных с деятельностью морского арбитража, представляется обоснованным наделить такую коллегию полномочиями по рассмотрению жалоб на определения об отмене решений МАК и отказах в исполнении иностранных арбитражных решений.

Таким образом, следует подчеркнуть, что несмотря на наличие значительного потенциала и богатой исторической традиции, морской арбитраж в Российской Федерации находится в состоянии системного кризиса, вызванного архаичными нормативными подходами, технологическим отставанием и непоследовательной судебной практикой. При этом успешное реформирование данной сферы невозможно без соответствующей адаптации положительного опыта ведущих мировых центров морского арбитража.

Реализация предложенного комплекса мер позволит МАК позиционировать себя как конкурентоспособный региональный арбитражный центр, способный эффективно обслуживать интересы участников морской торговли в условиях евразийской экономической интеграции.

Дальнейшее развитие морского арбитража в России видится в синтезе проверенных временем принципов специализации и гибкости к современным цифровым решениям.

Исторический опыт демонстрирует, что морской арбитраж всегда был производным от потребностей коммерческой практики **[7]**. Современные вызовы порождают новые, сложные категории споров. Способность российской арбитражной системы адекватно и эффективно реагировать на эти вызовы станет главным критерием ее жизнеспособности и конкурентоспособности в XXI в. при любых политических реалиях. Т

Литература

1. Отчет о деятельности Морской арбитражной комиссии при ТПП РФ // Официальный сайт ТПП РФ. URL: https://mac.tpprf.ru/ru/praktika/ (дата обращения: 09.03.2026).
2. Born G. International Commercial Arbitration. 3rd ed. London, England: Kluwer Law International, 2021. 4500 p
3. Fiona Trust & Holding Corporation v Privalov [2007] UKHL 40 // Официальный сайт суда Великобритании. URL: https://www.bailii.org/uk/cases/UKHL/2007/40.html (дата обращения: 15.03.2026).
4. SCMA Annual Report 2024 // Официальный сайт Сингапурской морской арбитражной палаты (SCMA). URL: https://www.scma.org.sg (дата обращения: 21.09.2025).
5. LMAA Annual Report 2024 // Официальный сайт Лондонской ассоциации морских арбитров (LMAA). URL: https://lmaa.london (дата обращения: 09.09.2025).
6. Гуцуляк В. Н. Морское право: учебник. М.: Статут, 2019. 543 с.
7. Лебедев С. Н. Избранные труды по международному коммерческому арбитражу, международному частному праву и международному гражданскому процессу: в 2 т. М.: Статут, 2022. 672 с.

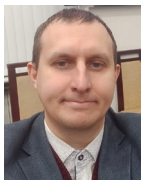
[1] Закон РФ от 07.07.1993 № 5338–1 (ред. от 30.12.2021) «О международном коммерческом арбитраже».

УДК 625.72

Проблемы применения действующих норм и правил проектирования железнодорожных станций и узлов



А. Н. Иванков,
канд. техн. наук, доцент, главный инженер ООО «ПСК ТехПроект»,



М. В. Четчуев,
канд. техн. наук, руководитель научно-образовательного центра «Мультимодальные транспортные системы», доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),



П. К. Рыбин,
канд. техн. наук, первый проректор – проректор по учебной работе, профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ПГУПС

Назрела проблема несоответствия действующей в области проектирования железнодорожных станций и узлов нормативной базы современному состоянию техники и технологий. Сохраняются и противоречия в положениях некоторых нормативных документов. Необходима переработка и актуализация целого ряда норм и правил проектирования.

Конфигурация современной железнодорожной сети определяется задачами по освоению планируемых перевозок пассажиров и грузов с учетом эффективного использования возможностей имеющегося подвижного состава, оптимизации маршрутов следования поездов для достижения соответствующих временных и экономических показателей, местных топографических условий и населенности территорий, а также планов по развитию промышленного потенциала регионов страны и уровня обеспечения вариативности маршрутов следования поездо- и грузопотоков.

Основными характеристиками сети являются количество и взаимное размещение на ней железнодорожных узлов, представляющих совокупность технологически связанных между собой станций, обеспечивающих зарождение, продвижение, перераспределение и погашение грузо- и пассажиропотоков. При этом эффективность работы железной дороги зависит от ее способности пропустить максимально возможное количество поездов необходимых назначений в установленные временные сроки.

Ключевая роль в решении этой задачи принадлежит железнодорожным станциям и узлам, что предъявляет особые требования к разработке проектов этих объектов, особенно в части обеспечения потребного уровня их пропускной и перерабатывающей способности, а также соблюдения условий безопасности их эксплуатации.

Реализация проектов по строительству новых и переустройству существующих станций и узлов является затратным процессом и предлагаемые решения должны быть рациональными и экономичными. Качество проекта зависит от опыта и квалификации разработчиков, сформировавшихся действующими нормами и правилами проектирования, которые должны быть актуальны, обоснованы и полностью соответствовать современному состоянию железнодорожной техники и передовым технологиям. Между тем имеется ряд проблем при использовании действующей в Российской Федерации нормативной базы по проектированию железнодорожных станций и узлов.

Приказом Минтранса России от 16 сентября 2019 г. № 299[1] отменены Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм (ПТНПСУ)[2]. Содержащиеся в них требования и типовые схемные решения по железнодорожным станциям и узлам на момент их отмены безусловно требовали актуализации. Однако иного документа, заменяющего собой отмененные ПТНПСУ, пока так и не появилось. Утвержденный в 2024 г. СП 119.13330 «СНиП 32–01–95 Железные дороги колеи 1520 мм»[3] (СП 119.13330.2024)

[1] Приказ Минтранса России от 16.09.2019 № 299 «О признании не подлежащими применению актов Министерства путей сообщения СССР и Министерства путей сообщения Российской Федерации». URL: https://mintrans.gov.ru/documents/2/10163 (дата обращения: 02.10.2025).

[2] Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм: ЦД-858 // Утв. Министерством путей сообщения РФ 28 июля 2000 г. М.: Техинформ, 2001. 253 с.

[3] СП 119.13330.2024 «СНиП 32–01–95 Железные дороги колеи 1520 мм» // Утв. приказом Минстроя России от 1 июля 2024 г. № 432/пр.

не может в полной мере ликвидировать имеющийся нормативный пробел в части проектирования железнодорожных станций и узлов.

С отменой ПТНПСУ восстановила свое действие Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР[1] (ИПСУ), которой теоретически могут пользоваться проектировщики. Однако требования и нормы ИПСУ по многим позициям противоречат СП 119.13330.2024. Правила и нормы проектирования земляного полотна в ИПСУ не соответствуют СП 119.13330.2024, а второй раздел инструкции в части проектирования плана и продольного профиля станций существенно устарел. В современных условиях изменился подход к унифицированной норме полезной длины приемоотправочных путей: в ИПСУ присутствует норма полезной длины — 1250 м, а в СП 119.13330.2024 такой нормы нет.

Требования к расстояниям от оси пути до ближайших зданий и сооружений, а также расстояния между осями смежных путей с момента появления ИПСУ изменились (введен в действие ГОСТ 9238-2022[2]).

Разделы 3–5 ИПСУ могут быть использованы только в части размещения отдельных устройств на железнодорожных станциях, а также при разработке схемных решений.

Особое место занимают вопросы реконструкции участковых станций в связи с ростом объемов перевозок и изменением норм выполнения технологических операций. Развитие участковых станций по схемам, приведенным в четвертом разделе ИПСУ, в реальных условиях зачастую невозможно по причине застроенности пристанционной территории. На практике используются альтернативные схемы реконструкции, позволяющие снять указанную проблему, а также обеспечить ускоренную обработку и пропуск транзитных поездов. Пример альтернативной схемы реконструкции участковой станции представлен на *рис. 1*.

Приведенные в инструкции таблицы для определения количества путей на железнодорожных станциях также не соответствуют действующим нормативам СП 119.13330.2024.

Связанные с пассажирскими станциями и устройствами нормы шестого раздела ИПСУ требуют кардинальной переработки в свете наличия действующего СП 417.1325800 «Железнодорожные вокзальные комплексы. Правила проектирования»[3]. Также при переработке норм проектирования пассажирских станций должен учитываться накопленный опыт проектирования современных вокзальных комплексов и транспортно-пересадочных узлов.

Особое внимание при пересмотре норм следует обратить на необходимость разделения потоков пассажиров пригородных и дальнего следования с обеспечением необходимого уровня транспортной безопасности, что должно отражаться как в принципах планировки вокзалов, так и путевого развития станций.

Изложенные в седьмом разделе ИПСУ нормы проектирования грузовых станций и грузового хозяйства не учитывают новые технические средства, применяемые для разгрузки вагонов, особенности обустройства специализированных грузовых станций в современных условиях: контейнерных терминалов, нефтесливных и нефтеналивных станций, пунктов перевалки балкерных грузов (уголь, удобрения), зерновых терминалов.

В части контейнерных терминалов особо необходимо отметить, что в инструкции доля среднетоннажных контейнеров была практически ничтожной, в основном перевозили трех- и пятитоннажные контейнеры, которых уже нет, в связи с чем нормы и принципы проектирования соответствующих объектов полностью изменились.

Существенно возросли и объемы перевалки контейнеров: объемы перегрузочной работы проектируемых контейнерных терминалов составляют от 250 тыс. до 1 млн TEU в год. Для них можно рекомендовать схемы, приведенные на *рис. 2* и *3*.

Схема на *рис. 2* позволяет рационально совместить работу с контейнерными и транзитными поездами, что обеспечит:

• более выгодные условия тягового обслуживания;

• исключение дублирования штата осмотрщиков-ремонтников вагонов и приемосдатчиков груза и багажа на нескольких станциях;

• возможность подбора и формирования маршрутизированных поездов;

• включение вагонов с контейнерами в состав технических маршрутов.

Схемы на *рис. 3* могут быть использованы для создания «сухих портов» на ближних и дальних подходах к морским терминалам, где отсутствует возможность для развития железнодорожной инфраструктуры в самом порту. Варианты представленных схем применяются в зависимости от местных условий.

Станции «сухих портов» с контейнерными терминалами представляют собой линейные раздельные пункты с путевым развитием с односторонним расположением приемоотправочных путей и грузовых устройств относительно главных путей. Для обеспечения выхода со станционных путей на перегоны в обе стороны предусмотрены путепроводные развязки. При необходимости, например, в случае потребности одностороннего выхода на главные пути или незначительной загрузке подводящих главных путей к портовой инфраструктуре, позволяющей пересечение потоков поездов в одном уровне, схемы могут быть скорректированы (убраны путепроводные развязки).

Содержащиеся в восьмом разделе ИПСУ схемные решения по железнодорожным узлам целесообразно доработать в части проектирования развязок и обходов узлов, что особенно актуально в связи с имеющимся дефицитом пропускной способности узлов и перерабатывающей способности отдельных станций.

Особо следует остановиться на проектировании портовой инфраструктуры. В связи с ростом объемов перевалки, а также изменением структуры вагонопотоков в отечественных портах требуется расширение железнодорожной инфраструктуры общего и необщего пользования. При этом требуется изменение и применяемых ранее принципов организации движения в портовых железнодорожных узлах. Схема компоновки обслуживающей порт железнодорожной инфраструктуры, соответствующей современным условиям работы, представлена на *рис. 4*. Преимуществами схемы являются: разделение маршрутизированного и немаршрутизированного вагонопотоков; возможность приема поездов в районные парки, минуя предпортовую сортировочную станцию. Это обеспечивает высокую маневренность

[1] Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР: ВСН 56–78 // Министерство транспортного строительства СССР, Министерство путей сообщения СССР. М.: Транспорт, 1978. 175 с.

[2] ГОСТ 9238-2022 «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений». URL: https://docs.cntd.ru/document/1200194521 (дата обращения: 10.10.2025).

[3] СП 417.1325800.2020 «Железнодорожный вокзальные комплексы. Правила проектирования». URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/120011/ (дата обращения: 10.10.2025).

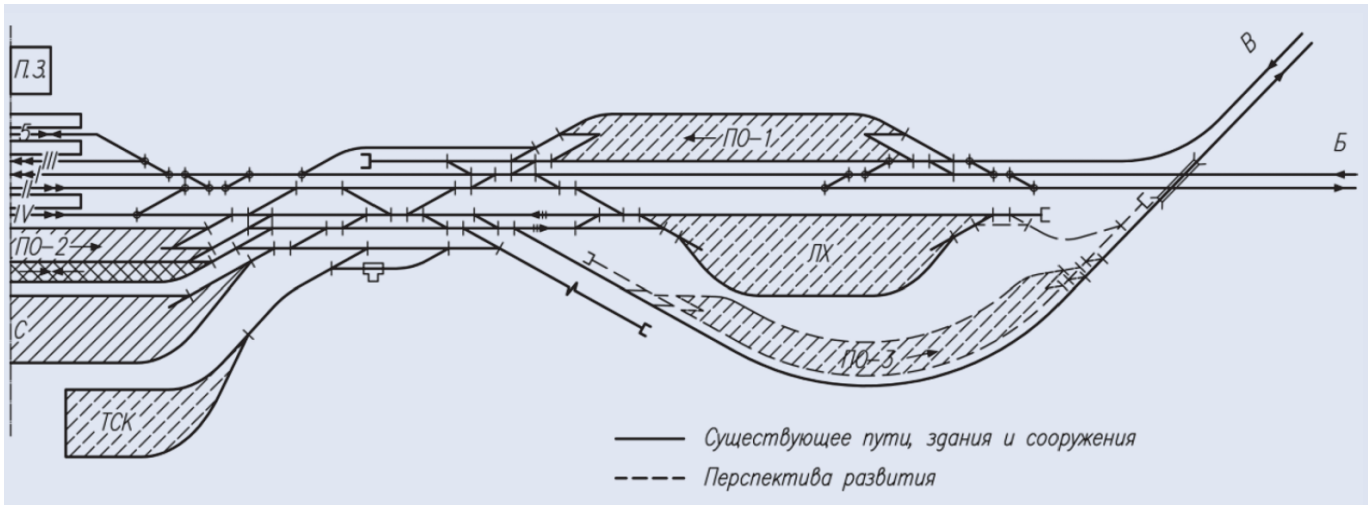


Рис. 1. Схема участковой станции с устройством дополнительного приемоотправочного парка [1]

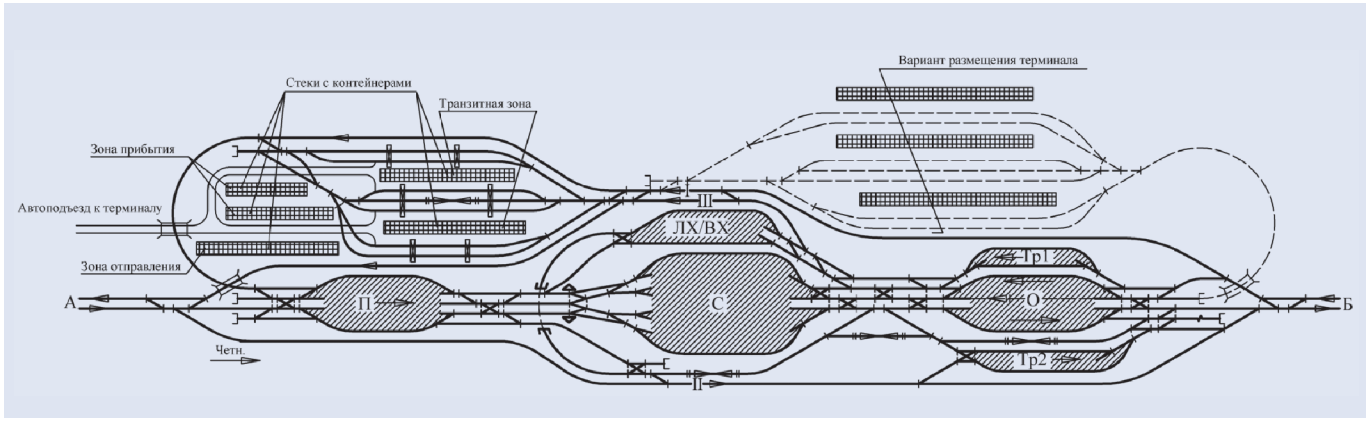


Рис. 2. Схема примыкания контейнерного терминала к сортировочной станции с обеспечением сквозного выхода со всех путей [2]

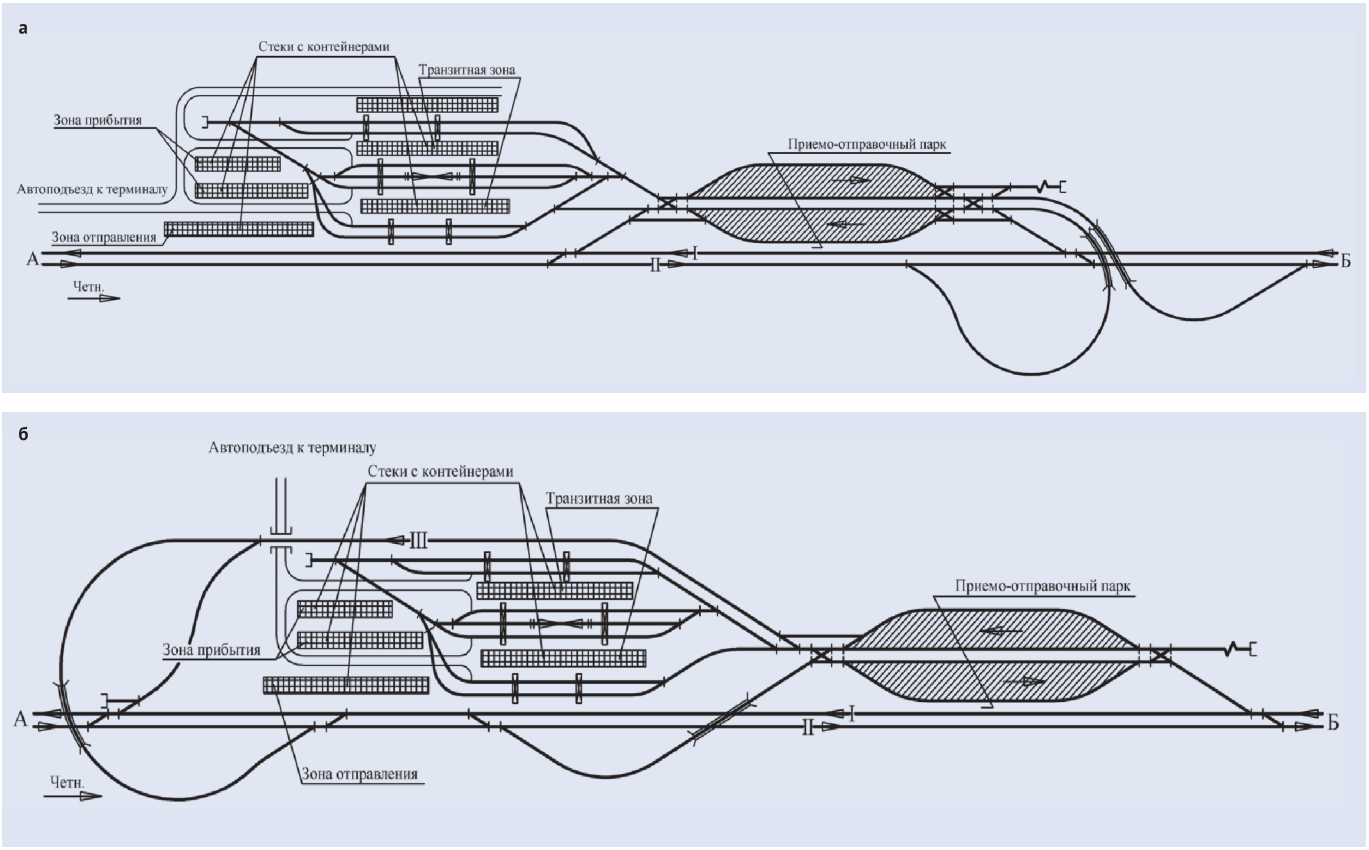


Рис. 3. Схемы грузовых станций, обслуживающих контейнерный терминал: с обустройством путепроводных развязок с нечетной (*а*) и четной (*б*) стороны станции [2]

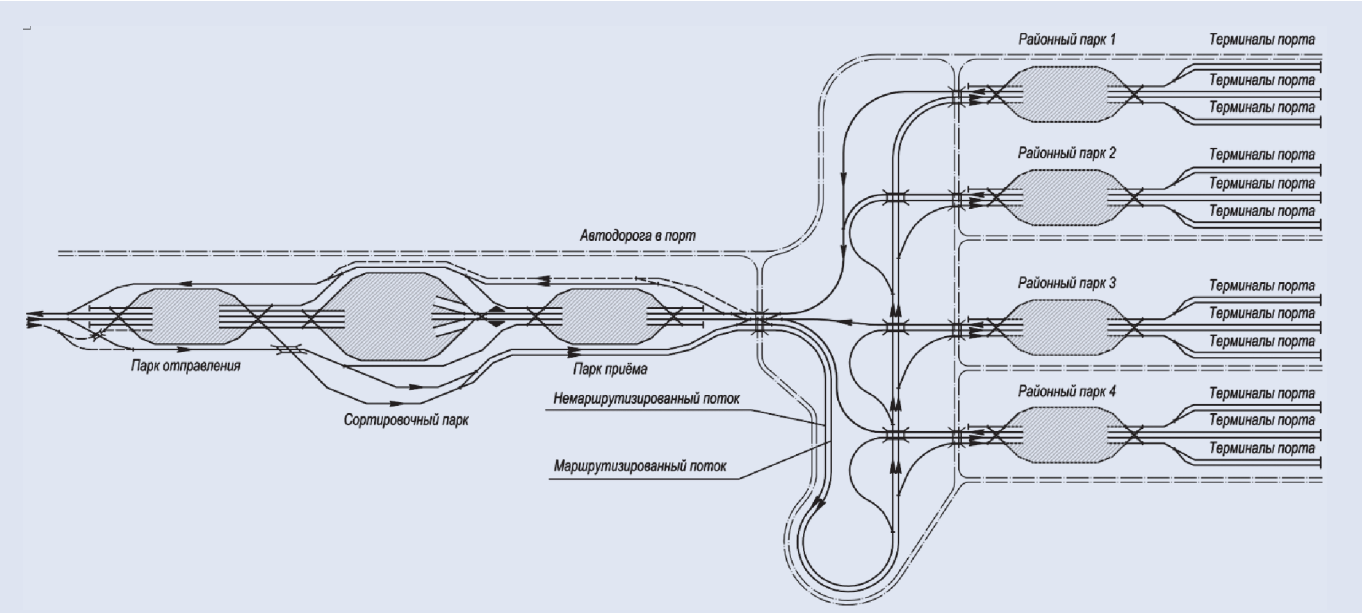


Рис. 4. Схемы компоновки обслуживающей порт железнодорожной инфраструктуры [3]

узла и способствует ускоренной перевалке груза между железнодорожным и водным транспортом.

Также необходима разработка и утверждение нового нормативного документа по проектированию сортировочных устройств на железнодорожных станциях. Нормы приложения № 1 ИПСУ должны быть кардинально переработаны, поскольку расчет горок по ним предусмотрен для подвижного состава на подшипниках скольжения, которые на железнодорожной сети Российской Федерации вышли из эксплуатации.

Методика расчета сортировочных горок, изложенная в отмененных регуляторной гильотиной Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм,[1] в целом была логична и понятна, но необходима ее частичная переработка в плане новых нормативов по основному сопротивлению инновационных вагонов. Кроме того, следует принять уточнение параметров проектирования продольного профиля хвостовой горловины сортировочного парка в части исключения выхода неуправляемых отцепов за пределы горловины (длина элемента и величина противоуклона в хвостовой горловине при наличии и без балочных заграждающих устройств).

Приведенные аргументы свидетельствуют о важности и необходимости отмены ИПСУ и утверждения нового нормативного документа. Его разработка должна происходить с учетом достижений техники и технологии механизации и автоматизации станционных процессов, особенностей эксплуатации локомотивов по полигонным технологиям (требования к депо, пунктам экипировки и др.), размещения станций на многопутных линиях, расположенных в зоне интенсивного пригородного движения, специализации линий в узлах по роду движения, создания высокопроизводительных перегрузочных комплексов в портах и на предприятиях.

В связи с тем, что в последнее время возникает большое число вопросов в части проектирования предохранительных устройств, в составе нового документа необходимо предусмотреть соответствующий раздел. Он должен содержать требования и нормы проектирования предохранительных устройств, а также методики их выбора, обоснования необходимости устройства и расчета. Особое внимание следует уделить методике расчета улавливающих тупиков и четкому установлению сферы их применения.

Целесообразно включение в новый нормативный документ и раздела по обеспечению требований транспортной безопасности при проектировании станций, в котором будет аккумулирован полученный за последние годы опыт обеспечения защиты объектов транспорта от несанкционированных действий, создающих опасность для пользователей транспорта и транспортной инфраструктуры.

Создание соответствующего нового нормативного документа не только позволит устранить проблемные моменты, возникающие при проектировании железнодорожных станций и узлов, но и обеспечит нормативно обоснованную мотивацию принятия проектных решений, их экспертизу и авторский надзор при строительстве и эксплуатации транспортных объектов. Т

[1] Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм // Утв. Министерством путей сообщения РФ 10 октября 2003 г М.: Техинформ, 2003. 168 с.

Литература

1. Иванков А. Н., Четчуев М. В. О проблемах учета перспективы развития железнодорожных станций и узлов // Образование — наука — производство: Материалы VIII Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, 22 ноября 2024 г., Чита. Чита: Иркутский государственный университет путей сообщения, 2024. С. 419–427.
2. Иванкова Л. Н., Волкова С. Г., Иванков А. Н. Принципы размещения контейнерных терминалов при формировании опорной сети транспортно-логистических комплексов // Современные методы, принципы и системы автоматизации управления на транспорте: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, 19–20 апреля 2016 г., Нижний Новгород. Н. Новгород: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2016. С. 71–77.
3. Рыбин П. К., Четчуев М. В., Иванков А. Н., Винник А. Д. Новые принципы компоновки железнодорожной инфраструктуры, обслуживающей морские порты // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2025. Т. 22, № 3. С. 584–593.

УДК 656.07

Оптимизационный подход к интеграции цифровых технико-технологических решений в работу железнодорожных станций



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



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

Предлагаемый метод оптимального выбора цифрового технико-технологического решения осуществляется на основании четырех разнородных критериев: себестоимости переработки одного вагона, простоя местного вагона на ответственности ОАО «РЖД», производительности труда, производственного травматизма. Методика позволяет оптимизировать взаимодействие грузовых станций и путей необщего пользования.

Интеграция цифровых технологий в процесс взаимодействия грузовых железнодорожных станций (ГЖС) и примыкающих железнодорожных путей необщего пользования (ПНП) представляет собой значимую меру по повышению надежности функционирования железнодорожного транспорта общего и необщего пользования **[1]**. В то же время процесс цифровой трансформации грузовых железнодорожных станций осложняется наличием широкого спектра цифровых технико-технологических решений, различающихся функциональными возможностями и областью применения в рамках технологической цепочки продвижения поездо- и вагонопотока.

Для решения данной проблемы разработана математическая модель на основе теории массового обслуживания, предназначенная для определения места внедрения цифровых решений на основе выявления барьерных мест во взаимодействии ГЖС и ПНП, а также оригинальный классификатор цифровых технико-технологических решений, обеспечивающий подбор возможных вариантов в зависимости от выявленного барьерного узла **[2]**.

Вместе с тем сформированный перечень альтернативных цифровых решений требует дальнейшего обоснованного выбора предпочтительного варианта. В связи с этим выбор конкретного цифрового инструмента требует применения научно-обоснованного методического подхода, позволяющего оценить влияние цифровизации производственных процессов на показатели работы железнодорожной станции и примыкающих путей необщего пользования и обеспечить обоснованный шаг по внедрению и (или) интеграции наиболее целесообразного цифрового технико-технологического решения.

Выбор оптимального варианта

В работе **[3]** выполнено исследование, направленное на обоснование выбора критериев оценки эффективности внедрения цифровых технико-технологических решений, ориентированных на повышение результативности взаимодействия грузовых железнодорожных станций и примыкающих путей необщего пользования. Характеристика критериев ($f_i(x) \rightarrow$ max\min):

- себестоимость переработки одного вагона, руб./год — $f_1(x) \rightarrow$ min;
- простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД», ч — $f_2(x) \rightarrow$ min;
- производительность труда, ваг./чел. — $f_3(x) \rightarrow$ min;
- производственный травматизм, случаев — $f_4(x) \rightarrow$ min.

Следует отметить, что такие критерии, как себестоимость переработки местного вагона, простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД» и производственный травматизм имеют тенденцию стремиться к минимуму. В то же время производительность труда, напротив, направлена на максимизацию. В результате разнородности указанных критериев задача по выбору оптимального варианта цифрового технико-технологического решения при-

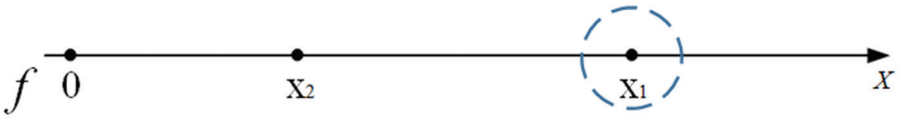


Рис. 1. Метод выбора оптимального варианта на основе одного критерия

обретает характер многокритериальной оптимизации.

Большинство известных методов многокритериальной оптимизации принятия решений основываются на анализе предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР). Им может являться как отдельный субъект, так и группа лиц, объединенная общими интересами и стремящаяся достичь определенной цели **[4]**.

Поскольку многообразие критериев, характеризующих рассматриваемые альтернативы, часто создает трудности при выборе лучшего решения, крайне важно учесть индивидуальные предпочтения и вкусы ЛПР. Это позволяет наиболее точно подобрать оптимальный вариант, соответствующий заданной цели **[5]**. Чтобы принятое решение оказалось наиболее оптимальным и приблизило к желаемому результату, необходимо четко осознавать, что подразумевает термин «наилучший выбор». Наиболее распространенным способом выяснения предпочтительных вариантов является построение специальной шкалы ценности, которая отображает желания и требования конкретного ЛПР относительно решаемой задачи. Такой подход помогает ясно выразить мнение субъекта о важности каждого критерия, облегчить сопоставление вариантов и обосновать выбор наиболее подходящего решения.

Иногда предпочтения лица, принимающего решение, удается описать достаточно просто. Например, считается, что вариант x_1 предпочтительнее варианта x_2, если количественная или качественная оценка первого варианта строго превышает оценку второго. Пусть задана числовая функция *f*, определенная на множестве возможных решений *X*, именуемая целевой функцией или критерием оптимальности (*рис. 1*).

В данном случае множество выбираемых вариантов *C*(*X*) будет включать те элементы множества *X*, которые обеспечивают максимум или минимум значений функции *f*. Таким образом, задача выбора превращается в стандартную оптимизационную задачу, которая глубоко исследована, и для ее решения разработаны многочисленные методы **[4]**.

Задачи выбора, в которых предпочтения ЛПР не могут быть выражены простым способом, представляют собой более обширный и интересный класс с точки зрения практики. В них задается набор числовых целевых функций $f_1, f_2, \dots, f_k$, определенных на множестве *X*, которые образуют векторный критерий $f=(f_1, f_2, \dots, f_k)$ со значениями в так называемом критериальном пространстве R_k. При этом для ЛПР каждый из критериев необходимо привести к одному направлению, что позволит однозначно сравнить альтернативы.

Если оценка одного из двух вариантов не хуже другого по всем компонентам, по крайней мере по одной из них — строго лучше, то первый вариант предпочтительнее второго **[4, 6]**. Данное условие является аксиомой Парето и может быть представлено в виде соответствующего неравенства. Уравнение для всех задач максимизации **[4, 6]**:

$$x', x'' \in X, f_i(x') \geq f_i(x''), i = 1,2, \dots, m; \quad \exists k \in \{1,2, \dots, m\}: f_k(x') > f_k(x''). \quad (1)$$

Таким образом, актуальной задачей является поиск решений, удовлетворяющих принципу Парето-доминирования, т. е. таких альтернатив, которые нельзя улучшить по одному критерию или нескольким без ухудшения по другим критериям. Совокупность таких безусловно несравнимых альтернатив называется Парето-оптимальное множество или областью компромиссов **[7]**. Именно в пределах данного множества осуществляется дальнейший выбор оптимального варианта.

Таким образом, векторная оптимизация включает два этапа:

• безусловная оптимизация, в рамках которой анализируется критериальное пространство и отсеиваются безусловно худшие варианты, что позволяет получить оптимальное множество Парето;

• условная оптимизация, в рамках которой для получения единственного решения из оптимального множества Парето применяются дополнительные принципы оптимальности (условия согласования критериев).

Одним из методов условной оптимизации является принцип равенства критериев. Идея метода заключается в том, что если невозможно однозначно выбрать лучший вариант, то оптимальным будет тот, при котором значения всех критериев, приведенных к единому масштабу, становятся равными или близкими друг другу **[6]**. Данный подход применим, когда критерии трудно ранжировать по важности, и мы хотим достичь баланса между ними. Однако случай $f_1 = f_2 = \dots = f_k$ может не попасть в область компромиссов или вообще не принадлежать к области допустимых вариантов.

В данной работе рассматривается ситуация, при которой выбор оптимального варианта цифрового технико-технологического решения определяется на основании четырех разнородных критериев **[3]**: себестоимость переработки одного вагона; простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД»; производительность труда; производственный травматизм. Таким образом, исходное множество критериев $F_k; k = 4$.

Общая постановка задачи многокритериального выбора оптимального цифрового технико-технологического решения имеет следующий вид: $m = (m_1, m_2, \dots, m_n) \in M$ — множество альтернатив (вариантов цифровых технико-технологических решений); $F_k; k = \overline{1,4}$, где *k*— множество разнородных критериев оценки оптимального варианта.

Если лучшей альтернативе соответствует минимум трех критериев и максимум, то поиск оптимального варианта сводится к многокритериальной задаче следующего вида:

$$F(M) = \{F_1(m_n), F_2(m_n), F_4(m_n)\} \to \min, \quad F(M) = \{F_3(m_n)\} \max \ \ m \in M. \quad (2)$$

Таким образом, при сравнении двух цифровых технико-технологических решений $m_i \in M$ и $m_j \in M$, где задан $F_3(m_n)$, стремящийся к максимуму, тогда для любых индексов $i, j = \overline{1,m}$ справедливо неравенство $F_3(m_i) \geq F_3(m_j)$, т. е. очевидно, что решение m_i не хуже, чем m_j. Кроме того, если существует хотя бы один индекс $i = \overline{1,m}$, при котором выполнено строгое неравенство $F_3(m_i) > F_3(m_j)$, то в данном случае решение превосходит вариант решения m_j.

Для оценки и выбора лучшей альтернативы необходимо структурировать альтернативы по критериям адекватности. Множество оцениваемых альтернатив заносится в «Критериальную таблицу», где r_{ij} — оценка *i*-й альтернативы (варианта цифрового технико-

Таблица 1. Критериальная матрица альтернатив

Критерии	Варианты				
	m_1	m_2	m_3	...	m_n
K_1	r_{11}	r_{12}	r_{13}	...	r_{1n}
K_2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	...	r_{2n}
K_3	r_{31}	r_{32}	r_{33}	...	r_{3n}
...	...	...	...	...	...
K_i	r_{i1}	r_{i2}	r_{i3}	...	r_{in}

технологического решения) m_i по j-му критерию (F_k) $i=\overline{1, k}$, (*табл. 1*).

Для сравнения альтернатив (m_i) и (m_j) полное множество критериев разбивается на три подмножества {$I+$, $I=$, $I\_$}:

• $I_+(m_i, m_j)$ — критерии, по которым вариант решения превосходит;

• $I_=(m_i, m_j)$ — критерии, по которым варианты и имеют эквивалентные оценки;

• $I_-(m_i, m_j)$ — критерии, по которым вариант превосходит.

В качестве метода условной оптимизации рассмотрен принцип равенства критериев. Этот метод подходит для решения поставленной проблемы, так как позволяет свести многокритериальную задачу к поиску равновесного решения, при котором каждый из критериев оказывает примерно равное влияние на итоговый выбор **[6, 7]**. Благодаря нормализации критериев и минимизации суммы отклонений от средней величины метод помогает избегать доминирования одного показателя и достигать гармонии между конкурирующими интересами.

Для начала критерии нормализуются относительно друг друга, поскольку разные показатели могут иметь различную размерность и масштаб значений. Пусть задано множество альтернатив M, каждая из которых оценивается по k критериям $f_k(m_i)$, где $i = (1,2, ..., n)$. Тогда нормирование значений критериев определяется по формуле следующим образом:

$$f_k(m_i) = \frac{f_k(m_i) - f_{\min k}}{f_{\max k} - f_{\min k}}, \quad (3)$$

где $f_{\min k}$ и $f_{\max k}$ — минимальное и максимальное значение критерия k среди всех альтернатив.

Далее вычисляется среднее значение каждого критерия по всем альтернативам по формуле

$$f_k = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f_k(m_i),\ k = (1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

Затем рассчитывается отклонение каждой альтернативы от среднего значения по каждому критерию по формуле

$$d_{ki} = |f_k - f_k(m_i)|, i = 1,2, \dots, n, k = 1,2, \dots, n.$$
$$\sum_{k=1}^{m} d_{ki} \to \min. \quad (5)$$

В итоге выбор оптимального варианта определяется как тот, при котором сумма отклонений по всем критериям будет минимальной:

$$M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5\},$$
$$M_P = \{m_1, m_4, m_5\}. \quad (6)$$

Пример апробации

Рассмотрим пример выбора рационального цифрового технико-технологического решения, направленного на повышение эффективности взаимодействия грузовой железнодорожной станции и примыкающих путей необщего пользования на основании разработанной методики.

В результате применения математической модели в качестве барьерного места определена технологическая операция по обработке состава по отправлению, на основании чего с использованием разработанного классификатора сформирован перечень из пяти альтернативных цифровых технико-технологических решений для разгрузки выявленного барьерного места:

• m_1 — внедрение мобильного рабочего места осмотрщика вагонов;

• m_2 — мобильного рабочего места бригады пункта коммерческого осмотра;

• m_3 — модуля планирования и контроля отправления поездов;

• m_4 — модуля автоматического опробования автотормозов;

• m_5 — модуля автоматического закрепления подвижного состава.

Таким образом, сформируем множество альтернатив цифровых решений:

$$M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5\},$$

где m_i — вариант внедрения цифрового технико-технологического решения (или их комбинации), направленного на повышение эффективности взаимодействия ГЖС и ПНП.

Оценка альтернатив выполняется по четырем критериям эффективности:

• K_1 — себестоимость переработки одного вагона (→ min);

• K_1 — простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД» (→ min);

• K_1 — производительность труда (→ max);

• K_1 — производственный травматизм (→ min).

Исходные значения критериев по рассматриваемым альтернативам формируют критериальную матрицу (*табл. 2*).

На первом этапе выполняется Парето-анализ с целью исключения доминируемых альтернатив. По результатам сравнения установлено, что доминируемыми являются альтернативы. Альтернативы, и являются безусловно несравнимыми и формируют Парето-оптимальное множество:

$$M_P = \{m_1, m_4, m_5\}.$$

Результаты сравнения представлены в виде матрицы Парето-доминирования (*табл. 3*). На основании матрицы доминирования формируется Парето-оптимальное множество альтернатив, включающее решения, которые не могут быть улучшены по одному критерию без ухудшения другого. Схема формирования Парето-оптимального множества представлена на *рис. 2*.

Дальнейший выбор рационального решения выполняется только среди альтернатив, входящих в Парето-оптимальное множество. Поскольку критерии являются разнородными и имеют различную размерность, выполняется нормирование по методу min-max с приведением критериев к единой направлен-

Таблица 2. Исходные значения критериев для альтернативных вариантов цифровых решений (оценочные данные)

Критерии	Направление	Ед. измерения	Варианты				
			m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
K_1	→ min	тыс. руб. / год	34,7	34,7	39,0	38,0	38,2
K_2	→ min	ч / сут	33,65	33,65	33,6	33,6	33,5
K_3	→ max	ваг. / чел.	3,2	2,4	0	4,6	1,6
K_4	→ min	случай	1	1	1	0	0

Таблица 3. Матрица Парето-доминирования альтернатив цифровых решений

Альтернатива m_i	Альтернатива m_j					
		m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
	m_1	—	1	0	0	0
	m_2	0	—	0	0	0
	m_3	0	0	—	0	0
	m_4	0	0	1	—	0
	m_5	0	0	1	0	—

Примечание: 1 — доминирование альтернативы по строке над альтернативой по столбцу; 0 — отсутствие доминирования.

Таблица 4. Результаты Парето-отбора и условной оптимизации альтернатив цифровых решений

Альтернатива	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
m_1	1,000	0,000	0,533	0,000	0,383	1,533
m_2	—	—	—	—	—	—
m_3	—	—	—	—	—	—
m_4	0,057	0,333	1,000	1,000	0,598	1,61
m_5	0,000	1,000	0,000	0,000	0,250	1,5

ности в соответствии с формулами (3–6). Результаты нормирования и условной оптимизации представлены в *табл. 4*.

По результатам расчета интегрального показателя сбалансированности установлено, что минимальное значение D_i соответствует альтернативе m_5 (D_i=1,5) (внедрение модуля автоматического закрепления подвижного состава), что позволяет признать ее рациональным вариантом внедрения цифрового решения при заданных исходных данных.

Заключение

Таким образом, предложенная методика обеспечивает выбор рационального цифрового решения на основе многокритериальной оценки.

На этапе безусловной оптимизации выполняется анализ критериального пространства и исключение заведомо неэффективных (доминируемых) альтернатив с формированием множества Парето.

На этапе условной оптимизации осуществляется выбор предпочтительного решения среди альтернатив множества Парето на основе дополнительного принципа оптимальности (в данном случае — принципа равенства критериев).

Применение методики позволяет обоснованно принимать решения по внедрению цифровых технико-технологических решений, направленных на разгрузку барьерного места в процессе взаимодействия ГЖС и ПНП. Т

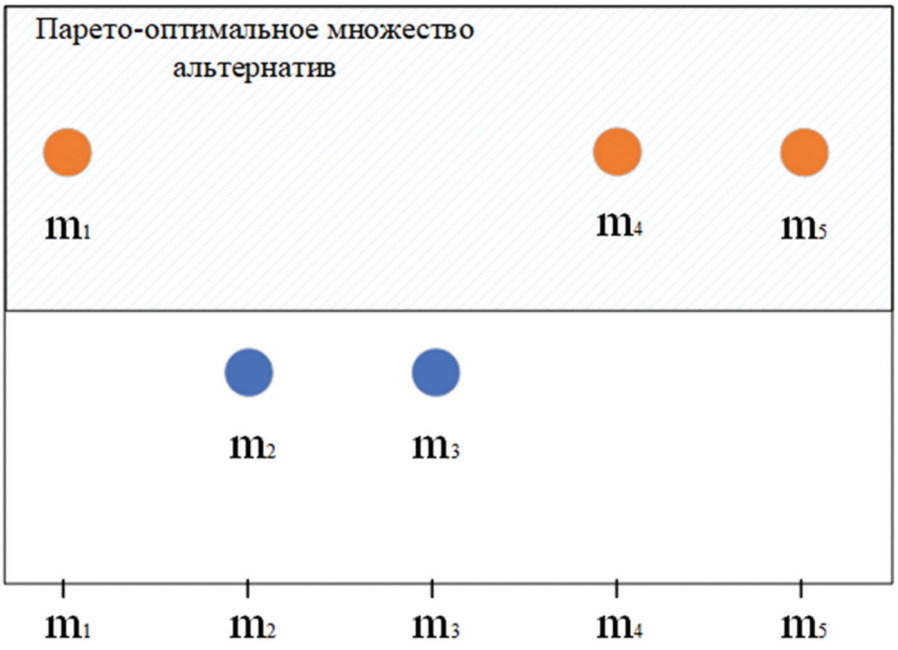


Рис. 2. Формирование Парето-оптимального множества альтернатив

Литература

1. Рахмангулов А. Н., Мишкуров П. Н. Способ цифровизации железнодорожных перевозок на путях необщего пользования горнодобывающих предприятий // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2025. Т. 23. № 2. С. 5–17. DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-2-5-17.
2. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Грузд А. А. Научно-методический подход к интеграции цифровых технологий в работу железнодорожных грузовых станций и примыкающих путей необщего пользования // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, экономике, практике. 2025. № 3(118). С. 43–47.
3. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Грузд А. А. Многокритериальный подход к оценке эффективности внедрения цифровых технологий в работу грузовых железнодорожных станций // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2025. № 2(74). С. 55–62. DOI: 10.52170/1815-9265_2025_74_55.
4. Железняков А. А., Гарькина И. А. Множество Парето при решении многокритериальных задач // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2025. № 3(58). С. 166–172.
5. Кощеев А. А., Тимухина Е. Н., Кащеева Н. В. и др. Формирование множества альтернативных решений по выбору параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций // Транспорт Урала. 2022. № 2 (73). С. 65–70. DOI: 10.20291/1815-9400-2022-2-65-70.
6. Грибанова Е. Б., Леонов Д. В. Разработка моделей условной оптимизации с использованием экспертных оценок // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2024. Т. 27. № 3. С. 100–108. DOI: 10.21293/1818-0442-2024-27-3-100-108.
7. Богданова П. А., Сахаров Д. М., Васильева Т. В. Обзор методов многокритериальной оптимизации в задачах принятия решений // Инновационные аспекты развития науки и техники. 2021. № 6. С. 153–157.

УДК 656.615.8

Датчики и технологии искусственного интеллекта для ситуационной оценки состояния двигателя на автономных судах



А. И. Епихин,
канд. техн. наук, начальник кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Государственного морского университета им. адм. Ф. Ф. Ушакова (ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова),



С. И. Кондратьев,
д-р техн. наук, ректор ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова,



Е. В. Хекерт,
д-р техн. наук, проректор ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова

Под влиянием прорывных технологий IV промышленной революции, аналитики больших данных, робототехники, датчиков и средств связи активно развивается концепция автономного морского судна, которая открывает широкие перспективы для будущего прогресса судоходной отрасли. Это актуализирует вопросы обеспечения безопасности самоходных судов за счет улучшенного мониторинга их жизненно важных систем.

Морской транспорт и связанные с ним технологии во всем мире проходят этап глубоких изменений и функциональной трансформации. В различных сферах и прикладных областях перед морскими миссиями ставятся долгосрочные задачи, которые должны выполняться в отдаленных регионах, причем с сокращенным экипажем, который может быть передислоцирован уже через несколько месяцев.

Срок действия таких операций в ряде случаев достигает нескольких лет и реализовать их возможно только если корабли будут эксплуатироваться с дистанционным мониторингом и контролем за работой основного оборудования **[1]**. Достижение этой цели предполагает использование сложной системы автоматизации и автономных технологий. В этой связи можно отметить, что в будущем постоянный доступ к обширным и надежным данным о состоянии судна будет иметь решающее значение для эффективного планирования задач морского транспорта, выполняемых в автономном режиме, а также сокращения затрат отрасли в целом.

Сегодня обсуждения, касающиеся автономных технологий навигации, контроля и диагностики состояния оборудования автономных судов начинают приобретать практическую форму. В разных странах мира завершены различные проекты, направленные на понимание и предложение решений, позволяющих на практике использовать автономные технологии. По результатам проводимых опытов учеными опубликовано много статей о мониторинге состояния и диагностике неисправностей силовых установок как с теоретической, так и прикладной точки зрения.

В начале внедрения этой практики сбор сигналов основывался на различных методах полевых испытаний, а с развитием технологий и средств связи сектор перешел к более сложным способам прогнозирования неисправностей **[2]**. Тем не менее большинство современных систем мониторинга состояния по-прежнему требуют вмешательства человека на каком-то этапе, и отрасль здесь все еще сталкивается со сложными проблемами, которые необходимо преодолеть. На *рис. 1* представлены статистические данные, свидетельствующие о количестве и динамике отказов двигателей на автономных судных.

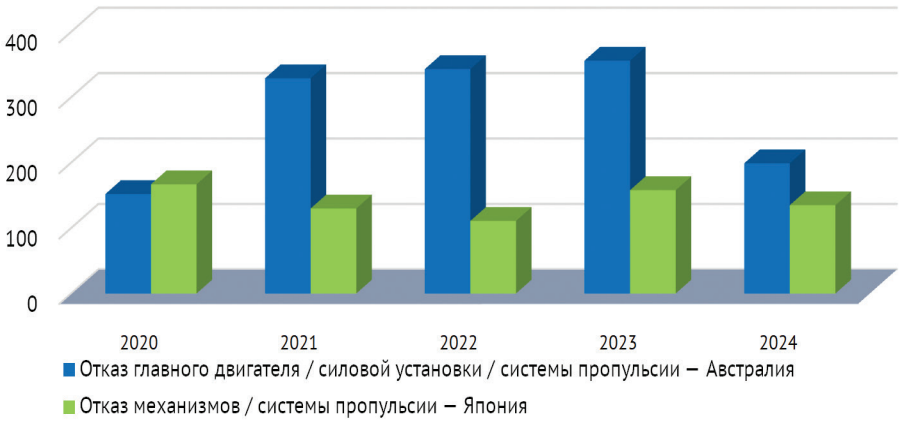


Рис. 1. Число отказов главного двигателя/силовой системы автономных судов

Датчики и технологии ИИ для ситуационной оценки состояния судовых двигателей на автономных судах

Тип датчика	Измеряемый параметр	Применение для диагностики	Методы ИИ и анализа данных
Вибрационные датчики (акселерометры)	Вибрации корпуса и узлов двигателя	Обнаружение дисбаланса, износа подшипников, ранних признаков механических неисправностей	Машинное обучение (SVM, Random Forest), нейронные сети (CNN, LSTM) для анализа временных рядов
Датчики температуры	Температура цилиндров, подшипников, выхлопных газов	Мониторинг перегрева, оценка состояния смазки, контроль сгорания	Регрессия, байесовские модели, прогнозирование на основе LSTM
Датчики давления	Давление топлива, масла, воздуха	Выявление утечек, засоров, проблем в системе смазки и впуска	Аномалия-детекция (Isolation Forest, автоэнкодеры)
Датчики акустические (микрофоны, ультразвук)	Шум и акустические эмиссии	Диагностика ударных нагрузок, кавитации, неисправности клапанов	Спектральный анализ + нейросети (CNN для спектрограмм)
Датчики тока и напряжения	Электрические характеристики систем управления	Контроль работы электроники двигателя и приводов	Нейронные сети для предсказания отказов электронных узлов
Камеры (RGB/ИК)	Визуальные характеристики (цвет дыма, износ деталей)	Контроль качества сгорания топлива, визуальная инспекция	Компьютерное зрение (CNN, YOLO, трансформеры)
Газоанализаторы	CO_2, NO_x, содержание кислорода	Диагностика качества горения, контроль выбросов	Модели прогнозирования и оптимизации горения
Комбинированные датчики (IoT-платформы)	Мультипараметрический мониторинг	Интегральная оценка состояния двигателя	Fuzzy-логика, цифровые двойники, предиктивная аналитика

Эта информация систематизирована на основании ежегодных отчетов Marine Incident Annual Reports (Австралия), где фиксируются технические неисправности на австралийских и иностранных судах, а также статистических обзорах по морским происшествиям, составляемых Japan Transport Safety Board (Япония). И хотя рисунок демонстрирует нисходящую тенденцию по отказам и поломкам двигателей, вопрос точной диагностики неисправностей еще далек от своего окончательного решения.

Достижение прогресса в области регулярного мониторинга и обнаружения неисправностей силовой системы автономного судна стало возможным благодаря применению мультисенсорных систем восприятия ситуации на судне, которые активно развиваются. Их достоинством является повышенная доступность и целостность за счет взаимодополняющего зондирования, т. е. показатели/состояние, которые не обнаруживаются одним датчиком, могут быть идентифицированы другим, а также за счет избыточности, другими словами, наблюдение может быть перепроверено из разных источников. Информация, собираемая этими мультисенсорными системами, обрабатывается с применением интеллектуальных технологий и передается на панель управления **[3]**.

При этом необходимо отметить, что хотя мультисенсорные системы восприятия хорошо известны в контексте автономных автомобилей, мобильного картографирования, дистанционного зондирования и робототехники, морской контекст получил в данной сфере меньшее внимание. Поэтому расширение исследований в этом направлении является актуальной задачей.

Характеристики различных датчиков, которые используются в автономных транспортных средствах, начиная от радаров и лидаров и заканчивая камерами и акустическими сенсорами, с указанием их уникальных преимуществ и ограничений описывают в своих трудах А. В. Григорьев, С. М. Малышев, С. В. Воробьев, К. В. Ковальский, Yanqing Jiang, Ye Li, Bo Wang, Tianqi Xie. Различные технологии интеграции данных из нескольких источников для обеспечения лучшего понимания морской среды и состояния силового оборудования судна изучают В. В. Герасиди, Н. И. Николаев, А. В. Лисаченко, Г. П. Кича, Kirsty M. Lynch, Victoria A. Banks, Aaron P. J. Roberts.

Имеющиеся публикации свидетельствуют об активном интересе ученых к рассматриваемой проблематике, однако учитывая тот факт, что развитие концепции автономного судоходства и ситуационной осведомленности происходит интенсивно с появлением передовых решений и технологий, возникают новые вопросы, которые требуют детального исследования. Например, в дополнительном обосновании нуждаются подходы к анализу нерегулярно отбираемых многомерных временных рядов данных, которые поступают с нескольких датчиков, установленных на двигателе судна, для разработки модели обнаружения аномалий.

Таким образом, цель статьи заключается в изучении возможностей использования датчиков и технологии искусственного интеллекта (ИИ) для ситуационной оценки состояния двигателя на автономных судах.

В первую очередь представляется целесообразным отметить, что ситуационная оценка состояния двигателя на автономных судах означает, что мультисенсорные системы восприятия ситуации способны идентифицировать и классифицировать режимы работы двигателя, выполнять измерение и проверку его технического состояния, обеспечивая согласованность результатов в рамках избыточного подмножества датчиков **[4]**. В *таблице* представлено описание некоторых датчиков и технологий ИИ, составляющих основу мультисенсорной системы.

Детальнее рассмотрим ключевые этапы ситуационной оценки состояния двигателя на автономных судах с использованием мультисенсорной системы. Для этого на *рис. 2* показано упрощенное представление судового двигателя внутреннего сгорания, в котором различные части сгруппированы в четыре отдельных подсистемы, а для мониторинга состояния используется в общей сложности 10 датчиков.

Этап 1. Определение исследуемой эталонной системы (двигателя автономного судна), которая, например,

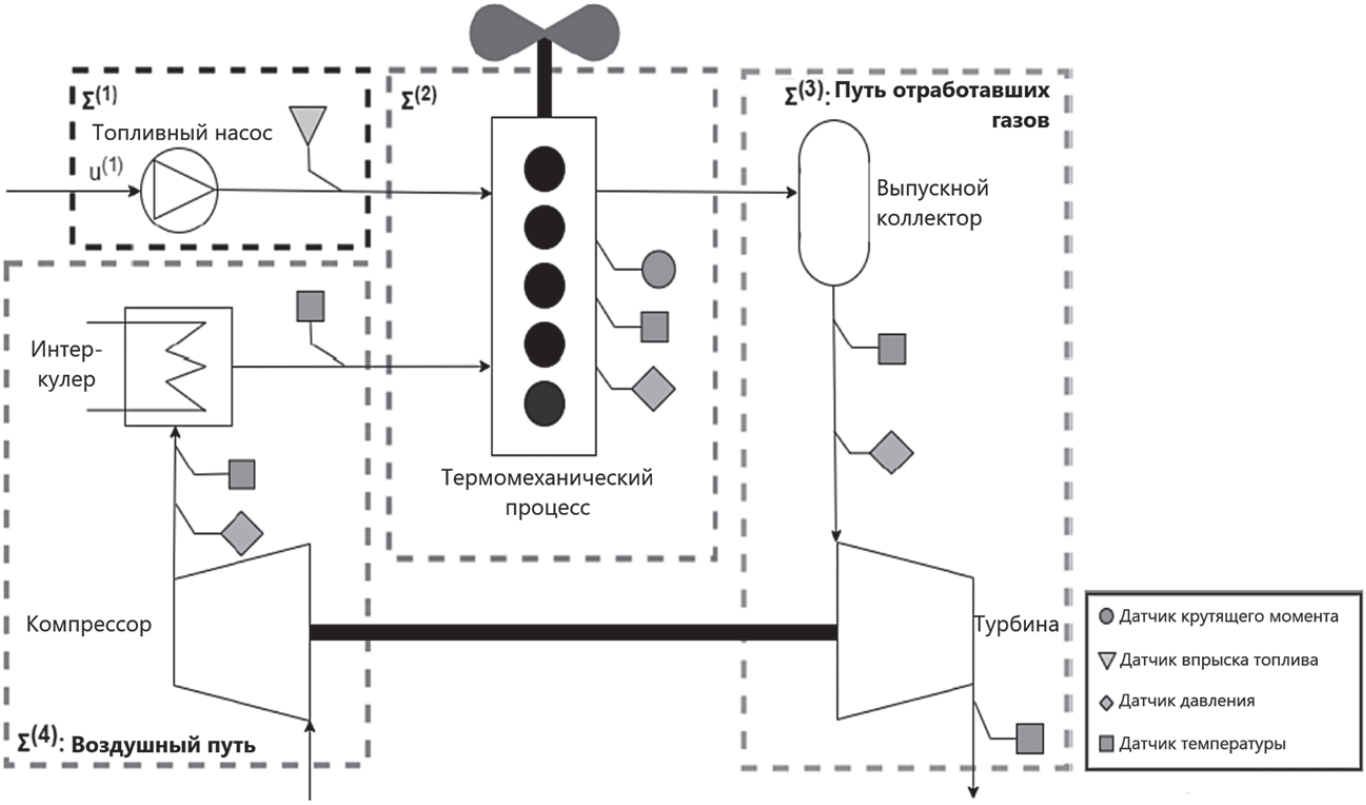


Рис. 2. Схематическое изображение двигателя автономного судна

может включать в себя термодинамическую модель двигателя, а также функциональную модель управления (система управления двигателем).

Этап 2. Разработка системы, диагностики и управления двигателем, которая учитывает определенные данные, поступающие от датчиков, и позволяет контролировать параметры двигателя, а также подавать и регистрировать сигналы тревоги силовой установки.

Этап 3. Выбор систем, которые позволяют собирать, хранить, анализировать и предварительно обрабатывать данные. В некоторых случаях этот этап выполняется с помощью специальных скриптов и блокнотов для импорта, анализа и подготовки данных к обучению. Однако существует постоянно растущий список программных инструментов, помогающих в обработке, управлении и сопоставлении данных. На *рис. 3* показана функциональная схема этапа подготовки данных.

Данные для обучения часто хранятся в различных форматах, включая текстовые файлы (например, CSV или другой разделительный текст, необработанный текст, текст фиксированной ширины, JSON, XML), двоичные файлы (HDF5, Excel, Python Pickle), файлы изображений (PNG, JPEG, TIFF, NTF), базы данных (MySQL, PostgreSQL) и хранилища объектов (S3) **[5]**. Широкая и масштабируемая поддержка различных форматов данных и методов хранения имеет важное значение для их использования на базе одной платформы.

Этап 4. Разработка и испытание системы диагностики двигателя, направленной на решение следующих задач: обнаружение и диагностика неисправностей; обнаружение неисправностей и сбоев датчиков.

Вторая задача включает в себя реализацию следующих двух отдельных шагов: разработка интеллектуальной системы мониторинга работоспособности сенсоров; разработка системы обнаружения неисправностей и отказов в датчиках.

Таким образом, первая задача заключается в обосновании и внедрении набора логических выражений и условий для обнаружения неисправностей и отказов исполнительных механизмов силовой установки, благодаря чему реализуется интеллектуальный мониторинг, который расширяет методы обнаружения и диагностики. Вторая задача использует модель на основе данных для выявления аномалий датчиков.

В целом модель интеллектуальной системы мониторинга двигателя, основанная на данных, базируется на нейронных сетях, которые обучены представлять ряд рабочих параметров двигателя в исправном состоянии и имеют очень низкую вычислительную нагрузку (в режиме реального времени).

Этап 5. Существующая система управления двигателем объединяется с системой сигнализации и мониторинга, а также с системой безопасности силовой установки, образуя единый комплекс управления двигателем, который интегрируется с системой диагностики двигателя, формируя таким образом целостный цифровой контур. Цель этой интеграции — создать уникальное цифровое «ядро» (со всеми взаимосвязанными системами управления), которое контролирует работу двигателя и способно обнаруживать и исправлять любые аномалии, неисправности на основе данных, поступающих от многочисленных датчиков.

Описанный подход позволяет диагностировать состояние двигателя автономного судна, опираясь на три основных источника данных:

- рабочие параметры, охватывающие как нормальную, так и неисправную работу;
- подробная история технического обслуживания;
- текущее состояние компонентов, включая износ с течением времени, для

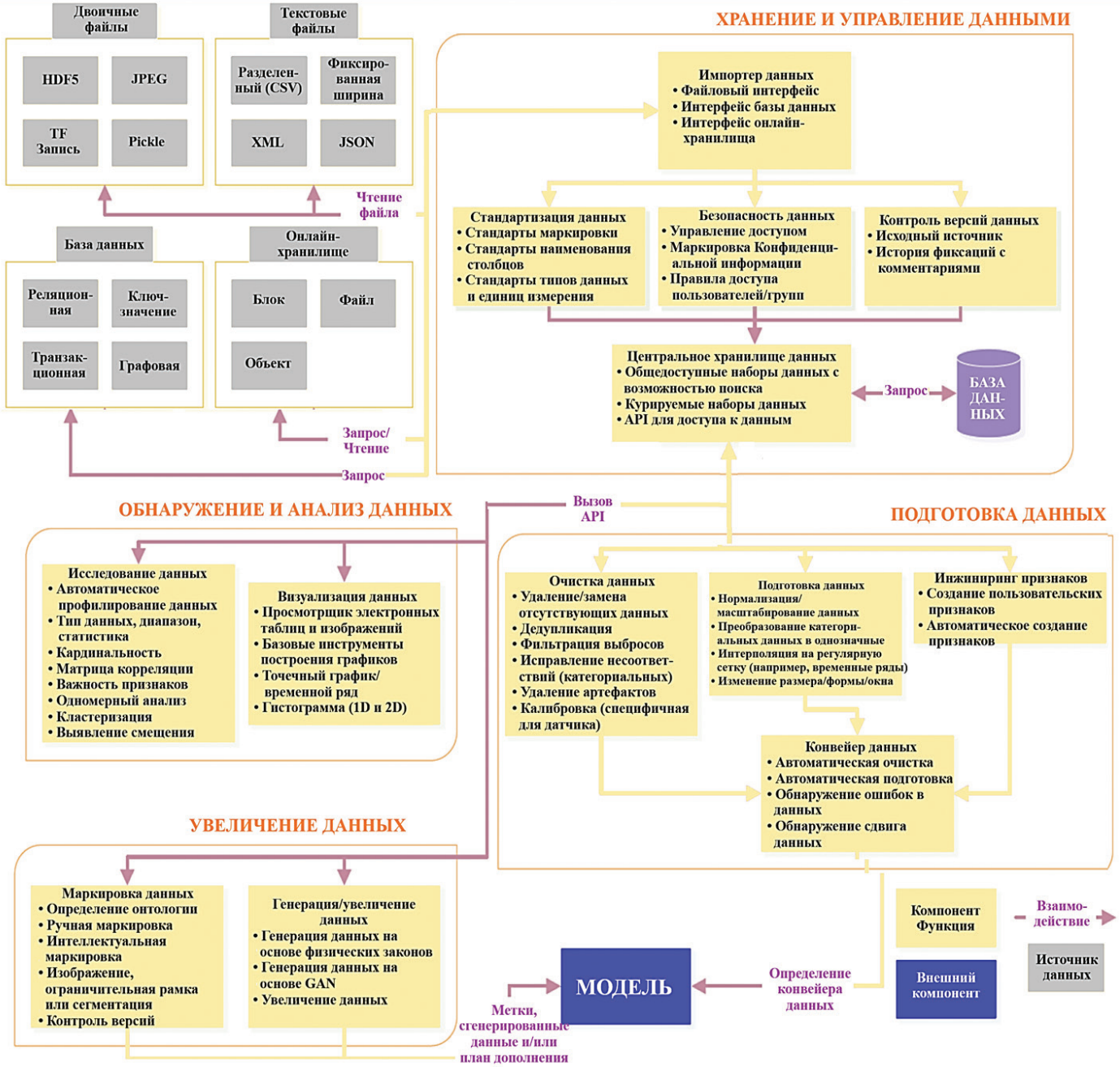


Рис. 3. Функциональная схема этапа подготовки данных

оценки количества часов работы до выхода из строя силового оборудования.

Подводя итоги, отметим, что описан подход, позволяющий проводить ситуационную оценку состояния двигателя на автономных судах на основе данных, поступающих от мультисенсорной системы, с использованием нейронных сетей в сочетании с усовершенствованными логическими средствами управления и процессами классификации.

Эта методология позволяет реализовать концепцию унифицированной цифровой системы двигателя, которая способна обнаруживать, диагностировать и автоматически корректировать аномалии работы оборудования, а также выявлять неисправности.

Литература

1. Петров А. П., Живлюк Г. Е. Возможность использования традиционных современных судовых дизельных энергетических установок в автономном судоходстве // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2025. Т. 17. № 1. С. 138–147.
2. Герасиди В. В. Оценка критериев параметров вибрации судовых 4-х тактных двигателей на основе правил классификационных обществ // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 2–1 (64). С. 82–89.
3. Yuxin Zheng. Distributed secure formation control for autonomous surface vessels by performance adjustable event-triggered mechanism // International Journal of Robust and Nonlinear Control. 2023. Vol. 33. Iss. 14. P. 23–29.
4. Ethan S. Rolland Autonomous control of a prototype solar-powered offshore autonomous underwater vehicle servicing platform via a low-cost embedded architecture // Journal of Field Robotics. 2023. Vol. 40. Iss. 4. P. 40–49.
5. Qingzheng Xu, Zhisheng Wang. Adaptive nonlinear information fusion preview control for autonomous surface vessels subject to measurement noises and unknown input saturations // Asian Journal of Control. 2023. Vol. 25. Iss. 5. P. 79–83.

УДК 625.3

Лучшие мировые практики формирования сети объектов инфраструктуры для обслуживания высокоскоростного подвижного состава



Е. Б. Куликова,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы», руководитель проектов ПИШ «Академия ВСМ» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)),



Е. А. Хлопенова,
аспирант РУТ (МИИТ)

Развитие высокоскоростного железнодорожного сообщения является одним из приоритетных направлений модернизации транспортной инфраструктуры ведущих стран мира. Общая протяженность высокоскоростных магистралей в мире превышает 60 тыс. км, а география их эксплуатации охватывает более 25 стран на четырех континентах.

Поручение президента Российской Федерации В. В. Путина 10 апреля 2019 г. дало старт проектированию высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург (ВСМ-1).

Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. задает долгосрочные цели планирования развития сети высокоскоростных магистралей (ВСМ), согласно которым до 2035 г. планируется одновременное строительство нескольких скоростных и высокоскоростных железных дорог[1]. В 2021 г. маршрут внесли в официальную схему территориального планирования страны, что стало началом подготовительных работ[2].

В рамках развития ВСМ в России предусмотрена реализация мероприятий по созданию комплексной сети высокоскоростных магистралей со скоростью движения 350–400 км/ч с перспективой расширения ее протяженности до 7 тыс. км к 2035 г.[3] (*табл. 1*). Важнейшие направления ВСМ включают Москва — Санкт-Петербург (ВСМ-1), Москва — Екатеринбург (ВСМ-2 «Восток»), Москва — Адлер (ВСМ-3 «Юг»), Москва — Минск (ВСМ-4 «Союз»), Москва — Рязань (ВСМ-5).

Эффективное функционирование системы высокоскоростного движения невозможно без создания специализированной инфраструктуры технического обслуживания (ТО) и ремонта (ТР) подвижного состава. В отличие от традиционного железнодорожного транспорта высокоскоростные поезда предъявляют повышенные требования к условиям эксплуатации и техобслуживанию, что

[1] Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р // Министерство транспорта Российской Федерации. URL: https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577 (дата обращения: 03.03.2026).

[2] О внесении изменений в распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2013 г. № 384-р: распоряжение Правительства РФ от 29.09.2021 № 2734-р // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202110010014 (дата обращения: 03.03.2026).

[3] РЖД намерены запустить в 2030–2035 годах около 7 тыс. км ВСМ // ТАСС: информационное агентство. URL: https://tass.ru/ekonomika/18036871 (дата обращения: 03.03.2026).

Таблица 1. Параметры реализации проекта развития сети ВСМ в Российской Федерации

№ №	Направление	Протяженность	Время в пути	Пассажиропоток	Количество поездов	Срок строительства, г.
ВСМ-1	Москва — Санкт-Петербург	678,1 км	2 ч 15 мин	22,9 млн пас./год (2030 г.)	43 (2032 г.)	2028
ВСМ-2	Москва — Екатеринбург	1532 км	6 ч 36 мин	21,1 млн пас./год	90	2042
ВСМ-3	Москва — Адлер	1540 км	7 ч 50 мин	17,2 млн пас./год	107	2040
ВСМ-4	Москва — Минск	715 км	3 ч	3,8 млн пас./год	21	2033
ВСМ-5	Москва — Рязань	205 км	1 ч 5 мин	5,8 млн пас./год	9	2045

обусловлено их конструктивными особенностями, высокими эксплуатационными скоростями (до 350 км/ч и выше), интенсивностью использования подвижного состава, высоким уровнем комфорта и качества сервисов, предоставляемых пассажирам на борту.

Традиционная инфраструктура, предназначенная для обслуживания и подготовки в рейс железнодорожного подвижного состава, в России формировалась эволюционно на протяжении более чем 150 лет — от паровозных депо до современных локомотиворемонтных заводов. Данная система сегодня сформирована преимущественно под скорость до 160 км/ч и не учитывает специфику высокоскоростного движения. Перенос существующих практик на сеть ВСМ без соответствующей адаптации может привести к системным ограничениям в эксплуатации и снижению экономической эффективности проекта.

Именно на текущем этапе проектирования и формирования новой сети ВСМ критически важно предложить принципиально новые инженерно-технологические подходы и решения при размещении инфраструктуры технического обслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава. Они должны учитывать целый ряд факторов, в частности:

- новые принципы размещения инфраструктуры (с учетом оптимального пробега подвижного состава между пунктами ТО и ТР);
- сокращенные циклы обслуживания (ВСМ — как правило это интенсивная эксплуатация подвижного состава 18–20 ч в сутки);
- более высокие требования к точности диагностики (скорости 250–350 км/ч требуют обнаружения дефектов на ранних стадиях);
- интеграцию цифровых систем мониторинга в режиме реального времени;
- специализированные технологические процессы (отличные от традиционных деповских операций).

В отечественной науке практически нет отдельной развитой школы, которая системно описывает такого рода инфраструктуру для высокоскоростного подвижного состава. Однако есть несколько групп авторов и работ, где эта тема затрагивается: В. А. Гапанович и А. А. Поплавский **[1–3]**, а также научные коллективы АО «ВНИИЖТ» и АО «НИИАС».

В. А. Гапанович в своей монографии **[1]** выделяет техническое обслуживание высокоскоростных электропоездов в самостоятельный раздел, где рассматривает европейский опыт организации сервисной инфраструктуры, в том числе на примере функционирования специализированных депо в Германии и Испании, описывая применяемые системы периодичности ТО и технологическое оборудование.

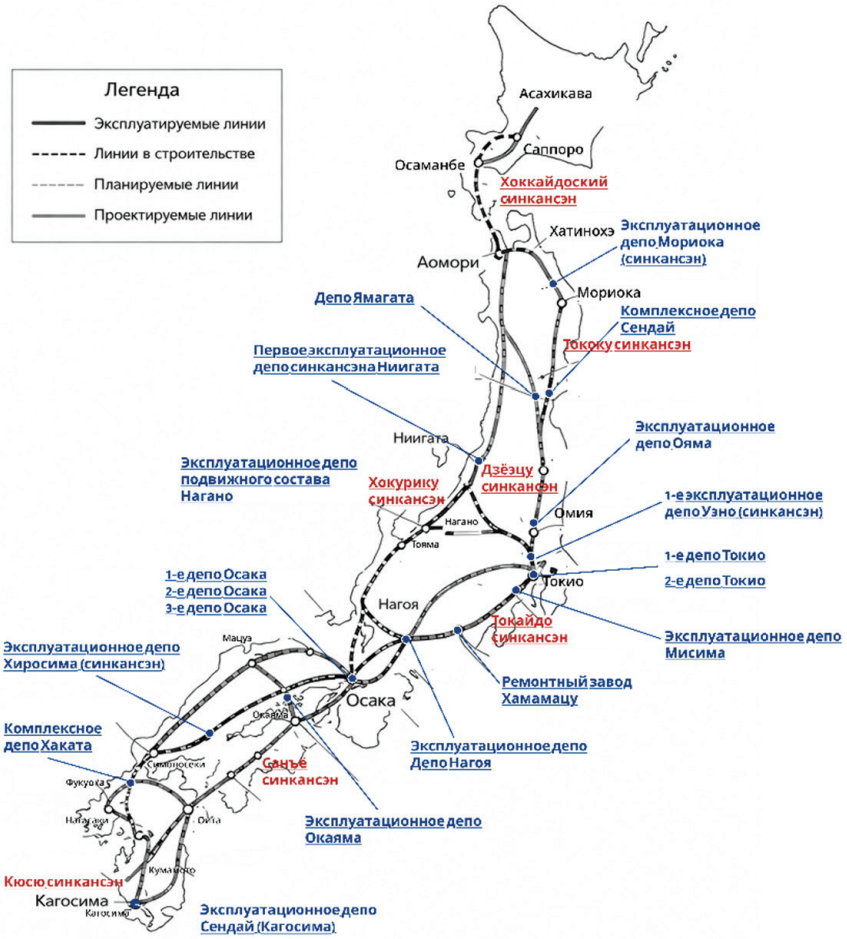


Рис. 1. Схема размещения объектов техобслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава в Японии [5]

Вопросы инфраструктурного обеспечения высокоскоростного движения рассмотрены в работе Ю. А. Денисова и соавторов, где на примере депо для поездов «Сапсан» детально приведена концепция технического обслуживания, графики периодичности ТО и ТР, а также номенклатура необходимого технологического оборудования **[4]**.

Вклад упомянутых институтов носит преимущественно прикладной и системно-интеграционный характер, дополняя теоретические наработки отдельных авторов практическими решениями в области инфраструктуры ТО и ТР.

При этом большинство работ посвящено отдельным аспектам технического обслуживания или специфике эксплуатации конкретных типов подвижного состава. В то же время анализ лучших мировых практик формирования сети объектов инфраструктуры для обслуживания высокоскоростного подвижного состава может помочь не просто сформулировать ключевые подходы, но и разработать рекомендации по системному применению принципиально новых инженерно-технологических решений при решении данной задачи.

В качестве объектов сравнительного анализа выбраны ВСМ Японии, Германии и Франции. Эти страны обладают продолжительным и успешным опытом эксплуатации ВСМ (от 30 до 60 лет), представляя различные этапы эволюции высокоскоростного движения в мире — от первопроходца (Японии) до последователей, адаптировавших новые решения. Опыт этих стран релевантен для российского проекта с точки зрения климатических условий эксплуатации, дальности маршрутов следования, требований к энергоэффективности.

При этом особенно важно подчеркнуть, что ВСМ Японии, Германии и Франции представляют различные концеп-

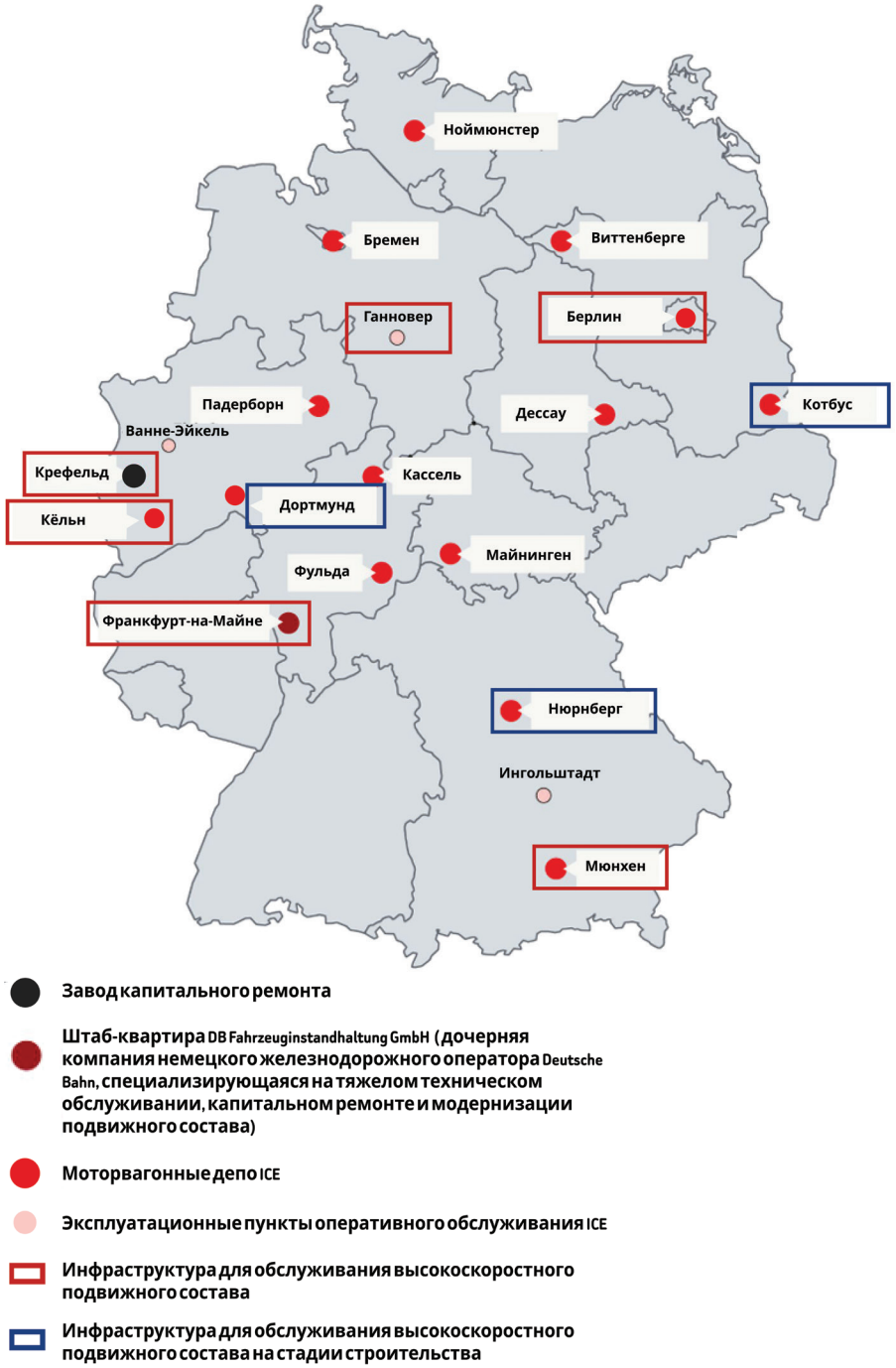


Рис. 2. Схема размещения объектов техобслуживания и ремонта на сети ВСМ в Германии



Рис. 3. Размещение завода капитального ремонта в Крефельде (Krefeld maintenance depot) [7]

туальные модели организации инфраструктуры для обслуживания подвижного состава на ВСМ.

Япония

Японская система обслуживания высокоскоростных поездов Синкансэн, эксплуатируемых с 1964 г., представляет собой наиболее отработанную модель инфраструктуры технического обслуживания. При этом особенности географии страны, организационной модели управления и высокая интенсивность движения делают высокоскоростные железные дороги Японии уникальными.

Сеть имеет преимущественно линейно-магистральный характер с основным коридором Токио — Нагоя — Киото — Осака — Хиросима — Фукуока (*рис. 1*). Именно на этой линии сосредоточены основные объемы перевозок. От географии размещения линейной сети напрямую зависит и размещение объектов технического обслуживания и ремонта.

В Японии различают обычные эксплуатационные и комплексные депо. На базе первых проводятся ежедневные осмотры, мелкие ремонты, отстой поездов. В комплексных депо выполняются все виды ремонтов, включая капитальные.

Высокоскоростная магистраль строится по принципу «одна линия — одна система обслуживания». Например, для линии Токайдо система обслуживания высокоскоростного подвижного состава включает группу эксплуатационных депо, расположенных друг от друга с небольшим шагом — в среднем около 100 км: Токио № 1, Токио № 2, Нагоя, Осака № 1, Осака № 2 и Осака № 3, а также одно комплексное депо с участием завода Хамамацу, где выполняются осмотр, ремонт тележек, колесных пар и капитальный ремонт.

Для линии Санъе система обслуживания включает эксплуатационные депо Окаяма и Хиросима, а также комплексное депо Хаката. Аналогично построены системы и на остальных линиях.

Все поезда Синкансэн проходят техническое обслуживание в ночное время, когда движение прекращено. Это определяет размещение депо в непосредственной близости от конечных станций, пунктов оборота и отстоя подвижного состава с целью минимизации порожнего пробега, а также вы-

сокую пропускную способность таких пунктов обслуживания. Применение «конвейерной» организации работ с параллельным выполнением операций, автоматизация диагностики и роботизированные комплексы очистки позволяют одновременно обслуживать 10–15 составов.

В целом модель размещения инфраструктуры технического обслуживания и ремонта ВСМ Японии представляет собой децентрализованную сеть с относительно равномерно расположенными по каждой линии депо. Их количество и расстояния между ними позволяют максимально эффективно использовать подвижной состав, исключив его непроизводительные пробеги.

Есть еще одно обоснование такой модели размещения депо. Объекты равномерно распределены, чтобы при землетрясениях не зависеть от одного центра и иметь возможность оперативного восстановления движения.

Германия

Немецкая ВСМ имеет принципиально иную конфигурацию, представляя собой полицентрическую сеть (*рис. 2*). Особенностью ВСМ Германии является не только ее распределение по значительной территории страны, но и совмещение с традиционными линиями (смешанные транспортные магистрали), в том числе интеграция пунктов обслуживания высокоскоростных поездов ICE в модернизированные традиционные депо.

Для обслуживания высокоскоростных поездов в ФРГ выделяют три основных типа объектов инфраструктуры: эксплуатационные пункты оперативного обслуживания ICE (ежедневное ТО, межрейсовые осмотры, экипировка, мелкий ремонт), моторвагонные депо ICE (ТО и подготовка составов в рейс, мелкий и средний ремонт), завод капитального ремонта (тяжелые виды ремонтов и модернизация подвижного состава).

Размещение пунктов (центров) обслуживания распределено равномерно по сети, но при этом максимально концентрировано. Завод капитального ремонта и обслуживания поездов расположен в Крефельде (*рис. 3, 4*). На севере действуют эксплуатационный пункт в Ганновере (*рис. 5*). Моторвагонные депо имеются на севере — в Берлин-Руммельсбурге (*рис. 6*), на юге — в Мюнхене, в центральной части — во Франкфурте, на западе — в Кельне (*рис. 7*).



Рис. 4. Ремонтное депо в Крефельде [7]



Рис. 5. Эксплуатационный пункт обслуживания в Ганновере [8]



Рис. 6. Расширенный сервисный зал для всех серий ICE на заводе Deutsche Bahn ICE в Берлин-Руммельсбурге [9]



Рис. 7. Первое CO_2-нейтральное депо для поездов ICE Deutsche Bahn в Кельне [10]



Рис. 8. Визуализация планируемого депо ICE в Дортмунде [6]



Рис. 9. Депо для поездов ICE 4 в Котбусе [11]

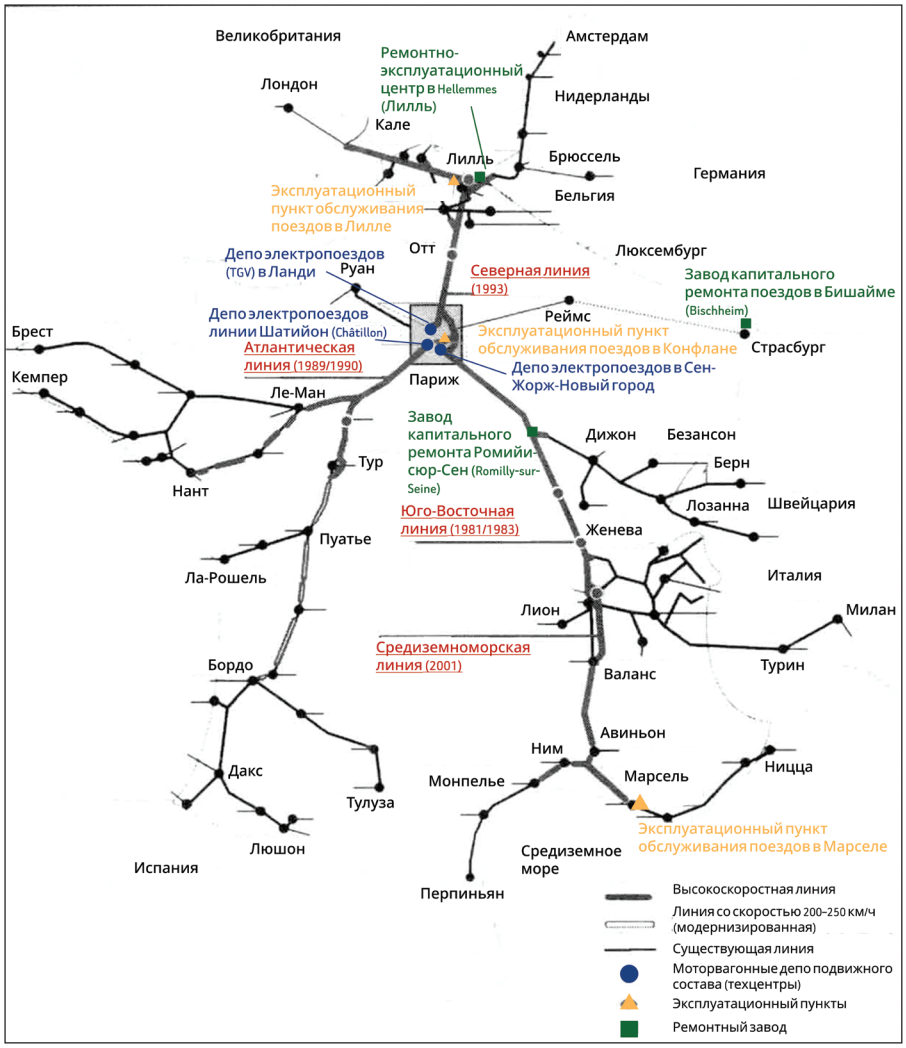


Рис. 10. Схема размещения объектов эксплуатации и техобслуживания ВСМ во Франции [5]

Каждое из них фактически обслуживает свой сектор сети ICE, специализируясь при этом на определенном типе подвижного состава. Депо Ганновер выполняет ремонт всех уровней для поездов ICE, депо Мюнхен — ремонт ICE 3 и ICT, депо Франкфурт является вспомогательным для депо Мюнхен.

Стоит отметить депо в Кельне — это первое CO_2-нейтральное депо для поездов ICE Deutsche Bahn (DB). Оно обслуживает новую генерацию поездов ICE 4 и другие типы ICE-поездов.

Планируется строительство нового комплекса по техническому обслуживанию ICE в Нюрнберге, который должен открыться в 2028 г. К 2027 г. запланировано создание депо ICE в Дортмунде для ежедневного обслуживания до 17 поездов (*рис. 8*) **[6]**, а на конец 2026 г. — завершение строительства первого зала крупнейшего железнодорожного депо DB в Котбусе для ICE 4 (*рис. 9*).

Моторвагонные депо размещаются в крупнейших железнодорожных узлах, являющихся конечными станциями (пунктами оборота) высокоскоростных поездов, а также в крупных городах, где останавливается большое количество поездов. Среднее расстояние между депо — около 300 км.

Эксплуатационные пункты ICE размещаются на сети ближе к периферии, в пунктах оборота или местах отстоя высокоскоростных поездов между рейсами.

Франция

В отличие от немецкой и японской французская высокоскоростная сеть TGV строится по радиальному принципу. Большинство линий из различных регионов страны сходятся в Париже, формируя четыре основных направления: северное, юго-восточное, атлантическое и восточное.

Эксплуатационная инфраструктура строго соответствует этой конфигурации. Каждое направление закреплено за определенным депо, а конечные пассажирские станции оснащены эксплуатационными пунктами для текущего обслуживания подвижного состава (*рис. 10*).

Аналогично ВСМ Германии во Франции для технического обслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава выделяют эксплуатационные пункты для ежедневного обслуживания, моторвагонные депо для ТО и среднего ремонта (техцентры) и специализированные заводы (промышленные центры) для проведения капитального ремонта (Бишайм (*рис. 11*), Эллемм, Ромийи-сюр-Сен).

При этом принципы размещения депо на ВСМ Франции принципиально отличаются: депо исторически концентрировались преимущественно в Парижском железнодорожном узле (Шатийон (*рис. 12*), Ле-Ланди, Вильнев-Сен-Жорж), однако отдельные центры расположены и в регионах (например, Лион-Жерлан). Эксплуатационные пункты находятся практически во всех конечных пунктах оборота, т. е. преимущественно вынесены на периферию.

Каждое депо отвечает за конкретное направление, а не определенную



Рис. 11. Промышленный центр SNCF de Bischheim [12]



Рис. 12. Депо TGV Atlantique (Шатийон)

географическую зону, как в Германии. При этом изначально отдельные техцентры закреплены за определенными сериями поездов (в настоящее время обслуживание подвижного состава частично унифицировано). Например, депо Шатийон — западное депо Парижского узла — обслуживает линию Париж — Ле-Ман/Ренн (TGV-A).

Заключение

Таким образом, рассмотрение различных концептуальных моделей размещения инфраструктуры обслуживания ВСМ позволяет выявить набор ключевых принципов, которые важно учитывать при принятии соответствующих решений:

- конфигурация сети высокоскоростной магистрали в стране (линейная, полицентрическая, радиальная);
- степень интеграции ВСМ с традиционной железнодорожной сетью;
- интенсивность эксплуатации подвижного состава;
- климатические и географические условия;
- разнообразие типов и серий высокоскоростного подвижного состава.

Участникам реализации национального проекта ВСМ в России предстоит решить большое количество задач, в том числе связанных с планированием инфраструктуры для обслуживания высокоскоростного подвижного состава.

И одной из важнейших, капиталоемких, не имеющих право на ошибку, станет задача размещения различных объектов инфраструктуры (по объемам технического обслуживания) таким образом, чтобы минимизировать непроизводительные пробеги дефицитного и дорогостоящего парка, обеспечив максимальную эффективность и устойчивость работы всей системы высокоскоростного движения.

Литература

1. Гапанович В. А., Андреев А. А., Пегов Д. В. и др. Высокоскоростной железнодорожный подвижной состав: монография / под ред. В. А. Гапановича. СПб.: Изд-во ООО «Типография «НП-Принт», 2014. 304 с.
2. Гапанович В. А., Поплавский А. А. Управление линией Москва — Санкт-Петербург при организации высокоскоростного движения (основные принципы управления) // Журнал «Железнодорожный транспорт». 2008. № 2. С. 11–13.
3. Поплавский А. А. Создание эффективной управляющей системы для оперативного руководства перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: монография. М.: Интекст, 2007. 184 с.
4. Денисов Ю. А., Янченко Е. Г., Черномаз Г. И., Шевченко М. А. Депо для высокоскоростных электропоездов «Сапсан» // Железные дороги мира. 2009. № 7. С. 44–49.
5. Подвижной состав: эксплуатация и ремонт: учебник. Пекин: Китайское железнодорожное издательство, 2011. 665 с.
6. Green depots // Nachhaltigkeit Deutsche Bahn. URL: https://nachhaltigkeit.deutschebahn.com/en/green-transformation/measures/green-depots (дата обращения: 04.03.2026). // DB Fahrzeuginstandhaltung Gmb H. URL: https://www.db-fzi.com/fahrzeuginstandhaltung-en/Krefeld--maintenance-depot-7312854 (дата обращения: 04.03.2026).
7. Spatenstich am Pferdeturm: Deutsche Bahn baut Werk Hannover für rund 140 Millionen Euro zum ICE-Werk aus: пресс-релиз // Deutsche Bahn AG. URL: https://www.deutschebahn.com/de/presse/presse-regional/pr-hamburg-de/aktuell/presseinformationen-regional/Spatenstich-am-Pferdeturm-Deutsche-Bahn-baut-Werk-Hannover-fuer-rund-140-Millionen-Euro-zum-ICE-Werk-aus-12790718 (дата обращения: 04.03.2026).
8. DB opens expanded ICE maintenance plant in Berlin-Rummelsburg // Railway News: международный новостной портал. URL: https://railway-news.com/db-opens-expanded-ice-maintenance-plant-in-berlin-rummelsburg/ (дата обращения: 04.03.2026).
9. ICE-Werk Köln-Nippes // DB Engineering & Consulting GmbH: официальный сайт. URL: https://db-engineering-consulting.com/de/projects/ice-werk-koeln-nippes/ (дата обращения: 04.03.2026).
10. DB пустили в Котбусе депо для высокоскоростных поездов ICE 4 // Железные дороги мира: интернет-портал. URL: https://zdmira.com/news/db-pustili-v-kotbuse-depo-dlya-vysokoskorostnykh-poezdov-ice-4 (дата обращения: 04.03.2026).
11. Commerces de proximité // Ville de Bischheim. URL: https://www.bischheim.alsace/ma-ville/economie/commerces-de-proximite (дата обращения: 04.03.2026).

УДК 656.259.12

Определение диагностического признака для анализа состояния изолирующих стыков



А. С. Яковлева,
старший преподаватель кафедры «Автоматизированные, телекоммуникационные и электротехнические системы» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС),



Е. П. Епифанова,
старший преподаватель кафедры «Автоматизированные, телекоммуникационные и электротехнические системы» ДВГУПС,



Ю. В. Пономарчук,
канд. физ.-мат. наук, директор Института транспортных и энергетических систем ДВГУПС

Эксплуатация высокоскоростных железнодорожных магистралей предъявляет исключительные требования к безопасности, надежности и бесперебойности движения поездов. Ключевую роль в их выполнении играют рельсовые цепи.

Сбои в работе рельсовых цепей могут нарушить логику занятия участков пути и, как следствие, привести к включению красного показания на ограждающем участок светофоре, что вызывает незапланированное снижение скорости движения поездов вплоть до экстренного торможения. Это создает риски для безопасности и влечет за собой целый ряд негативных последствий: задержку поездов, снижение участковой скорости, уменьшение пропускной способности линий, нарушение графика движения и плана формирования поездов, повышенный расход электроэнергии и ухудшение других эксплуатационных показателей.

Анализ отказов показывает, что со стороны аппаратуры рельсовых цепей и их путевых элементов основной причиной являются неисправности изолирующих стыков. За последние несколько лет их доля в общем числе отказов рельсовых цепей составляет в среднем порядка 30–35 %. Например, в 2014 г. зафиксировано 3456 отказов (39 %), в 2019 г. — 2528 (33 %), в 2024 г. — 2916 (36,6 %).

Развитие интеллектуального мониторинга изолирующих стыков

Основной функцией изолирующих стыков является обеспечение электрической изоляции смежных рельсовых цепей для предотвращения паразитного проникновения сигналов автоматической локомотивной сигнализации. Снижение сопротивления изоляции изолирующих стыков приводит к ряду критических последствий:

• снижению уровня безопасности движения и надежности работы систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ);

• риску возникновения ложной занятости смежного пути, ведущей к нарушениям графика движения, задержкам поездов и снижению пропускной способности;

• кумулятивному эффекту при совместной неисправности изолирующих стыков и дроссель-трансформатора, способного вызвать дуговой разряд между рельсами и их механическое разрушение.

Для повышения надежности изолирующих стыков используют высокопрочные стыки типа АпАТэК, обеспечивающие стабильное функционирование при высоких динамических нагрузках[1]. При этом для сокращения количества отказов изолирующих стыков и их предупреждения необходимо перейти от планово-предупредительного ремонта, основанного на периодических ручных проверках и фиксации отклонений постфактум, к стратегии обслуживания по их фактическому состоянию.

Это позволяет сделать системы технического диагностирования и мониторинга, которые широко распространены на железных дорогах **[1]**. Они фиксируют отклонения, выходящие за пределы нормы (постфактум), но не анализируют динамику параметров в рамках допустимого диапазона, которая свидетельствует о развитии предотказного состояния, что приводит к росту ложных срабатываний и необоснованным простоям.

Особую проблему представляет контроль технического состояния изолирующих стыков на съездах, расположенных между главными путями. Их диагностика на предмет деградационных отказов, а также контроль накопления токопроводящих металлических частиц на торцевой части рельсов осложнены из-за ограниченного доступа и отсутствия эффективных методов неразрушающего контроля в данной зоне.

[1] Патент № 2671892 C1 Российская Федерация. Металлокомпозитная накладка клееболтового изолирующего стыка / Кленин Ю. Г., Тимофеев М. А., Ушаков А. Е., Хруленко М. А. Опубл. 07.11.2018. Бюл. № 31. 12 с.

Для высокоскоростных магистралей (ВСМ), где требования к надежности, безопасности и пропускной способности предельно высоки, необходим подход, построенный на принципах предиктивной аналитики и управления техническим состоянием по фактическим данным **[2, 3]**. Его реализация не должна быть выполнена «с нуля», а представлять собой эволюционное развитие современных систем технического диагностирования и мониторинга в части интеллектуальных функций аналитики, дополняя ее интеллектуальными аналитическими модулями.

Необходимы исследования, связанные с анализом причин сбоев и статистики об отказах изолирующих стыков, разработкой математических и имитационных моделей, учитывающих динамику отказов и экстремальные эксплуатационные условия. Для реализации функций предиктивной аналитики необходимо расширить программные средства системы мониторинга и добавить в них модули, обеспечивающие прогнозирование отказов на ранней стадии, а также внедрение адаптивного (основанного на состоянии) подхода к техническому обслуживанию.

Несмотря на наличие развитого математического аппарата теории надежности и технической диагностики, в том числе в вопросах прогнозирования, в системах мониторинга на железных дорогах такие функции только зарождаются. Это обусловлено различными факторами, в частности недостаточностью контрольных точек, ненадежностью каналов передачи данных, историческими особенностями проектирования систем мониторинга и т. д.

Развитие же программных средств аналитики данных позволит прогнозировать с высокой достоверностью. При этом важнейшим фактором на высокоскоростных магистралях выступает максимизация безопасности и бесперебойности высокоинтенсивного движения, а снижение затрат является важным, но вторичным аспектом.

Цель статьи состоит в установлении диагностического признака для контроля исправности изолирующих стыков для дальнейшего использования выбранной модели в системе технического диагностирования и мониторинга устройств системы железнодорожной автоматики и телемеханики на ВСМ[1].

Описание процессов и определение параметра для выявления предотказного состояния

Математическое и имитационное моделирование основывалось на классической теории электрических цепей, при этом рассматривалась модель разветвленной тяговой рельсовой линии для съезда между главными путями, описанная на основе законов Кирхгофа.

Параметрический и верификационный анализ заключался в исследовании асимметричного отказа в выбранной модели. Теоретическую базу исследования составляют классические работы в области рельсовых цепей **[4–6]**. При этом современные исследования **[7–11]** подтверждают актуальность перехода к интеллектуальным системам диагностики с применением математического моделирования. Они также демонстрируют возможности моделирования для анализа помехоустойчивости, распределения тяговых токов и разработки устройств диагностики на основе анализа токов в дроссель-трансформаторах.

Основной задачей стала подборка математической модели, способной описать процессы, происходящие в изолирующих стыках, и определение ключевого диагностического параметра, характеризующего их состояние перед возможным отказом. Важнейшим показателем состояния изолирующего стыка принято его сопротивление, которое уменьшается при износе и повреждениях.

В основу работы положена математическая модель разветвленной тяговой рельсовой линии[2] на главных путях станции со съездом **[12]**. При построении расчетной схемы использована схема замещения (*рис. 1*) с учетом более 90 различных параметров **[13]**, которые можно условно разделить на две группы:

Параметры сопротивлений элементов схемы:

- сопротивления выравнивающих дросселей $Z_{д}$;
- продольные сопротивления рельсовых нитей на главных путях и съезде, представленные в виде параметров Т-образных схем замещения Z'_{11a}, Z'_{11b}, Z'_{21a}, Z'_{21b}, Z'_{12a}, Z'_{12b}, Z'_{22a}, Z'_{22b}, Z'_{C1a}, Z'_{C1b}, Z'_{C2a}, Z'_{C2b}, Z''_{11a}, Z''_{11b}, Z''_{21a}, Z''_{21b} , Z''_{12a}, Z''_{12b}, Z''_{22a}, Z''_{22b}, Z''_{C1a}, Z''_{C1b}, Z''_{C2a}, Z''_{C2b};
- поперечные сопротивления рельсов относительно земли на главных путях и съезде $R'_{Р311}$, $R'_{Р321}$, $R'_{Р312}$, $R'_{Р322}R'_{РЗС1}$, $R'_{РЗС2}$, $R''_{Р311}$, , $R''_{Р321}$, $R''_{Р312}$, $R''_{Р322}$, $R''_{РЗС1}$, $R''_{РЗС2}$;
- сопротивления изолирующих стыков на съезде $R_{ИС1}$, $R_{ИС2}$;
- входные сопротивления участков рельсовых линий $Z'_{ВХК1}$, $Z'_{ВХК2}$, $Z''_{ВХК1}$, $Z''_{ВХК2}$;
- сопротивления отрезков рельсовых нитей $Z'_{Н1}$, $Z'_{Н2}$, $Z''_{Н1}$, $Z''_{Н2}$.

Параметры токов в элементах схемы:

- тяговые токи по главным путям $I'_{Т}$, $I''_{Т}$, $I'_{Н1}$, $I'_{Н2}$, $I''_{Т}$, $I''_{Н1}$, $I''_{Н2}$;
- по отдельным критическим участкам (в дросселях $I'_{ДН1}$, $I'_{ДН2}$, $I'_{ДК1}$, $I'_{ДК2}$, $I''_{ДН1}$, $I''_{ДН2}$, $I''_{ДК1}$, $I''_{ДК2}$, в плечах Т-образных схем I'_{11a}, I'_{11b}, I'_{21a}, I'_{21b}, I'_{12a}, I'_{12b}, I'_{22a}, I'_{22b}, I''_{11a}, I''_{11b}, I''_{21a}, I''_{21b} , I''_{12a}, I''_{12b}, I''_{22a}, I''_{22b}), на съезде (токи в рельсах съезда $I'_{С1}$, $I'_{С2}$, $I'_{С1}$, $I'_{С2}$и через изолирующие стыки $I_{ИС1}$, $I_{ИС2}$), а также токи утечки в землю с рельсовых нитей на главных путях и съезде $I'_{У11}$, $I'_{У12}$, $I'_{У21}$, $I'_{У22}$, $I'_{УС1}$, $I'_{УС2}$, $I''_{У11}$, $I''_{У21}$, $I''_{У12}$, $I''_{У22}$, $I''_{УС1}$, $I''_{УС2}$.

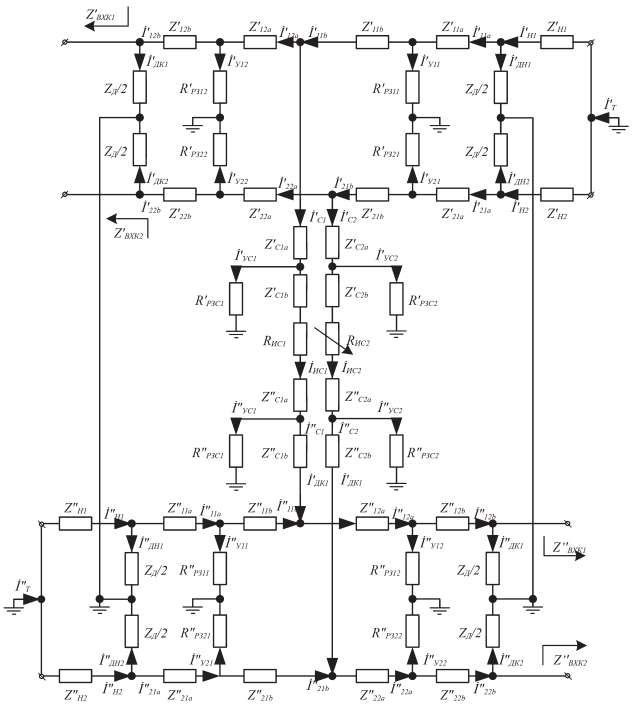


Рис. 1. Расчетная схема замещения рельсовой линии

[1] Данная задача выбрана рабочей группой, состоящей из студентов четвертого курса специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов» в ноябре 2024 г. в рамках сетевой реализации проектной деятельности совместно с Российским университетом транспорта (МИИТ). В работе приняли участие В. Е. Любимкин, А. Э. Нестеров, Н. Е. Недождеев, Д. А. Мещеряков.

[2] Патент № 2695438 C1 Российская Федерация. Способ измерения электрических сопротивлений неоднородных рельсовых нитей на электрифицированных участках железных дорог / Шаманов В. И., Ваньшин А. Е., Денежкин Д. В., Кузьмин В. С., Тасболатова Л. Опубл. 23.07.2019. Бюл. № 21. 11 с.

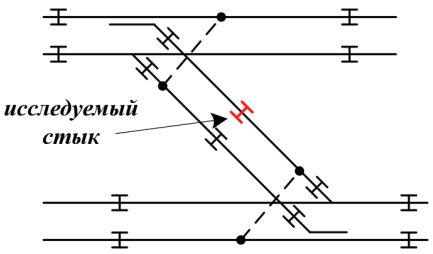


Рис. 2. Фрагмент разветвленной рельсовой линии со съездом

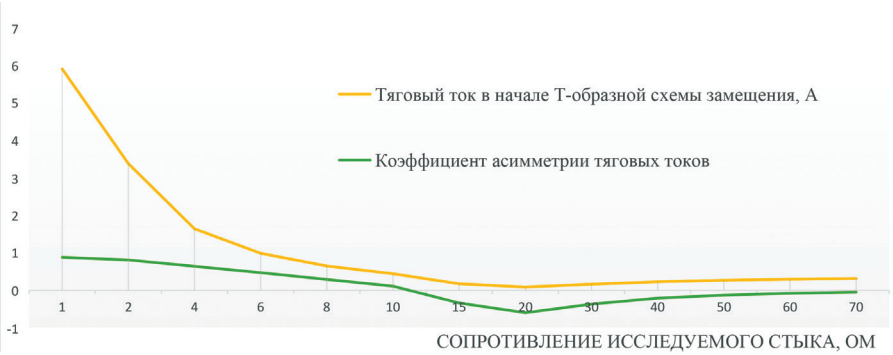


Рис. 3. Графики зависимости величины и коэффициента асимметрии тягового тока от сопротивления изолирующего стыка

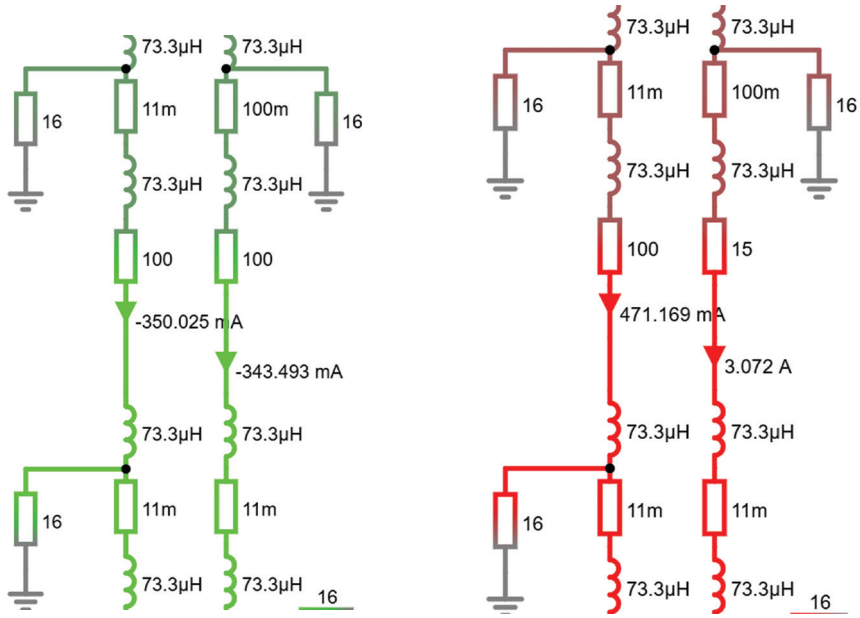


Рис. 4. Результаты иммитационного моделирования расчетной схемы рельсовой линии в программе Circuit Simulator при значениях сопротивления исследуемого стыка: слева — 100 Ом, справа — 15 Ом

Для расчета системы уравнений в программе Mathcad составлена математическая модель разветвленной тяговой рельсовой линии съезда, расположенного на главных путях, где в исходных данных для анализа учтены длины ответвлений (*рис. 2*).

В результате расчетов были определены сопротивления стыков, тяговые токи, поперечные сопротивления, которые позволили произвести расчет токов в схеме замещения. На основе полученных значений токов сформирована матрица, с помощью которой можно произвести расчет тока, протекающего через исследуемый изолирующий стык при различных значениях его сопротивления (см. *таблицу, рис. 3*).

Снижение сопротивления изолирующего стыка до 20 Ом и ниже приводит к резкому возрастанию обратного тягового тока, протекающего через данный стык, а это создает угрозу для надежности работы рельсовых цепей и безопасности движения. Следовательно, пороговое значение сопротивления изолирующего стыка составляет 20 Ом, которое сигнализирует о существенном нарушении его изолирующих функций.

Для проверки результатов сделано допущение, что сопротивление исследуемого стыка начинает уменьшаться, тогда как сопротивление другого стыка остается неизменным и составляет 100 Ом (в расчетах использовано значение тока, при значении сопротивления стыка 100 Ом): в таком случае коэффициент асимметрии тяговых токов, протекающих через изолирующие стыки, можно определить по формуле[1]

$$\dot{K}_i = \frac{\dot{I}'_{\text{ИС1}} - \dot{I}'_{\text{ИС2}}}{\dot{I}'_{\text{ИС1}} + \dot{I}'_{\text{ИС2}}},$$

где $\dot{I}'_{\text{ИС1}}$ — значение обратного тягового тока, протекающего через исследуемый изолирующий стык;

$\dot{I}'_{\text{ИС2}}$ — значение обратного тягового тока, протекающего через изолирующий стык смежной рельсовой линии (на основании расчетов составляет 0,353 мкА при значении сопротивления стыка 100 Ом).

Расчетные значения коэффициента асимметрии показаны в *таблице*.

Полученный график позволил проанализировать нелинейный характер отклика системы (резкое возрастание тока при достижении порогового значения сопротивления). Следовательно, можно сделать вывод, что при снижении сопротивления менее 20 Ом токи будут проходить в смежную рельсовую цепь.

Для верификации работоспособности математической модели использован метод имитационного моделирования с применением программы Circuit Simulator с учетом того, что все сопротивления Z имеют активно-индуктивный характер, они учтены в виде катушки индуктивности и резистора. Анализ моделирования также показал, что при уменьшении сопротивления одного из изолирующих стыков обратный тяговый ток, протекающий через него, в определенный момент будет увеличиваться, что позволит выявить его деградацию (*рис. 4*).

Асимметрия обратного тягового тока может возникнуть и по ряду других причин: вследствие неодинакового продольного электрического сопротивления рельсовых нитей, зависящего от метеорологических условий, проводимости опор контактной сети, конструкции верхнего строения пути и его засоренности, неравенства переходных сопротивлений рельсовых нитей относительно земли, в частности обрыва стыковых соединителей. Поэтому помимо измерения и анализа значения тока в рельсовых линиях в районе изолирующих стыков необ-

[1] Электрические рельсовые цепи. Измерение асимметрии обратного тягового тока в двухниточных рельсовых цепях, по которым осуществляется пропуск обратного тягового тока и предусмотрено задание поездных маршрутов: технико-нормировочная карта ТНК ЦШ 0156–2016. 10 с.

Зависимости коэффициента асимметрии токов, протекающих через изолирующий стык при изменении его сопротивления

Сопротивление исследуемого стыка, Ом	100	90	80	70	60	50	40	30	20	15	10	8	6	4	2	1
Тяговый ток в начале Т-образной схемы замещения, А	0,353	0,343	0,331	0,316	0,296	0,268	0,227	0,162	0,086	0,173	0,442	0,648	0,987	1,642	3,383	5,911
Коэффициент асимметрии тяговых токов	0	–0,01	–0,03	–0,05	–0,08	–0,13	–0,21	–0,37	–0,6	–0,34	0,11	0,29	0,47	0,64	0,81	0,88

ходимо применять дополнительный критерий выявления признаков ложного освобождения или занятия пути, например, с помощью алгоритмов контроля последовательного занятия и освобождения рельсовых цепей, так как для ВСМ должна обеспечиваться реализация функции безостановочного проследования поезда по ложно занятой рельсовой цепи с подтверждением ее фактического состояния.

Концепция проектирования системы диагностирования и мониторинга устройств сигнализации, централизации и блокировки на высокоскоростных магистралях

Полученные результаты могут стать одним из элементов в теоретической основе для проектирования интеллектуальной системы предиктивного мониторинга устройств СЦБ на ВСМ. Используемая математическая модель для определения параметра сопротивления изолирующих стыков может быть внедрена в систему диагностики и мониторинга. Современная система диагностики должна включать:

• первичную диагностику, которая сводится к постоянному мониторингу сопротивления изолирующих стыков и выявлению ранних признаков снижения их надежности;

• вторичную диагностику — детальное обследование выявленных участков для подтверждения диагноза и принятия мер по устранению возможных проблем;

• мониторинг, который необходим для сбора и анализа данных о состоянии всех изолирующих стыков на станции высокоскоростной магистрали.

Дальнейшее развитие систем мониторинга и диагностики должно предусматривать создание комплекса со следующим функционалом **[14–16]**:

• непрерывный мониторинг и сбор массивов данных большого объема с устройств СЦБ ВСМ (рельсовые цепи, изолирующие стыки, стрелочные переводы, системы связи);

• цифровые модели (двойники) критического оборудования для прогнозного моделирования поведения в различных сценариях;

• аналитический модуль на основе искусственного интеллекта, включающий в себя ядро системы, реализующее предиктивную аналитику для прогнозирования остаточного ресурса, раннего предупреждения о предотказных состояниях и автоматической классификации неисправностей;

• система поддержки решений для формирования адресных предписаний для ремонтных бригад, оптимизация графиков технического обслуживания и логистики запасных частей.

Заключение

Исследование на основании математической модели позволяет установить количественную связь между сопротивлением изолирующего стыка и протекающим через него обратным тяговым током: пороговое значение сопротивления стыка (20 Ом), являющееся диагностическим критерием его существенной деградации, и коэффициент асимметрии токов как индикатор асимметричного ухудшения изоляции.

Предложен дополнительный критерий необходимый для достаточности оценки деградации изолирующего стыка, реализуемый посредством алгоритмов контроля последовательного занятия и освобождения рельсовых цепей. Внедрение предлагаемой модели расширит функциональные возможности существующих систем контроля, повысит качество функционирования рельсовых цепей, сократит эксплуатационные расходы за счет своевременного получения информации о состоянии устройств и их параметров при возникновении в них предотказных состояний.

Для высокоскоростных магистралей необходима интеллектуальная система мониторинга нового поколения, которая, наследуя инфраструктуру сбора данных, совершает качественный скачок от ручных методов диагностики к предиктивной аналитике на основе искусственного интеллекта. Это позволит управлять надежностью инфраструктуры ВСМ проактивно, что является залогом ее безопасной, бесперебойной и экономически эффективной эксплуатации.

Внедрение такой системы позволит перейти к управлению техническим состоянием по фактическому износу, исключить необходимость периодических ручных проверок, повысить безопасность, надежность и экономическую эффективность эксплуатации инфраструктуры высокоскоростного движения.

Дальнейшие исследования связаны с экспериментальной апробацией предложенного диагностического признака на стендовом и натурном оборудовании, а также разработкой прототипа аналитического ИИ-модуля для обработки поступающих телеметрических данных. Т

Литература

1. Епифанова Е. П., Онищенко А. А. Современные системы управления объектами и мониторингом параметров устройств железнодорожного транспорта: учеб. пособие. Хабаровск: ДВГУПС, 2017. 86 с.
2. Розенберг Е. Н., Хакиев З. Б., Кузьмин В. С. Система мониторинга для обеспечения функциональной безопасности ответственного технологического процесса движения поездов. // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2024. № 2. С. 18–24.
3. Горелик А. В., Романов Н. В., Щедрина Т. С. Организация эффективного технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на малодеятельных участках

// International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 4. № 4. С. 169–184. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-4-329. EDN: WOTLEB.
4. Лисенков В. М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход). М.: ВИНИТИ, 2014. 221 с.
5. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: справочник / под ред. В. С. Аркатова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ООО Миссия-М, 2006. 496 с.
6. Полевой Ю. И. Модели рельсовых линий: монография. Самара: СамГУПС, 2009. 117 с.
7. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. СПб.: ПГУПС, 2016. 171 с.
8. 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.
9. 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.
10. Ефанов Д. В., Богданов Н. А. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты // Транспорт Урала. 2013. № 1 (36). С. 36–42.
11. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие для вузов. 2-е изд., стер. СПб.: Лань. 2022. 180 с.
12. Шаманов В. И. Расчеты помех от тягового тока в неоднородных рельсовых линиях // Автоматика на транспорте. 2020. № 3 (6). С. 241–267.
13. Денежкин Д. В. Повышение помехоустойчивости аппаратуры рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации при электротяге переменного тока: дис. ... канд. техн. наук. М.: РУТ (МИИТ), 2023. 179 с.
14. Надежкин В. А., Надежкина С. А., Мусин А. Р. О возможности применения технологий искусственного интеллекта для определения и прогнозирования технического состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2025. Т. 22. Вып. 2. С. 484–491.
15. Тарасов Е. М., Надежкин В. А. Диагностирование в жизненном цикле изолирующих стыков рельсовых цепей // Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 2. С. 45–50.
16. Руднева Д. С., Ефимова М. Е. Контроль состояния изолирующих стыков на железных дорогах: проблемы и методы решения // Вестник науки. 2025. Т. 4. № 6 (87). С. 1841–1849.

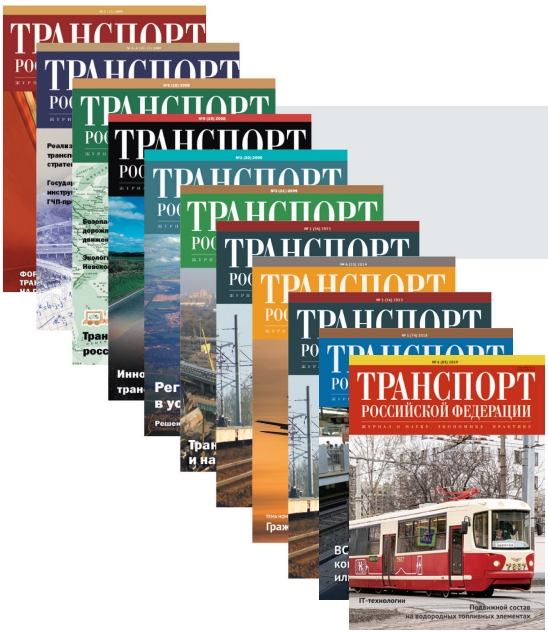
ПОДПИСКА

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

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

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

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



Подписку также можно оформить в агентствах:

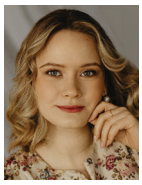
«Книга-Сервис»
Тел.: (495) 680-90-88
http://akc.ru

«Урал-Пресс»
Тел.: (495) 789-86-36

«Почта России»
Тел.: (495) 956-20-67
http://russianpost.ru

УДК 656.6

Структурная трансформация логистической архитектуры Северо-Запада России: анализ динамики морских перевозок в условиях санкций



А. Ю. Баландина,
младший научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук

В 2022 г. российская логистическая система столкнулась с беспрецедентным комплексом внешних шоков: закрытие границ, дефицит запчастей, уход крупнейших международных операторов, запрет на заход судов под российским флагом в большинство западных портов и др. Эти факторы спровоцировали логистический кризис, поставив под угрозу функционирование устоявшихся цепочек поставок.

Несмотря на завершение фазы первичной адаптации к санкционным ограничениям **[1],** российская экономика находится в состоянии глубокой структурной трансформации[1][2]. Подобные условия выступают в качестве драйверов, существенно меняющих роль и особенности функционирования транспортно-логистического комплекса страны **[2].** За последние три года бизнесу и государственным институтам удалось инициировать и реализовать ряд адаптационных мер, которые позволили постепенно смягчить наиболее острые последствия кризиса и стабилизировать грузопотоки **[3–5]**.

До введения санкционных ограничений основным торговым партнером регионов Северо-Западного федерального округа выступали страны Европейского союза, на долю которых в 2021 г. приходилось 41,8% совокупного экспорта[3]. Это обусловило высокую уязвимость логистической системы макрорегиона к разрыву сложившихся цепочек поставок. В результате регионы оказались вовлечены в интенсивный процесс вынужденной структурной перестройки логистической архитектуры в целях обеспечения устойчивого экономического развития.

В настоящей работе под логистической архитектурой подразумевается совокупность пространственных (распределение по бассейнам), функциональных (специализация портов) и маршрутных (схемы перевозок) характеристик транспортной системы **[6]**. Целью исследования является проведение комплексного анализа динамики морских перевозок регионов СЗФО за период 2022–2025 гг. для выявления структурных изменений в сфере логистики.

Для реализации цели поставлены следующие задачи:

• оценить перераспределение ролей регионов в территориальной структуре морских грузоперевозок макрорегиона;

• проанализировать динамику морских междупортовых перевозок по видам плавания (экспорт, импорт, каботаж) в разрезе регионов округа;

• определить контуры формирующейся логистической архитектуры СЗФО, обобщив итоги структурной трансформации морских грузоперевозок.

В качестве инструмента исследования выступил статистический анализ данных Росстата и Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС). Основной анализируемый

Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием для Вологодского научного центра РАН по теме НИР FMGZ-2025–0012 «Структурно-технологическая трансформация региональной экономики в условиях обеспечения национальной безопасности Российской Федерации: мониторинг, регулирование и прогноз».

[1] В российской экономике происходят структурные изменения // Аналитический центр при Правительстве РФ. URL: https://ac.gov.ru/news/page/v-rossijskoj-ekonomike-proishodat-strukturnye-izmenenia-27599.

[2] Набиуллина: структурная трансформация экономики РФ продолжится при любом сценарии // ТАСС. URL: https://tass.ru/ekonomika/20662995.

[3] Итоги внешней торговли Северо-Западного федерального округа в 2021 году // Северо-Западное таможенное управление. URL: https://sztu.customs.gov.ru/folder/270917/document/270918.

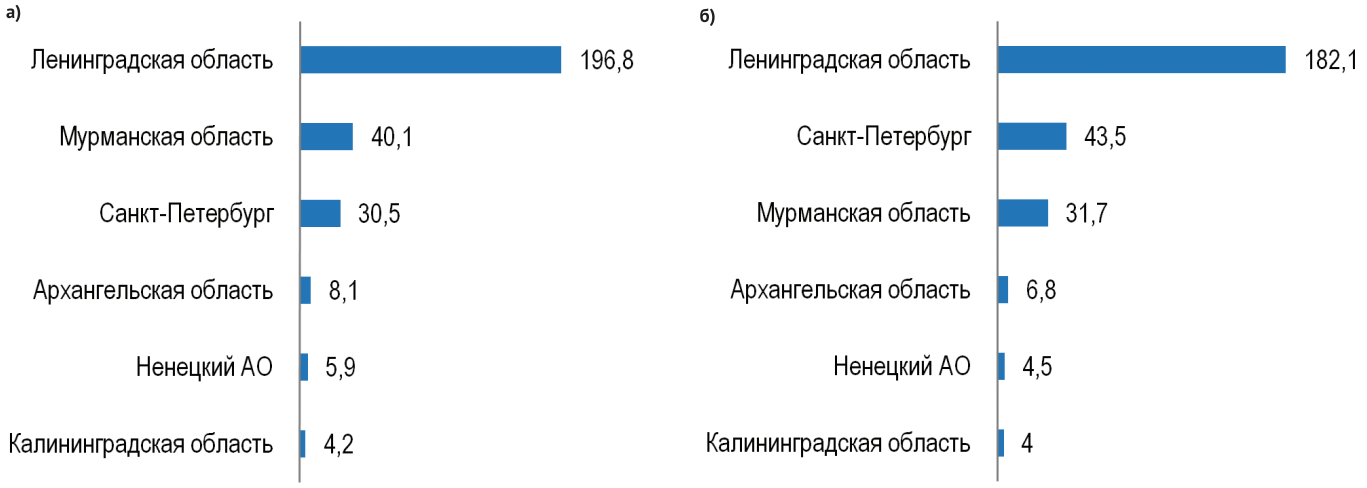


Рис. 1. Территориальная структура отправленных грузов морским транспортом регионами СЗФО в 2022 (а) и 2025 гг. (б), млн т. Источники: составлено на основе данных Росстата и ЕМИСС (Объем междупортовых перевозок грузов морским транспортом. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/39233)

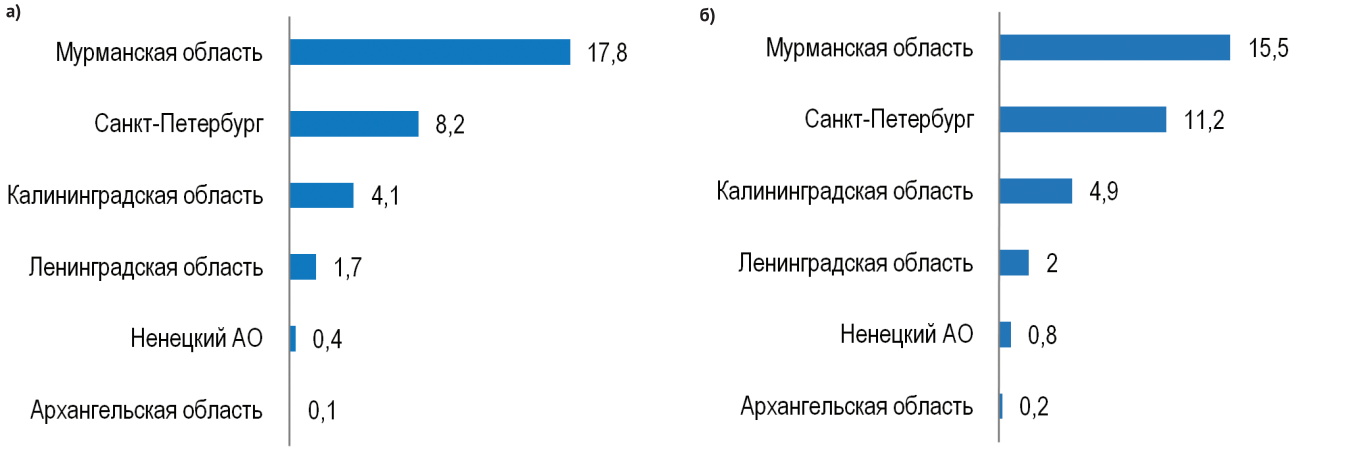


Рис. 2. Территориальная структура прибывших грузов морским транспортом в регионах СЗФО в 2022 (а), 2025 гг. (б), в млн т. Источники: составлено на основе данных Росстата и ЕМИСС (Объем междупортовых перевозок грузов морским транспортом. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/39233)

показатель — объем междупортовых перевозок морским транспортом (отправления/прибытия). Его выбор обусловлен доступностью данных, комплексностью и сопоставимостью во времени.

Временной интервал исследования сконцентрирован на данных 2022–2025 гг., где 2022 г. выбран как год начала специальной военной операции и введения санкционных ограничений. Для оценки глубины трансформации итоги 2025 г. сопоставляются с данными 2019 и 2021 гг. (доковидный, досанкционный уровень).

Перераспределение грузопотоков в условиях санкций

Перераспределение территориальной структуры морских грузопотоков (отправления и прибытия) показаны на *рис. 1*, *2*. В обоих случаях порты Балтийского бассейна стали центром притяжения грузов. Санкт-Петербург и Ленинградская обл. заняли ведущие позиции, аккумулируя основную часть экспортных и импортных потоков. Порты Арктического бассейна, напротив, последовательно теряли свои позиции.

Концентрация грузопотоков на Балтике, с одной стороны, усиливает роль макрорегиона как логистического хаба, а с другой — создает риски инфраструктурной перегрузки и повышает уязвимость системы к внешним шокам. Для Арктического бассейна это может означать дальнейшую потерю позиций и необходимость поиска новых грузовых ниш, а также развитие портовой инфраструктуры.

В целях анализа причин количественных изменений в объемах отправлений/прибытий грузов из регионов СЗФО необходимо проведение параллельного анализа трансформации структуры этих грузопотоков по видам плавания. Данные о динамике экспортных, импортных и каботажных перевозок (*табл. 1* и *2*) показывают, за счет каких именно категорий достигнут рост или произошел спад показателя в каждом регионе.

Начальный период адаптации перевозок к новым условиям

Анализ динамики объема междупортовых перевозок позволяет выделить несколько этапов адаптации регионов Северо-Запада к условиям санкционного давления (*табл. 1*). Первый из них (2022–2023) можно охарактеризовать как период шока и последующего начала адаптации.

В 2022 г. санкционный удар оказался наиболее болезненным для портов, ориентированных на европейские рынки. Калининградская обл., оказавшаяся в транспортной изоляции после блокировки сухопутного транзита Литвой, потеряла четверть экспортных объемов, Санкт-Петербург — более трети отправок. Причиной стал уход глобальных контейнерных операторов и разрыв устоявшихся цепочек поставок с европейскими странами.

В то же время совокупный объем отправлений по округу остался на уровне предыдущего года. Падение в одних ре-

Таблица 1. Динамика объемов междупортовых перевозок по видам плавания, отправленных из регионов СЗФО в 2022–2025 гг., в % к соответствующему периоду предыдущего года

Территория	2022			2023			2024			2025		
	Σ	Э	К	Σ	Э	К	Σ	Э	К	Σ	Э	К
СЗФО	100,8	100,1	116,3	100,7	99,6	105,6	98	100,7	51,6	96,7	97,0	97,1
Санкт-Петербург	64,9	64,1	в 2 р.	133,9	129,9	в 5 р.	103,8	104,3	93,4	102,4	101,8	117,2
Лен. обл.	109,7	110,2	78,4	95,7	94,2	138,5	98,2	97,1	114,7	98,5	98,9	116,5
Ненецкий АО	126,6	0	126,6	89,4	0	89,4	97,2	0	0,1	89,6	88,3	в 16 р.
Арх. обл.	104,5	53,4	115,8	86,8	55,7	90	108,2	в 15 р.	20	88,8	83,9	112,2
Мурман. обл.	103,4	103,4	102,1	104,4	104	113,5	86,5	87,1	74,1	87,4	87,5	86,6
Калинингр. обл.	76,1	72,2	в 2 р.	101,9	102,2	113	132	89,9	в 3 р.	69,7	78,0	60,1

*Примечания: в таблицах цветовая маркировка применена к суммарным показателям динамики (графы Σ): голубым отмечен рост, розовым — спад. Σ — суммарный объем междупортовых перевозок грузов в регионе; Э — экспортные перевозки; Т — объем транзитных перевозок грузов; К — каботажные перевозки.

Таблица 2. Динамика объемов междупортовых перевозок по видам плавания, прибывших в регионы СЗФО в 2022–2025 гг., в % к соответствующему периоду предыдущего года

Территория	2022			2023			2024			2025		
	Σ	И	К	Σ	И	К	Σ	И	К	Σ	И	К
СЗФО	84,7	55,3	118,8	100,9	99,2	102,2	100,3	116,6	92	104,5	103,8	104,9
Ненецкий АО	69,9	0	69,9	164	0	164	57,2	0	57,2	в 3 р.	0	в 3 р.
Ленинградская обл.	186,5	16,7	в 5 р.	84,9	17,2	88,9	89,8	в 23 р.	64	151,5	в 3 р.	88,4
Калининградская обл.	79,2	60,6	183,9	121,8	88,7	177,9	86,6	104,5	73	114,1	67,5	164,7
Санкт-Петербург	55,1	55	83,1	106,1	103,2	в 5 р.	120,1	116,7	в 2 р.	106,8	105,3	129,6
Архангельская обл.	64,3	72,9	64	126,3	в 2 р.	123	100,4	в 3,5 р.	83,4	97,8	34,8	115,7
Мурманская обл.	107,8	69,7	108,7	95,1	97,1	95	95,1	59,6	95,7	96,3	47	96,7

*Примечание: см. примечания к *табл. 1*. И — импортные перевозки. Источники: составлено на основе данных Росстата и ЕМИСС (Объем междупортовых перевозок грузов морским транспортом. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/39233).

гионах компенсировалось ростом в других. Так, Ненецкий АО нарастил отправки каботажных наливных грузов. Этот рост, вероятно, оказался связан с увеличением вывоза нефти с арктических месторождений и эффектом низкой базы 2021 г. (когда отправки нефти упали почти на 40% к 2020 г.). Ленинградская обл. нарастила экспортные отправки, а порты Арктического бассейна (Мурманск, Архангельск) увеличили перевалку в рамках челночных схем вывоза углеводородов по Северному морскому пути (СМП) **[7]**.

Совокупный объем прибытий сократился на 15%, а импорт — на 45% (*табл. 2*). Главным механизмом компенсации в импортном сегменте стал каботаж: в Калининграде он вырос на 84%, в Архангельской обл. — на 64%, а Ленинградская обл. показала пятикратный рост, став точкой перевалки для обхода закрытых европейских маршрутов.

Если 2022 г. стал годом шока и экстренной адаптации, то 2023 г. ознаменовался началом структурной перестройки и постепенным восстановлением наиболее пострадавших портов. Прибытия в 2023 г. стабилизировались (+0,9% к 2022 г.), но развитие шло не за счет импорта, который продолжал сокращаться, а благодаря дальнейшей консолидации каботажа.

После глубокого падения стал восстанавливаться Санкт-Петербург. Отправки выросли более чем на треть, экспорт увеличился почти на 30%. Это стало возможным благодаря кардинальной смене логистической модели. До 2022 г. контейнеры шли в Петербург через европейские порты-трансшипмента[1*] (Роттердам, Антверпен, Гамбург), где океанские лайнеры перегружались на мелкие фидерные суда. В 2023 г. на Северо-Запад пошли суда напрямую из Азии[2].

Калининград запустил регулярные каботажные линии с портами материковой России (Усть-Луга — Балтийск, Бронка — Калининград, Санкт-Петербург — Балтийск), что стало единственным способом снабжения эксклава после установления транспортной блокады. В то же время спад в Архангельской и Ленинградской обл. и в Ненецком АО объясняется перенаправлением грузовых потоков в Санкт-Петербург, который стал главным узлом перераспределения.

Дополнительным фактором послужило снижение перевозок наливных грузов (нефти) из-за колебания мировых цен. При этом порты Арктического бассейна демонстрировали разнонаправленную динамику. Мурманск оставался ключевым узлом перевалки: через него осуществлялись челночные схемы вывоза нефти и СПГ с последующей отправкой на азиатские рынки[3].

Архангельск в 2023 г. включен в программу субсидирования перевозок по СМП, что создало предпосылки для роста его роли в арктической логистике[4]. Однако в 2023 г. субсидируемый рейс из Архангельска только начинал формиро-

[1] * Порт-трансшипмента — это порт, где груз временно останавливается для погрузки, выгрузки, передачи судна или смены вида транспорта на пути от порта отправления до порта назначения.

[2] В Петербург вернулись зарубежные операторы контейнерных перевозок // Деловой Петербург. URL: https://www.dp.ru/a/2023/04/05/Linii-narisovalis.

[3] Грузы для Севморпути // PortNews. URL: https://portnews.ru/magazine/portnews/a485/.

[4] Первый рейс субсидируемых перевозок по СМП из порта Архангельск отправится в августе 2023 года // PortNews. URL: https://portnews.ru/news/351070/.

ваться, и его влияние на общие объемы отправлений было ограниченным.

Ненецкий АО оставался зависимым от каботажных перевозок в рамках северного завоза, которые сокращались из-за мелководья и отсутствия дноуглубительных работ[1].

Трансформация логистики в 2024–2025 гг.

В 2024 г. порты СЗФО перестали быть взаимозаменяемыми: каждый закрепился в своей узкой нише (*табл. 1*). Калининград существенно нарастил каботажные перевозки, которые выросли в три раза и закрепились как основные пути сообщения эксклава с материковой Россией. Паромные перевозки охватывали широкую номенклатуру: от продуктов питания до медоборудования[2].

Ленинградская обл., несмотря на снижение общего объема, оказалась в более выигрышном положении благодаря глубоководным портам (Усть-Луга, Приморск, Высоцк), способным принимать крупнотоннажные суда. Регион аккумулировал новые потоки удобрений и контейнеров, сохранив пиковые объемы перевалки[3].

Архангельская обл. перешла от начальной фазы участия в субсидируемых перевозках по СМП к полноценному использованию северного маршрута для экспортных поставок: экспорт вырос в 15 раз, порт стал альтернативным хабом для российских минеральных удобрений после закрытия доступа к портам Прибалтики[4,5].

Самое значительное падение показателя отмечено в Мурманском регионе по причине обвального падения перевалки угля, переориентированного на восточное направление. Порты Дальнего Востока оказались ближе к азиатским рынкам, завершена модернизация БАМа и Транссиба. Также высокая ключевая ставка ЦБ способствовала тому, что рентабельность перевозки угля через Мурманск оказалась отрицательной[6]. Объемы погрузки в Ненецком АО в 2024 г. продолжили падение из-за инфраструктурного кризиса: отсутствие дноуглубления на р. Печоре снизило проходную осадку на 30–40 %, увеличив себестоимость логистики. Дополнительным фактором стала волатильность цен на нефть.

Для импортных перевозок 2024 г. стал переломным. Санкт-Петербург нарастил прибытия на 20 % за счет новых хабов в Африке (Танжер, Порт-Элизабет), которые распределяли крупные поставки на более мелкие суда из-за ограничений по глубине морского канала[7]. Ленинградская обл. при общем падении прибытий показала взрывной рост импорта (в 23 раза) благодаря снижению ставок фрахта, сделавшему прямые перевозки контейнеров из Азии в Балтику выгоднее схемы через Дальний Восток и Транссиб[8].

К 2025 г. разнонаправленная динамика регионов, наметившаяся в 2024 г., не только сохранилась, но и привела к формированию новой иерархии портов (см. *табл. 1, 2*). Положительной динамикой отправленных грузов отличился только Санкт-Петербург. Рост обеспечен увеличением числа морских сервисов: к 2025 г. запущены прямые контейнерные линии из Китая, Вьетнама, Индонезии, Южной Кореи, Египта, Таиланда, Малайзии и Турции[9]. Порт трансформировался из «окна в Европу» в мультимодальный хаб.

Ленинградская обл. в 2025 г. несмотря на лидерство по абсолютным объемам отправлений, показала снижение показателя. Это связано с сокращением экспорта нефти и нефтепродуктов, доминирующих в структуре грузооборота. Однако предполагается, что этот спад в перспективе частично получится компенсировать ростом контейнеров и перевалки удобрений[10].

Калининградская обл., нарастившая каботаж в 2024 г. в три раза, в 2025 г. показала снижение его объемов. Это обусловлено не только естественной стабилизацией после пикового роста, но и проблемами в системе субсидирования морских перевозок. Оператор паромной линии полностью использовал выделенную льготу, что привело к временной приостановке рейсов и сокращению грузооборота паромной переправы на 15 %[11]. Сам механизм субсидирования остается сложным: перевозчики получили не более 30 % от заявленных средств, тогда как потребность региона оценивается примерно в 17 млрд руб. (фактически выделено 4 млрд).

Архангельская обл. также показала значительное снижение объемов отправки. При этом региону удалось нарастить перевалку контейнерных грузов[12]. Однако основу структуры архангельских портов традиционно составляют наливные грузы (нефть и нефтепродукты) — на их долю приходилось порядка 80% объема. Именно перевозки наливных грузов демонстрируют устойчивое падение последних трех лет, что является частью макрорегионального тренда. Причина заключается в переориентации экспортных потоков на восточное направление и высокие логистические издержки арктического маршрута.

В Ненецком АО усугубились инфраструктурные проблемы, не связанные с санкциями, — многолетнее отсутствие дноуглубительных работ на р. Печоре привело к критическому снижению проходной осадки и, как следствие, к резкому падению грузооборота. Лишь в июле 2025 г. после введения режима повышенной готовности из-за обмеления начались локальные дноуглубительные работы в районе р. Печоры[13].

---

[1] Порт Нарьян-Мар: пришло время активного развития // Морские вести РФ. URL: https://morvesti.ru/analitika/1688/103262/.

[2] Где соль, там и сахар // Группа компания «Оборонлогистика». URL: https://obl.ru/pressa/news/gde-sol-tam-i-sakhar/?sphrase_id=4641.

[3] Большой порт Санкт-Петербург в 2024 году не смог вернуться к досанкционному грузообороту // Ведомости. URL: https://spb.vedomosti.ru/economics/articles/2025/01/17/1086745-bolshoi-port-sankt-peterburg-ne-smog-vernutsya-k-dosanktsionnomu-gruzooborotu.

[4] Морские перевозки через порт Архангельск в 2024 г. выросли в 1,3 раза // Ведомости Северо-Запад. URL: https://spb.vedomosti.ru/economics/news/2025/01/08/1085080-morskie-perevozki-port-arhangelsk.

[5] Архангельск увеличивает перевалку грузов по СМП // RG.RU. URL: https://rg.ru/2024/10/01/reg-szfo/pomorskij-tranzit.html.

[6] Годовой грузооборот арктических портов СЗФО просел впервые после санкций // Ведомости. URL: https://spb.vedomosti.ru/economics/articles/2025/01/16/1086649-godovoi-gruzooborot-arkticheskih-portov.

[7] Кто в Африку, кто в Америку. Петербургский порт переживает контейнерный ренессанс // Фонтанка.ру. URL: https://www.fontanka.ru/2024/05/16/73586849/.

[8] Терминалы «Глобал Портс» на Балтике за 10 месяцев 2024 г. перевалили 45 тыс. китайских автомобилей в контейнерах // PortNews. URL: https://portnews.ru/news/370823/.

[9] Российские порты на Балтике укрепили связь с Азией и стали наращивать обороты // Деловой Петербург. URL: https://www.dp.ru/a/2025/09/24/rossijskie-porti-na-baltike.

[10] ЦБ: Грузооборот портов Северо-Запада в январе–феврале 2025 года рос за счет угля, минудобрений и контейнеров // PortNews. URL: https://portnews.ru/news/376058/.

[11] Порты сократили грузооборот из-за экспортной логистики и сложностей с паромами // RG.RU. URL: https://rg.ru/2025/09/03/reg-szfo/porty-sokratili-gruzooborot-iz-za-eksportnoj-logistiki-i-slozhnostej-s-paromami.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F.

[12] Архангельская область наращивает сотрудничество с Китаем в логистике и развитии Севморпути // РЖД Партнер. URL: https://www.rzd-partner.ru/logistics/comments/arkhangelskaya-oblast-narashchivaet-sotrudnichestvo-s-kitaem-v-logistike-i-razvitii-sevmorputi/.

[13] В Печоре приступили к выполнению работ по дноуглублению подхода к месту причаливания судов у правого берега реки // «Печора» муниципальный район. URL: https://www.pechoraonline.ru/kmi/news/20068/.

Таблица 3. Сравнение итогов 2025 г. с досанкционными периодами (2019 и 2021 гг.), в млн т

Показатель	2019	2021	2025	2025/2019, %	2025/2021, %
Отправления (СЗФО)	307,3	283,2	272,6	–11,3	–3,8
Прибытия (СЗФО)	30,9	37,7	33,7	+9,0	–10,7

Источники: составлено на основе данных Росстата и ЕМИСС (Объем междупортовых перевозок грузов морским транспортом. URL: https://www.fedstat.ru/indicator/39233.)

Более 90% импортных поставок в СЗФО в 2025 г. обеспечивались Китаем, что стало результатом полной переориентации с европейских поставщиков на азиатских[1]. Ленинградская обл. выступила в качестве главных "морских ворот" для прямого импорта из Азии: ее показатель вырос в три раза. Этому способствовали глубоководные порты и подготовленность к приему крупнотоннажных судов.

Санкт-Петербург, несмотря на трансформацию в мультимодальный хаб, потерял часть импортных потоков из-за ограничений по осадке, что вынудило его использовать перевалку в африканских хабах. Мурманск практически утратил импортную функцию, так как переориентация угля на восток и высокая ключевая ставка сделали порт неконкурентоспособным.

Общие итоги и тренды

Таким образом, за 2022–2025 гг. морская логистическая система Северо-Западного федерального округа претерпела качественную трансформацию, затронувшую как пространственную структуру грузопотоков, так и функциональную роль каждого портового узла. Главным итогом стало формирование жесткой специализации портов, утративших прежнюю взаимозаменяемость. Балтийский бассейн стал безусловным центром притяжения грузопотоков, тогда как Арктический бассейн оказался на периферии.

Это перераспределение носило не временный, а структурный характер: оно обусловлено не только геополитическими факторами, но и фундаментальными экономическими и инфраструктурными ограничениями — различной глубиной портов, стоимостью логистики, доступом к мировым рынкам. Каботаж, который в 2022 г. выступал как временная мера замещения утраченных международных связей, к 2025 г. превратился в постоянный механизм, особенно значимый для Калининградской обл. Однако его устойчивость остается под вопросом из-за проблем субсидирования и инфраструктурных ограничений.

Сравнение итогов 2025 г. с досанкционными периодами 2019 и 2021 гг. позволяет количественно оценить глубину структурной трансформации морской логистики СЗФО (*табл. 3*).

Экспортный потенциал макрорегиона значительно сократился. Это означает, что санкционный шок привел не к временному спаду, а к устойчивой потере доли традиционных экспортных рынков (прежде всего европейских). Переориентация на Азию, Северный морской путь и другие альтернативные направления не смогла полностью компенсировать выпавшие объемы.

Импортная составляющая смогла восстановиться, но с кардинально измененной географией. Это свидетельствует о том, что импорт адаптировался к новым условиям (в том числе за счет переключения на азиатских поставщиков), но максимальные объемы 2021 г., оказались пока недостижимыми.

Разнонаправленная динамика отправлений и прибытий подтверждает структурную перестройку. Если экспорт сжался относительно обоих досанкционных периодов, то импорт, напротив, вырос относительно 2019 г. Это означает, что макрорегион стал больше ориентироваться на ввоз товаров (в первую очередь из Азии) при одновременном сокращении вывоза традиционных сырьевых грузов.

Заключение

Проведенное исследование динамики морских грузоперевозок в СЗФО за 2022–2025 гг. позволило выявить структурные изменения, которые носили не конъюнктурный, а качественный характер. Анализ показал, что санкционный шок не привел к коллапсу транспортной системы, но инициировал ее глубокую перестройку.

В то же время сложившаяся конфигурация, сохраняемая в текущих условиях, не может считаться устойчивой. Ее хрупкость обусловлена:

- высокой степенью поляризации (перегрузка балтийских портов, деградация арктической инфраструктуры);
- зависимостью от внешних факторов (ставки фрахта, санкционный режим, конъюнктура мировых рынков);
- отсутствием запасных мощностей на случай новых шоков.

Дальнейшая эволюция системы будет определяться не столько инерцией сложившихся потоков, сколько реализацией крупных инфраструктурных проектов (глубоководный район в Архангельске, развитие Северного морского пути, дноуглубление на р. Печоре) и изменением внешнеполитической обстановки. Т

Литература

1. Потенциальные возможности роста российской экономики: анализ и прогноз. Научный доклад / под ред. А. А. Широва. М.: Артик Принт, 2022. 296 с.
2. Николаев Р. С. Транспортно-логистический комплекс страны в условиях структурной перестройки экономики: макроэкономические подходы к анализу эффективности // Вестник ПГУ. Серия: Экономика. 2018. № 2. С. 228–250. DOI: 10.17072/1994-9960-2018-2-228-250.
3. Арский А. А. Трансформация внешнеторговых логистических цепей поставок в условиях новой экономики // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. 2022. № 1. С. 16–21. DOI: 10.3761/2311-5351-2022-0-1-16-21.
4. Кравцова А. А., Кеворкова Ж. А. Нормативное регулирование параллельного импорта и возможность его осуществления российскими организациями в условиях санкций // Вопросы экономики и права. 2023. № 183. С. 81–86. DOI: 10.14451/2.183.81.
5. Гузельбаева Г. Т., Матвеева Е. С., Новиков Д. С. и др. Роль логистики в развитии экономики России в условиях внешних ограничений // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Т. 12. № 8–1. С. 54–67. DOI: 10.34670/AR.2022.99.68.007.
6. Marullo Bensi. The Architecture of Logistics // Delft Architecture theory journal. 2018. Vol. 12. DOI: 10.7480/footprint.12.2.
7. Григорьев М. Н. Грузопоток и судопоток в акватории Северного морского пути в 2022 г. // Арктические ведомости. 2024. № 1(34). С. 92–105.

[1] Импорт в СЗФО начинает возвращаться к прошлогодним значениям // PortNews. URL: https://portnews.ru/news/382680/.

УДК 621.221.4: 629.4.08

Гидроэнергобашня проекта «Шлиссельбург» как автономный источник кризисного электроснабжения объектов железнодорожного и морского транспорта



Г. Ш. Мамулашвили,
канд. техн. наук, старший научный сотрудник Центра технологических проектов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого

Транспортная инфраструктура критически зависима от бесперебойного электроснабжения при высокой стоимости и экологических рисках традиционной дизельной генерации. Задачу кризисного энергоснабжения транспортных объектов может решить адаптация технологии гидроэнергобашни (Hydro Power Tower).

Современный этап развития транспортной системы России характеризуется электрификацией тягового подвижного состава и портовой техники. Возрастает уязвимость инфраструктуры перед аварийными отключениями. Особую остроту проблема приобретает для изолированных энергорайонов (БАМ, арктические порты, маяки), где доставка резервного дизтоплива сопряжена с высокими издержками и экологическими рисками **[1]**. Традиционные решения (дизель-генераторы, аккумуляторы) имеют ограниченный ресурс. Возобновляемые источники в высоких широтах нестабильны.

Развивается технология гидроэнергобашни (ГЭБ)[1], подробное изложение расчетов цифрового двойника которой приведено в монографии **[2]**. Новизна исследования заключается в комбинированном использовании спирального коллектора и гиперболической башни для генерации устойчивого вихревого потока в условиях малого напора, что позволяет минимизировать воздействие на экосистемы по сравнению с известными аналогами **[3]**. В отличие от плотинных ГЭС, установка не требует водохранилищ и может монтироваться в руслах рек, а в мобильном исполнении — на свайных фундаментах в портовых акваториях и на удаленных станциях (*рис. 1*).

Целью работы является обоснование параметров ГЭБ «Шлиссельбург» ориентировочной мощностью 1 МВт как источника кризисного электроснабжения транспорта на основе результатов гидродинамического моделирования и проработки конструктивных решений, адаптированных к низконапорным потокам и подледной эксплуатации.



Рис. 1. Прототип мобильной ГЭБ «Шлиссельбург» 1000 кВт перед монтажом на железнодорожной станции

[1] Мамулашвили Г. Ш. Заявка на изобретение «Гидроэнергобашня». Роспатент № 2026-102569005288 от 01.02.2026.

Конструктивно-компоновочная схема ГЭБ типа «Шлиссельбург»

Название проекта «Шлиссельбург» присвоено опытному образцу в связи с локацией проектирования и испытаний в устье р. Невы в районе г. Шлиссельбурга. Выбор обусловлен устойчивым течением (0,8–2,0 м/с), характерным для равнинных рек, и доступностью инфраструктуры. Глубины Ивановских порогов (до 10 м) позволяют обеспечить напор 7,5 м, принятый за базовый сценарий.

Гидроэлектростанция из ГЭБ, представляющая собой сборно-разборную конструкцию блочно-модульного типа, работает блоками по несколько модулей в каждом, в зависимости от требуемой мощности (*рис. 2*, **[2]**).

Основные элементы ГЭБ:

- спиральный коллектор — закручивает поток, равномерно подводит воду; диаметр входа 10,6 м, длина канала 18 м;
- гиперболическая башня — конфузорно-диффузорный канал высотой 7,5 м, диаметр горловины 1,4 м, выходного сечения 1,8 м; форма минимизирует потери и обеспечивает жесткость;
- вихревая турбина — размещена в горловине, ротор конусообразный с желобчатыми лопастями;
- свайно-винтовой фундамент — из стеклопластиковых труб (пултрузия) диаметром 325 мм с чугунными наконечниками, выдерживает ледовые нагрузки, коррозионно стойкий, демонтируемый;
- генераторный модуль — синхронный генератор с силовой электроникой на 0,4/6/10 кВ или 3,3 кВ для контактной сети.

Теоретические основы и методика моделирования

Движение жидкости описывается уравнениями сохранения. Для невязкой среды — уравнение Бернулли **[4]**:

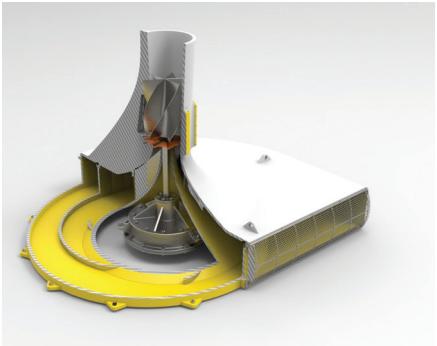


Рис. 2. Конструкция модуля гидроэнергобашни (составлено автором по [2])

Таблица 1. Скорости в тракте ГЭБ

Параметр	Значение, м/с	Примечание
Скорость на входе	2,0	Граничное условие
Среднемассовая в горловине	11,7	Соответствует расходу 18 м³/с
Локальный максимум в ядре	38,2	Диаметр ядра ~0,1 м

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{const}\,.$$

Учет вязкости и турбулентности — уравнения Рейнольдса (RANS). Вихревое движение характеризуется радиальным балансом давления **[5]**:

$$\frac{dP}{dr} = \rho \frac{v_\theta^2}{r}\,.$$

На основе уравнения сохранения энергии в интегральной форме для стационарного течения в контрольном объеме **[6, 7]**, охватывающем ГЭБ от входа до выхода, первый закон термодинамики записывается как:

$$m\left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g z_1\right) =$$

$$= m\left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g z_2\right) + \dot{W}_{\text{турб}} + \dot{E}_{\text{потерь}}\,,$$

где ρ — плотность воды;

g — ускорение свободного падения;

υ_1 — скорость на входе в коллектор;

m — массовый расход воды;

υ_2 — скорость потока на выходе (оголовок);

z_1, z_2 — отметка глубины коллектора и поверхности воды;

$W_{\text{турб}}$ — мощность отдаваемая турбине;

$E_{\text{потерь}}$ — мощность диссипации.

Принимая $p_2 = 0$ (изб.), $z_2 = 0$ и выражая $p_1 = \rho g h + \delta p$ (где δp учитывает динамические эффекты), после сокращения на m получаем:

$$gh + \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} = \frac{W_{\text{турб}}}{m} + \frac{E_{\text{потерь}}}{m}\,.$$

Левая часть представляет собой удельную механическую энергию, доступную для преобразования. При подстановке численных значений ($gh = 73{,}575\ Jkg^{-1}$, $\frac{v_2^2}{2} = 25{,}05\ Jkg^{-1}$) дает левую часть $\approx 50{,}5\ Jkg^{-1}$. Умножая на массовый расход, находим полную механическую мощность потока ≈909 КВт. Эта мощность частично передается турбине (около 1 МВТ по расчетам), частично теряется. Небольшое расхождение связано с округлением и принятыми допущениями.

Численное моделирование выполнено в ANSYS CFX 2023 R1 с SST k–ω моделью. Параметры: диаметр входа коллектора 10,6 м, высота башни 7,5 м, диаметр горловины 1,4 м. Сетка неструктурированная (7,3 млн элементов) с 10 призматическими слоями.

Граничные условия: входная скорость 2,0 м/с (расход 18 м³/с), выходное давление 0 Па, шероховатость стенок 0,05 мм, свободная поверхность — симметрия. Расчет нестационарный, шаг 0,005 с, время счета 50 с. Сходимость по невязкам $<10^{-5}$, дисбаланс масс <0,03 %.

Результаты гидродинамического моделирования

Формируется устойчивый закрученный поток с вихревым ядром в горловине, как показано на эпюре скоростей ABSYS CFD (*рис. 3*). Характерные скорости приведены в *табл. 1*. Пиковая скорость 38,2 м/с достигается в ядре, но не создает дополнительного напора, а лишь стабилизирует поток. Разрежение на оси составляет 191,83 Па (0,0196 м вод. ст.), что менее 0,3 % от напора 7,5 м.

Энергетический баланс

Рассмотрим применение уравнения Бернулли для вертикального подъема воды в спиральном коллекторе и гиперболической башне с учетом потерь при движении от входа в спиральный коллектор (сечение 1) до выхода из оголовка (сечение 2). Выберем уровень отсчета высоты $z = 0$ на свободной поверхности. Тогда

$$z_1 = -h = -7{,}5\ \text{м}, z_2 = 0.$$

Уравнение Бернулли для реальной жидкости с потерями напора:

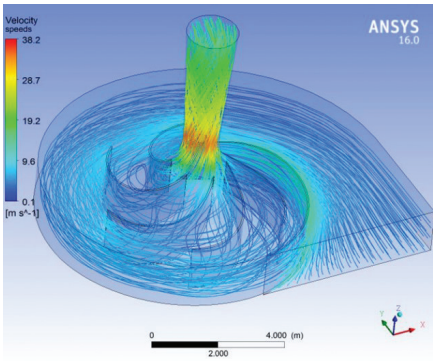


Рис. 3. Поле скорости в соевом сечении ГЭБ (составлено автором по [2])

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_{\text{пот}}.$$

Давление на выходе (избыточное). Из результатов CFD-моделирования (*табл. 2*) известно, что среднемассовый полный напор снижается на (потери напора), что соответствует гидравлическому КПД:

$$\acute{\eta}_{\text{гидр}} = 1 - \frac{\Delta H}{H_1} \approx 1 - \frac{0{,}85}{7{,}5} = 0{,}887,$$

где H_1=7,5 м— полный напор на входе (принятый в статье). Таким образом, потери напора составляют $h_{\text{пот}} = \Delta H = 0{,}85$ м.

Анализ полного напора вдоль линий тока (*табл. 2*) показал снижение среднемассового напора на 11,3 % (0,85 м), что определяет гидравлический КПД = 0,887.

Таблица 2. Баланс полного напора

Линия тока	*H* на входе, м	*H* в горловине, м	*H* на выходе, м	Снижение *H*, %
Осевая	7,50	7,42	5,81	22,5
Промежуточная	7,50	7,45	6,65	11,3
Периферийная	7,50	7,48	6,95	7,3
Среднемассовое	7,50	7,45	6,65	11,3

Адаптация к транспортным объектам

Режимы эксплуатации ГЭБ:

• проточный (открытый цикл) — установка в русле или море, нижний бьеф — естественный водоем, для долговременного резервирования портов, питания навигации;

• замкнутый (циркуляционный) — с верхним и нижним резервуарами, для удаленных станций без водотока; заполнение от сети или возобновляемого источника энергии.

Особенности конструкции состоят в том, что композитный свайно-винтовой фундамент **[8]** позволяет монтировать ГЭБ на слабых грунтах и в акваториях со льдом. Свая выдерживает до 45 т вертикальной нагрузки и момент до 8 тс·м. Гиперболическая башня из композита (модуль упругости 35 ГПа, погонная масса 0,8 т/м) монтируется краном 50 т. Вихревая турбина устойчива к взвесям и шуге, возможен режим «сухого хода».

Возможна подледная эксплуатация с установкой на ледовом припае арктических портов. Свая вмораживается в лед на глубину 2,5–3 м. При $t < -20$ °C рабочее тело — пропиленгликоль. При остановке происходит автоматический слив. Опыт Обской губы подтверждает работоспособность до –50 °C.

Технико-экономический анализ и экономическая эффективность

В *табл. 3* приведено сравнение с существующими микро-ГЭС мощностью ~1 МВт **[9–11]**.

Гидроэнергобашня уступает приливным станциям в единичной мощности, но превосходит по мобильности и автономности, что критично для удаленных объектов.

Для станции на БАМе с годовым потреблением дизтоплива 120 т (500 МВт·ч) замещение выработки ГЭБ (500 ч/год) экономит до 4,5 млн руб./год. С учетом северного завоза срок окупаемости составляет 4–6 лет. Для портов предотвращение простоя контейнеровоза (1,5 млн руб./ч) делает ГЭБ высокоэффективной.

Заключение

Таким образом, мощность около 1 МВт достигается за счет гидростатического напора. Вихревые эффекты стабилизируют поток. Перспективные направления: оптимизация геометрии для снижения потерь до 8–9 %; управляемое разрежение для увеличения перепада; импульсно-резонансные режимы (гидроудар); типоразмерный ряд (100–300 кВт для маяков, 3–5 МВт для сортировочных железнодорожных станций).

Таблица 3. Сравнение гидроустановок

Параметр	ГЭБ «Шлиссельбург»	OpenHydro	Admiralty Inlet	Global Hydro
Тип	Вихревая, напорная	Приливная, осевая	Приливная, двухроторная	Русловая, пропеллерная
Мощность, кВт	1056	2000 (проект), факт. ~300	300	500–1000
Напор/течение	7,5 м	0,7–3,3 м/с	0,7–3,3 м/с	2–20 м
Масса, т	85	850	~300	~100
Фундамент	Свайно-винтовой композитный	Гравитационный бетонный	Якорный бетонный	Бетонное основание
Мобильность	Полная (контейнер)	Требуется тяжелый флот	Требуется спец-баржа	Требуется кран
Работа подо льдом	Да (до –50 °C)	Нет	Нет	Ограниченно
Стоимость, млн дол. США	8,5	13,75	~15	~7
Готовность для транспорта	Высокая (НИОКР)	Низкая (проект закрыт)	Низкая (проект закрыт)	Средняя

Выводы:

• ГЭБ «Шлиссельбург» при расходе 18 м³/с и глубине 7,5 м генерирует около 1 МВт, что достаточно для кризисного питания объектов транспорта.

• Конструкция (спиральный коллектор, гиперболическая композитная башня, вихревая турбина, свайно-винтовой фундамент) мобильна, состоит из одного модуля, требуемая мощность набирается за счет несколько модулей, быстро монтируется и работает подо льдом.

• Технико-экономическое обоснование подтверждает конкурентоспособность для изолированных объектов с дорогой доставкой топлива.

• Рекомендуется опытно-промышленная реализация на полигонах ОАО «РЖД» и ФГУП «Росморпорт». Т

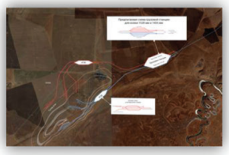
Литература

1. Пинский А. С. Е-навигация и безэкипажное судовождение // Транспорт РФ. 2016. № 4(65). С. 52–56.
2. Mamulashvili G. Hydro Power Tower Engineering / Eds. Y. Shang, L. Shang, X. Li // Technological Innovations in Hydropower. London: IntechOpen, 2022. P. 94–116. DOI: 10.5772/intechopen.94652.
3. Basel I. Abed Ismail Introductory Chapter: Performance and Design Aspects of Hydro-Turbines for Green Hydroelectric Power Generation // Advances in Hydropower Technologies. 2025. DOI: 10.5772/intechopen.1005681;
4. Naseem Uddin. Fluid Mechanics. 9th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2022. 992 p. DOI: 10.1201/9781003315117.
5. Ахметов В. К. Влияние закрутки на устойчивость течений в каналах // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 3. С. 69–72. DOI: 10.37882/2223-2966.2021.03.02.
6. Ватин Н. И., Нурмухаметов Р. Р. Стеклопластиковые сваи для усиления водонасыщенных глинистых грунтов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. Вып. 4(144). С. 107–111.
7. Митрофанова О. В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков. М.: Энергоатомиздат, 1990. 340 с.
8. Dellinger N., François P., Lefebure D. et al. An experiment of a hydropower conversion system based on vortex-induced vibrations in a confined channel // Renewable Energy. 2018. Vol. 115. P. 54–63. DOI: 10.1016/j.renene.2017.07.122.
9. Paimpol-Bréhat Tidal Demonstration Project // Tethys (PNNL). URL: https://tethys.pnnl.gov/project-sites/paimpol-brehat-tidal-demonstration-project (дата обращения: 12.04.2026).
10. Admiralty Inlet Pilot Tidal Project // Tethys (PNNL). URL: https://tethys.pnnl.gov/project-sites/admiralty-inlet-pilot-tidal-project (дата обращения: 12.04.2026).
11. Global Hydro. Малая гидроэлектростанция в контейнере // Global Hydro. URL: https://www.global-hydro.eu/ru/blog/small-hydropower-in-a-container (дата обращения: 12.04.2026).

Общероссийская общественная организация

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Основные направления деятельности



Разработка концепций, технико-экономических обоснований строительства объектов транспортной инфраструктуры



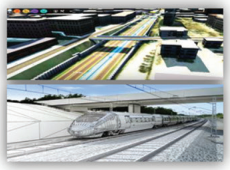
Проведение комплексных научно-исследовательских работ



Научно-техническая, экспертная и методическая поддержка проектов строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры



Разработка предложений по повышению перерабатывающей способности станций, разработка имитационной модели



Разработка нормативно-технических документов и научно-технических обоснований (СП, ГОСТ, НТО, СТО)



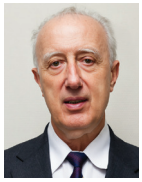
Разработка комплексных схем организации улично-дорожной сети



Разработка схем транспортного планирования и комплексных планов развития транспортной инфраструктуры регионов

УДК 629.423.1

Работа системы автоматического управления скоростью движения электровоза с управляемыми преобразователями возбуждения



А. Н. Савоськин,
д-р техн. наук, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)),



А. А. Чучин,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» РУТ (МИИТ)

В ранних работах предложено оборудовать электровоз переменного тока с коллекторными тяговыми электродвигателями новым электрическим комплексом с управляемыми транзисторными преобразователями возбуждения. Рассмотрим функционирование этой системы автоматического управления при ведении электровозом с управляемыми транзисторными преобразователями возбуждения грузового поезда и дадим оценку качества ее функционирования.

Выполним проверку качества функционирования системы автоматического управления скоростью (САУС) движения электровоза, оборудованного управляемым транзисторным мостовым преобразователем возбуждения[1] **[1–3, 4]**, с грузовым составом по различным участкам холмистого профиля пути. Качество функционирования будем оценивать такими показателями, как устойчивость движения, установившаяся ошибка Δy, перерегулирование σ и время регулирования t_p, известными из теории автоматического управления **[5]**.

Примем, что на этих участках имеется горизонтальный элемент профиля с уклоном 0‰, а также спуски и подъемы различной длины с уклонами 8 и 15‰. Длины принятых элементов профиля пути на рассматриваемых участках приведены в *таблице*.

Режим движения поезда принят следующим: трогание и разгон, а затем стабилизация скорости 60 км/ч. Поезд состоял из электровоза, массой 300 т, и 45 вагонов, массой 94 т каждый, длина поезда составляла 675 м.

При выполнении расчетов по модели (*рис. 1*), рассмотренной в **[6]**, определялись силы тяги $F_к$ и электрического торможения $B_к$, задаваемые САУС электровоза, силы в межвагонных соединениях F_i для электровоза и для вагонов № 11, 34, а также скорости движения v этих вагонов.

В соответствии с расчетной схемой составлена математическая модель поезда **[6–10]**. При учете только поступательного движения экипажей система уравнений, описывающих движение каждого *i*-го из них, имеет следующий вид **[6]**:

[1] Патент № 2788223 C1 Российская Федерация. Электрический привод электровоза / Ю. И. Попов, Н. Л. Михальчук, А. Н. Савоськин и др. Опубл. 17.01.2023. EDN: TSIIOX.

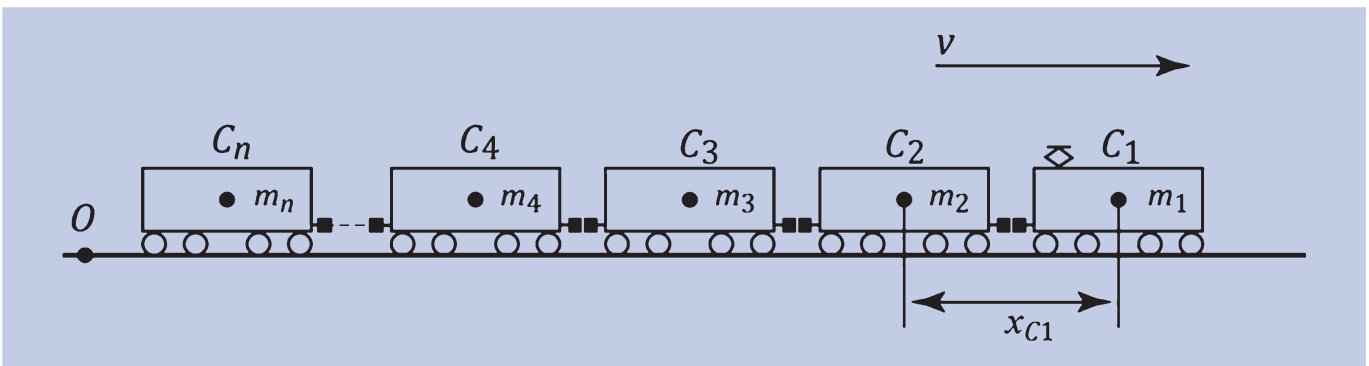


Рис. 1. Расчетная схема поезда: x_{ci} — расстояние от центра масс локомотива до центра масс *i*-го вагона

Параметры элементов профиля пути

Номер элемента профиля	Уклон первого и второго участков, ‰	Положение первого участка и длина его элементов, м	Положение второго участка и длина его элементов, м
1	0	0–2000	0–2000
2	+15	2000–4000	2000–2500
3	–15	4000–6000	2500–3000
4	+8	6000–8000	3000–4500

$$\begin{cases} \frac{dv_1}{dt} = \frac{-F_{x1}+F_{кэ}-B_{кэ}-W_э}{(1+\gamma_э)m_э}; \\ \frac{dv_i}{dt} = \frac{F_{x(i+1)}-F_{xi}-B_{кi}-W_i}{(1+\gamma_i)m_i}, i = 2, \dots, n-1; \\ F_{x(n+1)} = 0,\ x_i = (v_i - v_{i-1})t, i = 2, \dots, n-1; \\ \frac{dv_n}{dt} = \frac{F_{x(n-1)}+F_{кn}-B_{кn}-W_{in}}{(1+\gamma_n)m_n}, \end{cases}$$

где F_{xi}, $F_{x(i+1)}$ — силы, возникающие в первом (i-м) и втором (i+1) по ходу движения поезда поглощающих аппаратах автосцепок (межвагонных связях) i-го экипажа, при их деформации (i =1, 2, …, n); $F_{кi}$, $B_{кi}$, W_i — силы тяги, торможения и сопротивления движению, действующие на i-й экипаж; определяются по результатам выполнения тягового расчета.

При этом на первый экипаж (электровоз) действует только одна сила $F_к$ или $B_к$, на первый вагон — F_{x1} или B_{x1}, а на последний экипаж — только одна сила F_{xn} или B_{xn}.

Рассмотрим особенности движения поезда по первому варианту профиля пути (см. *таблицу*). Трогание поезда с места происходит на площадке с уклоном 0 ‰ на тяговой характеристике постоянства силы тяги электровоза при величине этой силы $F_к$ = 811 кН (*рис. 2, а*). При проходе электровозом расстояния s = 950 м скорость движения достигает величины $v_э$ = 60 км/ч (*рис. 2, в*) и система автоматики уменьшает силу тяги до значения 80 кН для исключения возможности дальнейшего роста скорости. При этом продольные силы в межвагонных соединениях снижаются.

При проходе расстояния s = 2000 м начинается подъем +15 ‰. Для поддержания скорости движения v = 60 км/ч на этом подъеме система автоматики плавно увеличивает силу тяги электровоза до 670 кН. При этом продольные силы в поезде также плавно возрастают, но с некоторым отставанием, определяемым инерционностью соответствующей части поезда (*рис. 2, а*).

При нахождении электровоза в координате пути s = 2200 м скорость движения начинает снижаться, так как все большая часть состава оказывается на подъеме. Силы тяги электровоза оказывается недостаточной для поддержания скорости движения 60 км/ч и к концу подъема она снижается до значения 56,5 км/ч. Аналогично снижается скорость движения вагонов. К концу подъема (координата пути 4000 м) скорость движения электровоза и вагонов снижается 56,4 км/ч. Поезд полностью растянут по всей длине и находится на подъеме.

При проходе электровозом расстояния s=4000 м начинается спуск –15 ‰. Для поддержания скорости v = 60 км/ч (*рис. 2, в*) система автоматики поддерживает силу тяги электровоза такой величины, чтобы обеспечить увеличение скорости с 56,4 до 60 км/ч. Электровоз продолжает движение на спуске в режиме тяги до координаты 4400 м, а затем начинается снижение силы тяги. Сила в автосцепке вагона № 11 увеличивается от 500 до 700 кН, головная часть состава растягивается под действие силы тяги электровоза и, дополнительно, от сопротивления движению хвостовой части поезда, находящейся еще на подъеме.

При достижении координаты 4500 м скорость движения электровоза становится равной 60 км/ч, и система автоматики уменьшает силу тяги практически до нуля. Весь состав оказывается на спуске и начинает разгоняться. Для поддержания скорости поезда на спуске постоянной, система автоматики переводит электровоз в режим рекуперативного торможения. Тормоз-

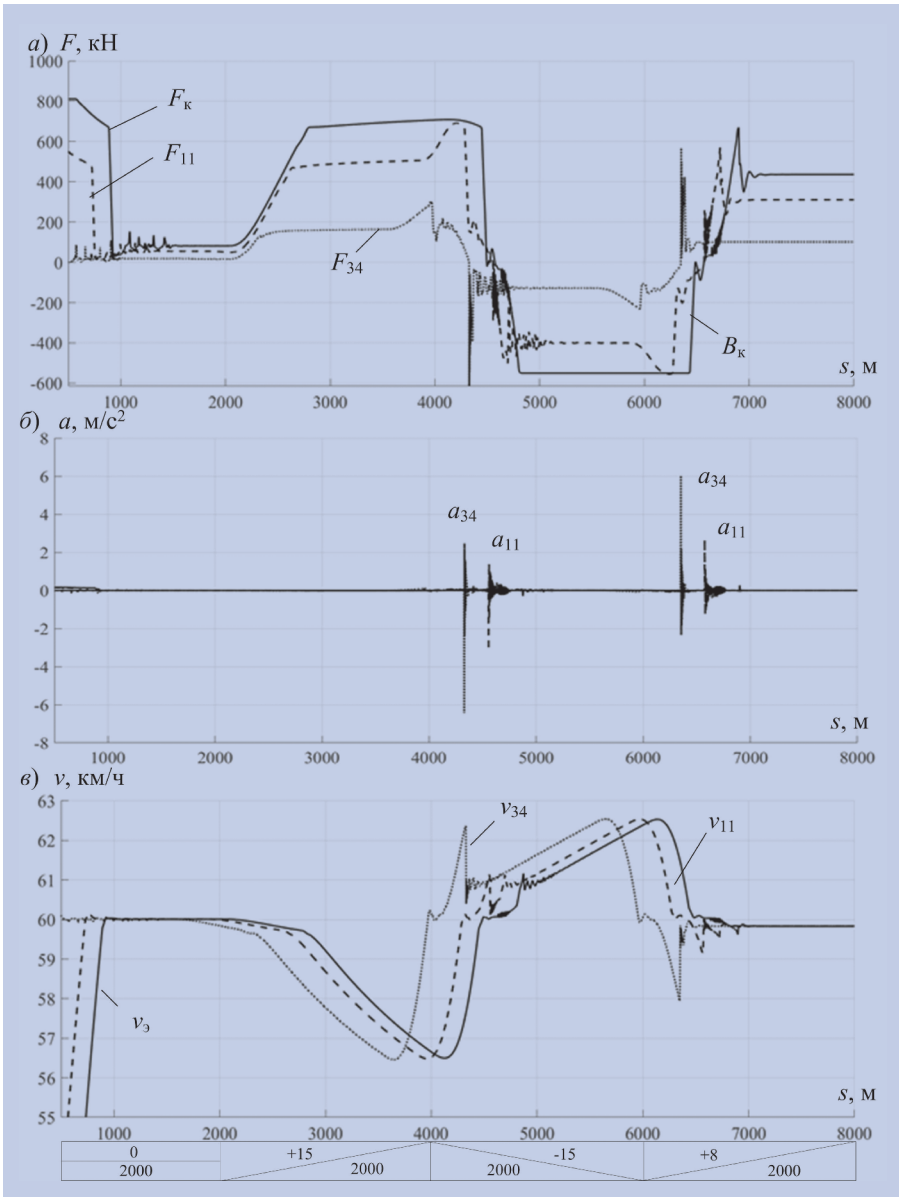


Рис. 2. Зависимости от пути: *а* — силы тяги электровоза и сил в поглощающих аппаратах автосцепок вагонов № 11, 34; *б* — ускорения вагонов № 11, 34; *в* — скорость движения электровоза и вагонов № 11, 34 (для первого варианта профиля пути)

ная сила достигает величины $B_к$ = –570 кН (ограничение по максимальной силе).

Переход в режим торможения приводит к сжатию поезда и возникновению на графиках отрицательных значений продольных сил в поезде. Так, для вагона № 34 сила в автосцепке между вагонами № 33 и 34 уменьшается до нуля, скорость движения вагона № 34 возрастает до 62,5 км/ч. В тот момент, когда зазор в автосцепке этого вагона полностью выбирается (s = 4350 м), продольная сила резко возрастает до величины F_x = –600 кН.

При этом возникает скачкообразное изменение ускорения до величины a_{34} = –6 м/с² (*рис. 2, б*), а скорость резко уменьшается до значения v_{34}= 61 км/ч. Для вагона № 11 процессы аналогичны, но с меньшими значениями сил, ускорений и колебаний скорости движения.

При проходе электровозом расстояния s = 4700 м весь поезд полностью находится на спуске. Тормозной силы оказывается недостаточно для стабилизации скорости и поезд начинает разгоняться. Скорость движения электровоза к концу спуска и вагонов на спуске достигает 62,5 км/ч. При проходе расстояния s = 6000 м начинается подъем +8‰. Скорость движения поезда на подъеме будет снижаться, и при нахождении электровоза в точке s = 6400 м система автоматики начинает быстро снижать величину тормозной силы, и к расстоянию s = 6600 м САУС переводит электровоз в режим тяги. Сила тяги начинает быстро возрастать и при s = 7300 м достигает установившегося значения $F_к$ = 440 кН.

Переход из режима рекуперативного торможения в режим тяги вызывает появление продольных сил F_{11}=580 кН, F34=580 кН; ускорений a_{11}=2,8 м/с², a_{34} = 6 м/с² (*рис. 2, б*). Скорость движения вагонов увеличивается скачко-образно для вагона № 11 от v_{11}=59,2 до 59,8 км/ч, а для вагона № 34 — от v_{34}=57,8 до 59,8 км/ч.

Отклонения скоростей движения экипажей поезда от заданной величины скорости $v_з$ = 60 км/ч не превышают 2,5 км/ч, или 4,2 %, т. е. перерегулирование равно σ = 4,2 %. Время регулирования $t_р$ не превышает 21 с и, следовательно, также мало. Установившаяся ошибка по скорости движения также не превышает 0,2 км/ч, что вполне допустимо. Максимальная динамическая сила в автосцепке электровоза не превышает 811 кН, а в автосцепке 34 вагона составляет 580 кН, что не превышает ограничения по условиям прочности автосцепок 1200 кН. Таким образом, все показатели качества управления можно считать удовлетворительными.

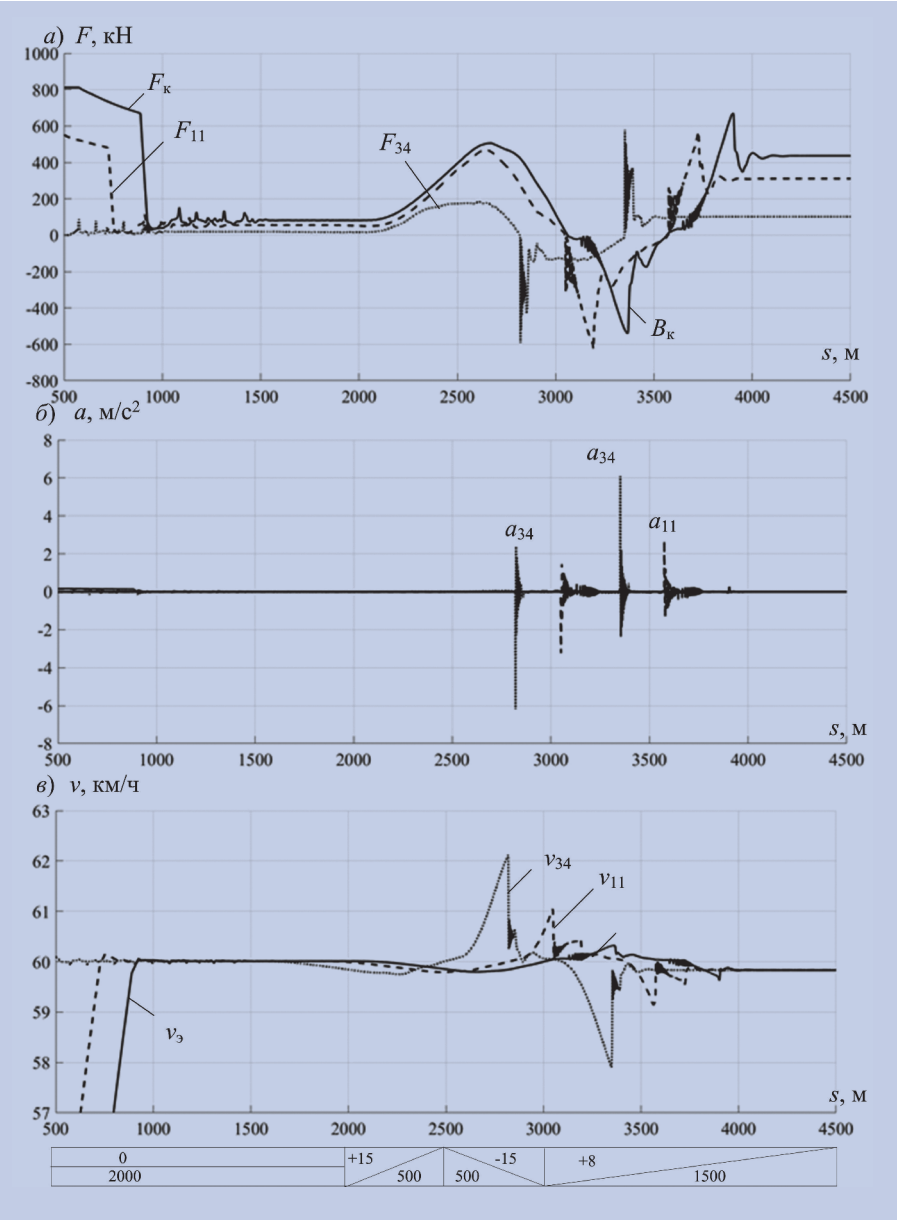


Рис. 3. Зависимости от пути: *а* — силы тяги электровоза и сил в поглощающих аппаратах автосцепок вагонов № 11, 34; *б* — ускорения вагонов № 11, 34; *в* — скорости движения электровоза и вагонов № 11, 34 (для второго варианта профиля пути)

Рассмотрим движение поезда по второму варианту профиля пути. На этом участке уменьшены длины отдельных элементов профиля пути (*таблица*). Это приводит к тому, что поезд одновременно может находиться на трех элементах профиля. Полученные в результате выполненных расчетов зависимости от пути сил, ускорений и скоростей (*рис. 3*) показывают следующее.

По аналогии с рассмотренными результатами моделирования движение поезда начинается на площадке. При проходе электровозом расстояния s = 950 м скорость движения достигает величины $v_э$ = 60 км/ч (*рис. 3, в*) и система автоматики уменьшает силу тяги до значения 80 кН для исключения возможности дальнейшего увеличения скорости. При этом продольные силы в межвагонных соединениях снижаются.

При проходе расстояния s = 2000 м начинается подъем +15‰. Для поддержания скорости v = 60 км/ч система автоматики плавно увеличивает силу тяги электровоза до 400 кН к концу подъема (s = 2500 м). В этот момент большая часть поезда, от электровоза до вагона № 33, оказывается на подъеме, а 11 вагонов хвостовой части продолжают движение по площадке. При этом продольные силы в поезде также плавно возрастают (*рис. 3, а*), достигая к концу подъема значений F_{11} = 360 кН, F_{34}= 180 кН. Скорость движения электровоза и вагонов незначительно снижается до 59,8 км/ч (*рис. 3, в*).

При проходе электровозом расстояния s = 2500 м начинается спуск –15 ‰. Чтобы «затянуть» хвостовую часть поезда на подъем и поддерживать скорость движения постоянной, система автоматики продолжает увеличивать силу тяги электровоза до величины 510 кН (координата пути s = 2700 м). Доля поезда по длине, располагающаяся на спуске, составляет 30 %, остальная часть поезда продолжает движение по подъему.

При дальнейшем перемещении поезда по участку пути все большая часть поезда оказывается на спуске. Для поддержания скорости движения 60 км/ч система автоматики плавно снижает силу тяги электровоза и к концу спуска сила тяги уменьшается до 100 кН. Это вызывает и уменьшение продольных сил в поезде. Поезд на 70 % по длине оказывается на спуске, а 30 % хвостовой части — еще на подъеме. Скорость движения вагонов в составе поезда по мере удаления от электровоза возрастает до значений v_{11} = 61 км/ч и v_{34} = 62,1 км/ч.

При проходе электровозом расстояния s=3000 м начинается подъем +8 ‰. Скорость движения поезда продолжает возрастать, и для исключения превышения заданного значения 60 км/ч система автоматики переводит электровоз в режим рекуперативного торможения (s = 3150 м). Появление тормозной силы вызывает сжатие поезда и резкое возрастание продольных сил F_{11} = –300 кН, F_{34} = –600 кН, ускорений вагонов a_{11} = –3,5 м/с^2, a_{34} = –6,2 м/с^2 (*рис. 3, б*), скорость движения вагонов поезда уменьшается от v_{11} = 61 до 60,1 км/ч и от v_{34} = 62,1 до 60,2 км/ч. Увеличение тормозной силы поезда происходит до величины 550 кН (s = 3350 м), что вызывает дальнейшее сжатие поезда и уменьшение скорости движения вагонов до v_{11} = 59,2 км/ч и v_{34} = 57,9 км/ч.

При дальнейшем движении поезда все большая его часть оказывается на подъеме и для поддержания скорости движения на уровне 60 км/ч уменьшается тормозная сила до нуля при нахождении электровоза в координате пути s = 3560 м (80 % поезда оказывается на подъеме, 20 % — на спуске). Далее система автоматики переводит электровоз в режим тяги, плавно ее увеличивая. Это вызывает растяжение поезда и резкое возрастание продольных сил F_{11} = 580 кН, F_{34} = 590 кН, ускорений a_{11} = 2,8 м/с^2, a_{34} = 6,2 м/с^2, скорость движения вагонов увеличивается с v_{11} от 59,2 до 59,8 км/ч и v_{34} от 57,9 до 59,8 км/ч.

Отклонения скорости движения экипажей поезда от заданной величины $v_з$ = 60 км/ч не превышают: для вагона № 34–2,1 км/ч, для электровоза — 0,3 км/ч. Следовательно, установившаяся ошибка составляет 2,1 км/ч, перерегулирование для вагона № 34 равно σ = 3,5 %, для электровоза σ = 0,5 %. Время регулирования $t_р$ не превышает 13 с и, следовательно, также мало. Максимальная динамическая сила в автосцепке 34 вагона составляет 590 кН. Все это также свидетельствует об удовлетворительном качестве функционирования системы автоматического управления скоростью движения.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. При движении по участкам пути с холмистым профилем, уклоны на котором не превышают 15 ‰, возникают продольные колебания в поезде, сопровождающиеся изменением сил в автосцепках, ускорений и скорости движения отдельных вагонов и электровоза.

2. При этом амплитуды колебаний ускорений не превышают 7,1 м/с^2, т. е. 1g, а скорость движения — 62,4 км/ч, т. е. 4 % от заданной, что вполне допустимо.

3. Максимальные динамические силы в автосцепках электровоза и вагонов поезда не превышают 811 кН, что много меньше, чем величина 1200 кН, определяющая условия их прочности.

4. Полученные результаты показывают, что условия движения по пути с холмистым профилем, уклоны на котором не превышают 15 ‰, являются допустимыми и свидетельствуют о том, что система автоматического управления скоростью движения электровоза обеспечивает выполнение требований к качеству ее функционирования.

5. В дальнейшем необходимо выполнить исследование условий движения электровоза с грузовыми поездами на участках пути с уклонами 20 ‰ для уточнения алгоритмов автоматического управления электровозом. Т

Литература

1. Михальчук Н. Л., Пудовиков О. Е., Савоськин А. Н., Чучин А. А. Электровоз с плавным управлением в режимах независимого и последовательного возбуждения тяговых электродвигателей // Железнодорожный транспорт. 2022. № 9. С. 35–39. EDN: CQGNZV.
2. Михальчук Н. Л., Савоськин А. Н., Чучин А. А. Электромагнитные процессы в силовой схеме электровоза с управляемым преобразователем возбуждения // Электротехника. 2022. № 9. С. 34–42. DOI: 10.53891/00135860_2022_9_34. EDN: DZQWTP.
3. Михальчук Н. Л., Пудовиков О. Е., Савоськин А. Н., Чучин А. А. Принципы управления электровозом однофазно-постоянного тока с управляемыми преобразователями возбуждения // Электротехника. 2023. № 9. С. 6–13. DOI: 10.53891/00135860_2023_9_6. EDN: FIJGZR
4. Савоськин А. Н., Михальчук Н. Л., Пудовиков О. Е., Чучин А. А. Процессы трогания и разгона грузового поезда с электровозом, оборудованным управляемыми преобразователями возбуждения // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2025. Т. 68. № 1. С. 66–74. DOI: 10.17213/0136-3360-2025-1-66-74. EDN: MEGZSM.
5. Баранов Л. А., Савоськин А. Н., Пудовиков О. Е. Автоматизированные системы управления электроподвижным составом. Часть 1: Теория автоматического управления: Учебник. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. 400 с. EDN: XMSUAL.
6. Блохин Е. П., Манашкин Л. А. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания). М.: Транспорт, 1982. 222 с.
7. Вершинский С. В. Продольная динамика вагонов в грузовых поездах. М.: Трансжелдориздат, 1957. 263 с. (Труды ВНИИЖТ; Вып. 143)
8. Савоськин А. Н., Пудовиков О. Е. Методика моделирования параметров неоднородного грузового поезда в задачах продольных колебаний // Мир транспорта. 2010. № 1. С. 40–45
9. Савоськин А. Н., Пудовиков О. Е. Исследование продольных колебаний грузового поезда с учетом его неоднородности // Транспорт Урала. 2010 № 2. С. 39–44.
10. Савоськин А. Н., Пудовиков О. Е., Чучин А. А. Силовая характеристика упруго-фрикционного поглощающего аппарата автосцепки // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: Материалы VIII всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 300-летию Российской академии наук и 100-летию со дня рождения профессора Александра Сергеевича Лисовского 14–15 ноября 2024 г., Омск, Россия. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2024. С. 258–265. EDN: QQSIAS.

УДК 629.45/46

Выбор параметров и технических решений трехэлементных тележек для грузовых вагонов с малой массой тары



Э. Р. Хамраева,
научный сотрудник АО «Научно-внедренческий центр «Вагоны» (АО «НВЦ «Вагоны»), аспирант Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),



Ю. П. Бороненко,
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС, генеральный директор АО «НВЦ «Вагоны»,



Л. В. Цыганская,
канд. техн. наук., доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС, главный конструктор АО «НВЦ «Вагоны»

В подготовке материала принимал участие
В. С. Коршунов,
заместитель главного конструктора АО «НВЦ Вагоны».

С целью разработки рекомендаций по выбору параметров трехэлементных тележек, обеспечивающих требуемые ходовые качества в порожнем режиме для вагонов с массой тары менее 21 т, выполнено цифровое моделирование движения грузовых вагонов на данных тележках с различными конструктивными схемами. Предложены новые параметры билинейного рессорного подвешивания и беззазорных скользунов, обеспечивающие выполнение нормативов по динамическим качествам вагонов в порожнем и груженом режимах.

Эффективность работы железнодорожного транспорта напрямую зависит от массы тары грузовых вагонов. Ее уменьшение позволяет увеличить количество перевозимого груза, сократить расходы на тягу поездов, уменьшить воздействие на путь при порожнем пробеге **[1, 2]**. Задача снижения тары вагонов поставлена в Стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г. («Белая книга») еще в 2007 г.

Анализ технико-экономических параметров вагонов-платформ, выпущенных вагоностроительными заводами России в период с 2005 по 2025 гг., показывает минимальное уменьшение их тары за прошедшие 20 лет (*рис. 1*). Тара новых вагонов-платформ остается равной 21–22 т и только у небольшого количества старых типов, переоборудованных из универсальных платформ, она составляет 19–20 т. Во многом это связано с тем, что на тележках типа 18–100 вагоны с массой тары меньше 21 т показывали неудовлетворительные ходовые качества и не обеспечивали безъюзовое торможение в порожнем режиме. Это обстоятельство учтено в ГОСТ 9246-2013 «Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия», который установил минимальную массу тары вагона 21 т для тележек типа 2 с осевой нагрузкой 23,5 т.

Проведенные расчеты **[1]** показывают, что за счет применения новых материалов и конструктивных решений можно снизить массу рамы платформы на 2–3 т и, соответственно, на ту же величину увеличить их грузоподъемность. Однако для реализации этой возможности требуется новая тележка, обеспечивающая необходимые ходовые качества платформ с массой тары менее 21 т в порожнем режиме.



Рис. 1. Зависимость максимальной массы тары вагонов-платформ от года постановки на производство

Таблица 1. Варианты исполнения тележки для вагона с малой массой тары

Параметр	Значение для исполнения			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Тип рессорного подвешивания	Линейное	Билинейное	Билинейное	Кусочно-линейное
Тип скользуна	Зазорный	Зазорный	Постоянного контакта	Постоянного контакта
Наличие упругой связи в буксовом узле	Нет	Нет	Нет	Есть

Динамические характеристики трехэлементных тележек грузовых вагонов обеспечиваются за счет конструкции, параметров рессорного подвешивания и работы фрикционных гасителей колебаний **[3–6]**. Поскольку внесение принципиальных конструктивных изменений в тележку требует значительных временных и финансовых затрат, в данной работе рассматривалась возможность обеспечения требуемых динамических показателей вагонов с малой тарой (18 т) за счет выбора характеристик рессорного подвешивания и скользунов с сохранением основных несущих элементов трехэлементной тележки 18–1277 производства Холдинга РМ РЕЙЛ. Также рассматривалась эффективность и необходимость введения дополнительной упругой связи в буксовом проеме **[7–9]**.

Основная техническая проблема при выборе параметров рессорного подвешивания тележки вагона с малой массой тары заключается в необходимости обеспечения динамических качеств, при соблюдении условия по разности статического прогиба 55 мм между порожним и груженым режимом. Данная проблема может быть решена за счет изменения жесткости подвешивания и использования кусочно-линейного или билинейного подвешивания, эффективность применения которого обоснована в работах **[3–5]**.

В качестве основных направлений улучшения динамических характеристик тележек для вагонов с малой массой рассматривались варианты исполнения тележек с линейной или билинейной характеристикой рессорного подвешивания **[10]** и различными типами скользунов, представленные в *табл. 1* и на *рис. 2*.

Геометрические характеристики вагона с малой массой:

- база вагона — 8,9 м;
- база тележки — 1,850 м;
- поперечное расстояние между центрами рессорных комплектов — 2,036 м;
- высота центра масс кузова порожнего вагона над уровнем плоскости подпятника — 0,26 м;
- высота центра масс кузова груженого вагона над уровнем плоскости подпятника — 1,90 м;
- диаметр колесных пар по кругу катания — 0,950 м.

Инерционные характеристики вагона с малой массой приведены в *табл. 2*. Характеристика упругого элемента в буксовом

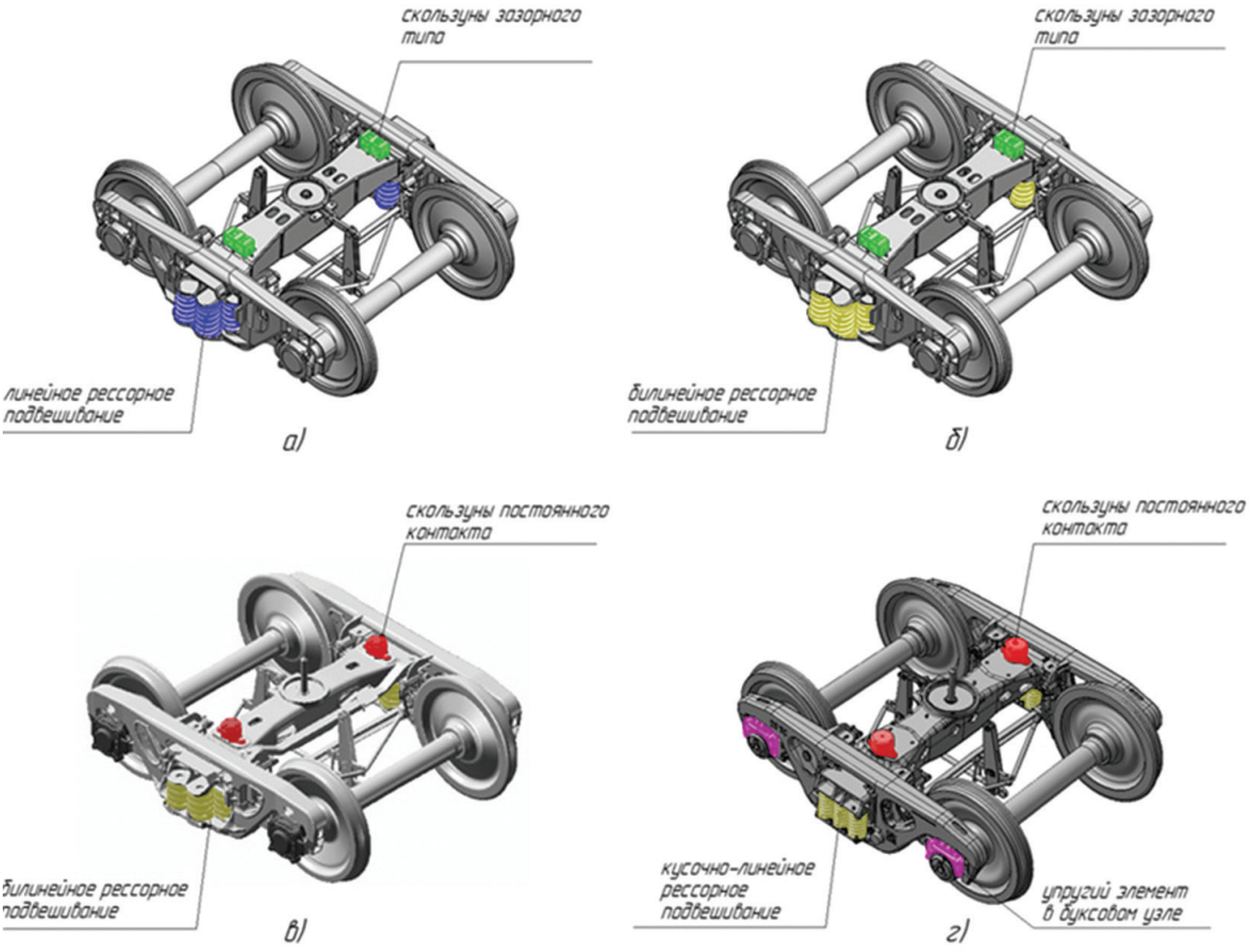


Рис. 2. Общий вид моделей тележек: *а* — вариант 1, *б* — 2, *в* — 3, *г* — 4

Таблица 2. Инерционные характеристики вагона с малой массой

Элемент вагона	Масса, кг	Главный центральный момент инерции для оси, кг · м²		
		продольной	поперечной	вертикальной
Кузов порожний	8210,00	4897,00	83326,00	81344,00
Кузов груженый	84000,00	172463,00	1741071,00	1747040,00

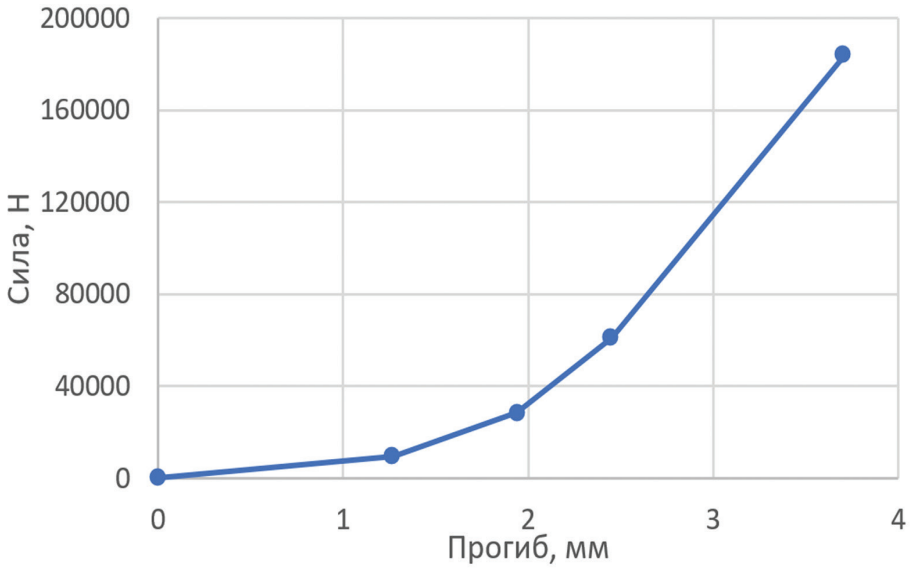


Рис. 3. Характеристика упругого элемента в буксовом узле в вертикальном направлении

узле в вертикальном направлении для тележки «вариант 4» представлена на *рис. 3.*

Расчеты показателей ходовых качеств проводились в программном комплексе «Универсальный механизм» (ПК «УМ») **[11]**. Модель грузового вагона в ПК «УМ» представляет собой систему из 23 абсолютно твердых тел, связанных между собой силовыми элементами: кузов, две надрессорные балки, четыре боковые рамы тележек, четыре колесные пары, четыре участка пути (шпалы, балласт) и восемь участков рельсов. Цифровая модель вагона представлена на *рис. 4.* Для цифровой модели вагона с малой массой тары на тележках с линейным рессорным подвешиванием и зазорными скользунами (вариант 1) использовалась базовая модель грузового вагона на тележках 18–100 из библиотеки ПК «УМ».

Цифровые модели вагонов для других вариантов тележек усовершенствованы. При разработке модели вагона на тележках «вариант 3» и «вариант 4» для описания связи «скользун постоянного контакта» использовался силовой элемент «спе-

Таблица 3. Максимальные значения показателей динамических качеств вагона на тележках вариантов 1–4

Наименование показателя	Значение								Допускаемое значение*
	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4		
	Порожний**	груженый	порожний	груженый	порожний	груженый	порожний	груженый	
Максимальный коэффициент динамической добавки необрессоренных частей:									Не более 0,98/0,90
прямая	0,92	0,75	0,80	0,20	0,81	0,23	0,80	0,28	
кривая R = 650 м	0,93	0,77	0,86	0,20	0,82	0,21	0,73	0,35	
кривая R = 350 м	0,88	0,78	0,73	0,19	0,60	0,20	0,69	0,30	
Максимальный коэффициент динамической добавки обрессоренных частей:									Не более 0,75/0,65
прямая	0,72	0,23	0,58	0,51	0,54	0,49	0,48	0,25	
кривая R = 650 м	**0,89**	0,27	0,75	0,52	0,70	0,49	0,50	0,31	
кривая R = 350 м	**0,90**	0,23	0,73	0,47	0,66	0,46	0,56	0,28	
Максимальное отношение рамной силы к статической осевой нагрузке:									Не более 0,4/0,38
прямая	0,22	0,24	0,20	0,27	0,17	0,19	0,16	0,25	
кривая R = 650 м	0,32	0,27	0,27	0,28	0,23	0,23	0,21	0,28	
кривая R = 350 м	0,19	0,19	0,17	0,14	0,19	0,21	0,15	0,20	
Минимальный коэффициент запаса устойчивости:									Не менее 1,3
прямая	**1,20**	1,78	1,87	1,91	1,90	2,77	2,39	1,74	
кривая R = 650 м	**1,00**	1,60	1,41	1,70	1,62	2,35	1,51	1,65	
кривая R = 350 м	**1,10**	1,94	**1,60**	1,72	1,50	**2,00**	**2,63**	1,94	

* В числителе — для порожнего, в знаменателе — для груженого вагона.

** Жирным шрифтом выделены значения, выходящие за допускаемые.

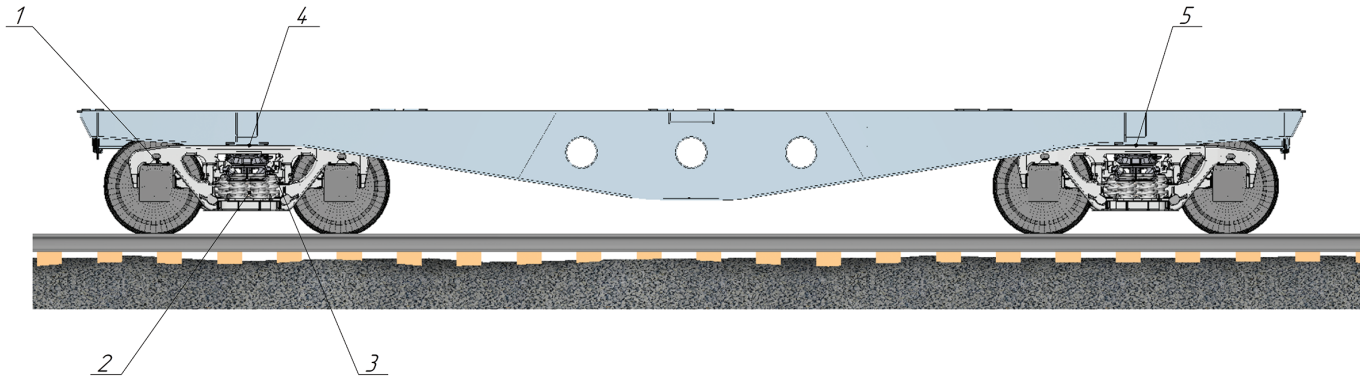


Рис. 4. Цифровая модель вагона с малой массой тары в ПК «УМ»: 1 — буксовый узел; 2 — рессорное подвешивание; 3 — фрикционный клин; 4 — скользун; 5 — место контакта пятник — подпятник

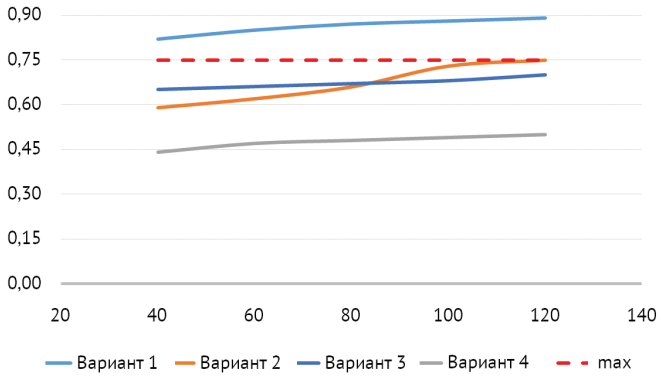


Рис. 5. Зависимость максимального коэффициента динамической добавки обрессоренных частей порожнего вагона от скорости движения на кривой радиусом 650 м

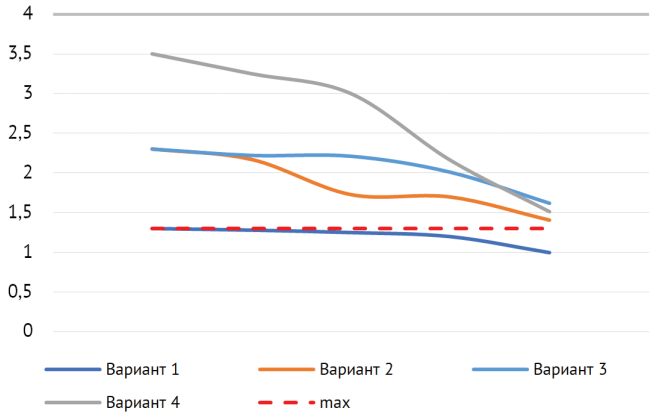
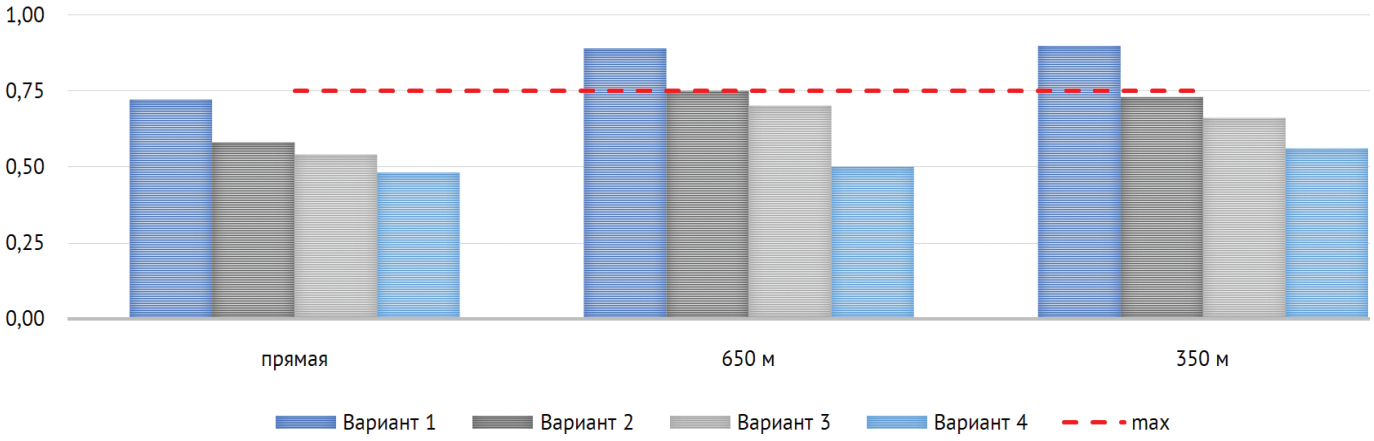


Рис. 6. Зависимость минимального коэффициента запаса устойчивости порожнего вагона от скорости движения на кривой радиусом 650 м

а



б

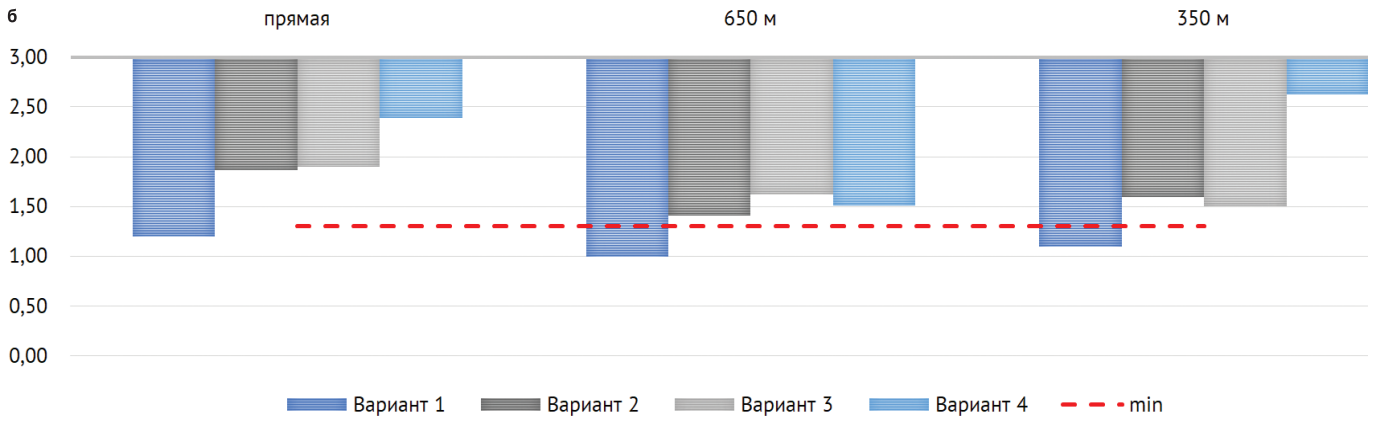


Рис. 7. Сравнение максимального коэффициента динамики обрессоренных частей (*а*) и минимального коэффициента запаса устойчивости (*б*)

циальная сила» типа «контактная сила». Для модели вагона на тележках «вариант 2, 3 и 4» связь «рессорное подвешивание» с помощью силового элемента «линейная сила» задавалась билинейной. В модели вагона на тележках «вариант 4» при описании связи в буксовом узле использовался силовой элемент «специальная сила» типа сайлент-блок.

Расчеты ходовых качеств проводились на прямом и криволинейных участках пути в порожнем и груженом режимах со скоростью движения до 120 км/ч на прямом участке пути и кривой радиусом 650 м, и до 85 км/ч на кривой радиусом 350 м. При этом определялись показатели динамических качеств в соответствии с ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам».

Максимальные значения показателей динамических качеств вагона на тележках вариантов 1–4 приведены в *табл. 3*. На *рис. 5* и *6* представлены графики зависимости коэффициента динамической добавки обрессоренных частей и коэффициента запаса устойчивости в порожнем режиме от скорости движения на кривой радиусом 650 м. Графики показателей коэффициента динамической добавки необрессоренных частей и отношения рамной силы к статической осевой нагрузке не представлены, так как значения удовлетворяют требованиям для всех вариантов.

Для анализа полученных данных сравниваются максимальный коэффициент динамики обрессоренных частей и минимальный коэффициент запаса устойчивости в порожнем режиме (*рис. 7*).

Для вагонов с малой массой тары ходовые части с линейным рессорным подвешиванием неприменимы, так как не позволяют обеспечить динамические качества. Проведенный анализ позволяет выделить основные направления совершенствования тележек для вагонов с малой массой тары: рессорное подвешивание с нелинейной характеристикой, скользуны постоянного контакта, наличие упругой связи в буксовом узле.

Скользуны постоянного контакта позволяют улучшить значения коэффициента динамики обрессоренных частей на 7 %, коэффициента динамики необрессоренных частей — на 5 %, отношения рамной силы к статической осевой нагрузке — на 15 %, коэффициента запаса устойчивости на — 15 % в порожнем режиме. Допустимо применение скользунов зазорного типа, так как динамические качества обеспечиваются и в данном случае.

Наличие упругой связи не является обязательным, но позволяет улучшить показатели динамических качеств: снизить максимальные значения коэффициента динамики обрессоренных частей, коэффициента динамики необрессоренных частей, отношения рамной силы к статической осевой нагрузке и повысить минимальный коэффициент запаса устойчивости в порожнем режиме.

По результатам проведенных расчетов АО «НВЦ «Вагоны» по заказу АО «РМ Рейл Инжиниринг» разработан проект новой тележки модели 18–1277–01 для вагонов с малой массой тары, а АО «Рузхиммаш» изготовлена новая платформа модели 13–1258–04 на тележках 18–1277–01 массой тары 18 т, грузоподъемностью 76 т, которая в декабре 2025 г. успешно прошла приемочные испытания.

На основании проведенных расчетов и испытаний рекомендуется внести изменения в ГОСТ 92462013 «Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия» в части введения нового типа тележек для вагонов с массой тары менее 21 т[1]. Т

Литература

1. Бороненко Ю. П., Филиппова И. О. Выбор конструктивных решений элементов вагонов с малой массой тары // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2017. № 3 (69). С. 121–129. DOI: 10.15802/stp2017/104546. EDN: YMSAGR.
2. Пигунов А. В., Пигунов В. В., Калюко О. В., Нагибина А. В. Снижение металлоемкости рамы платформы // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа — БелГУТа, в 2-х частях, 16–17 ноября 2023 г., Гомель. Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2023. С. 69–71. EDN: FEZQTQ.
3. Двухглавов В. А., Соколов М. М., Левков Г. Р., Корнильев Е. А. Исследование эффективности применения билинейного подвешивания и демпфирующих скользунов на двухосных тележках грузовых вагонов // Динамика вагонов: сборник научных трудов. Л., ЛИИЖТ, 1973. Вып. 363. С. 83–88.
4. Орлова А. М., Рудакова Е. А., Турутин И. В., Саидова А. В. Выбор конструкции первой ступени подвешивания трехэлементных тележек инновационных грузовых вагонов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. № 3(28). С. 88–99. EDN: ONCWPD.
5. Орлова А. М., Рудакова Е. А., Гусев А. В. Совершенствование рессорного подвешивания грузовых вагонов с учетом необходимости снижения воздействия на путь // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. Т. 15. № 1. С. 72–81. EDN: YVPQYQ.
6. Цыганская Л. В., Ставский А. Л., Морозова И. О., Коршунов В. С. Тележка с осевой нагрузкой 25 тс. Концепция уменьшения воздействия на рельсы и износ колес // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2022. № 4(60). С. 44–50. EDN: GLLSPL.
7. Коршунов В. С., Комиченко С. О. Упругая скоба буксового проема тележки грузового вагона. Особенности проведения испытаний и постановка на производство // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XVI Международной научно-технической конференции, 12–15 июля 2022 г., Санкт-Петербург, Россия. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. С. 171–172.
8. Чернов В. А., Цыганская Л. В., Бейн Д. Г. Влияние упругого элемента буксового узла на ресурс боковой рамы тележки с осевой нагрузкой 25 тс // Бюллетень результатов научных исследований. 2025. № 2. С. 57–68. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-2-57-68. EDN: LGTKNT.
9. Патент на полезную модель № 217366 U1 Российская Федерация. Буксовый узел тележки грузового вагона / А. Л. Ставский, А. А. Шмыгин, Ю. П. Бороненко и др. Опубл. 29.03.2023. EDN: WQISDO.
10. Хамраева Э., Бороненко Ю. П. Выбор конструктивных решений для тележки вагона с малой массой тары // Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ: тезисы докладов VI научно-технического семинара, 9–13 сентября 2024 г., Брянск. Брянск: Брянский государственный технический университет, 2024. С. 27–31. EDN: CAPRXS.
11. Универсальный механизм. Программы, руководство пользователя, презентации. URL: http://www.universalmechanism.com/pages/index.php?id=3 (дата обращения: 03.03.2026).

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

УДК 625.7/.8

Экологические риски влияния дорожного шума от транспортных потоков



А. В. Кочетков,
д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), профессор кафедры «Мосты, тоннели и строительные конструкции» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета,



А. М. Щелудяков,
канд. техн. наук, директор Института дорожного строительства и транспорта ПНИПУ

Транспортный шум — один из опасных факторов, вредящих среде обитания и здоровью человека. Громкий звук является общебиологическим раздражителем, который негативно влияет не только на органы слуха, но и на весь человеческий организм в целом, вызывая развитие хронических заболеваний сердца, сосудов, нервной системы, других органов и систем.

Настоящая работа продолжает исследования, выполненные под руководством А. В. Кочеткова при разработке ГОСТ 32957-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Акустические экраны. Технические требования» и ГОСТ 32958-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Акустические экраны. Методы контроля», устанавливающих минимальные технические требования к акустическим экранам на всех этапах жизненного цикла, а также порядок оценки соответствия **[1, 2]**.

Объект стандартизации — акустические экраны вдоль автомобильных дорог общего пользования. Их широкое применение для защиты от транспортного шума (ТШ) ограничено отсутствием методов контроля их эффективности непосредственно на месте установки, что затрудняет получение сопоставимых результатов, ведет к разногласиям между поставщиком и потребителем и не позволяет контролировать характеристики в эксплуатации.

При разработке стандартов учтены положения ГОСТ Р 52767–2007 «Элементы обустройства. Методы определения параметров», а также ГОСТ Р 51943–2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта». В стандарте использованы единые с ИСО 10847 методы измерения, что позволяет считать стандарт гармонизированным с международным.

Надежность стандартов обеспечивается подтверждением соответствия техническому регламенту Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог». При выборе формы подтверждения соответствия учитываются **[3]**: степень опасности строительных материалов и конструкций экранов на определенных стадиях их жизненного цикла; чувствительность показателей безопасности к изменению условий; совокупный риск от недостоверной оценки соответствия или ущерба от применения продукции.

Проектная документация свидетельствует о соответствии регламенту. Требования к акустической эффективности могут быть ужесточены с учетом национальных стандартов.

Транспортный шум и здоровье человека

Влияние транспортного шума на здоровье человека — важная тема исследований **[3]**. Превышение нормативных уровней шума, особенно вблизи магистралей, оказывает комплексное негативное влияние на состояние людей. Дорожный шум вызывает стресс, нарушения сна, повышает риск сердечно-сосудистых заболеваний и инсультов **[4]**. Уровни шума свыше 50 дБ — существенный фактор риска для их развития. Исследования показывают, что длительное воздействие ТШ и загрязнения воздуха связано с высоким риском гипертензии и клапанных заболеваний сердца **[5]**. Постоянный шум повышает уровень гормонов стресса, способствуя развитию воспалительных процессов, ишемической болезни сердца, бессонницы, а также негативно влияет на нервную систему, особенно у детей и пожилых людей **[6]**.

Исследования подтверждают и особое влияние шума на организм подростков **[7, 8]**. В подростковом возрасте происходит физиологическое развитие, на которое влияют гормональный фон и функционирование циркадных ритмов. Шум способствует сбою в этих биологических часах, усложняя засыпание и под-

держание спокойного сна. Совместное воздействие шума и загрязнения воздуха усиливает негативное влияние на когнитивное развитие и психическое здоровье. Круглосуточный ТШ ухудшает слуховую обработку речи в шумных условиях.

В исследовании **[9]**, изучающем влияние шума на познавательные способности школьников, использовались измерения уровней наружного ТШ вблизи школ, расположенных рядом с дорогами, с помощью шумомера Kimo dB300. Опрос 1524 школьников выявил три латентных фактора: раздражение, поведение и когниция. Раздражение оказывает сильное негативное воздействие на когнитивные функции, влияя на обучение и концентрацию. Положительная корреляция между раздражением и поведением свидетельствует о взаимосвязи восприятия шума и поведения детей.

Транспортный шум создает экологические угрозы для когнитивного здоровья пожилых людей **[10, 11]**. Повышенные уровни шума связаны с раздражением, нарушениями сна, повышением артериального давления, ухудшением когнитивных функций и снижением качества жизни.

Риск развития деменции или когнитивных нарушений выше у лиц, подвергавшихся воздействию высокого уровня шума (>>65 дБ). Совместное воздействие шума и загрязнения воздуха увеличивает вероятность развития стресса и сердечно-сосудистых заболеваний. Когортное исследование Британского биобанка **[12]** указывает на значительное влияние долговременного ТШ как потенциального риска развития деменции, нейродегенеративных заболеваний, в частности, болезни Альцгеймера, что частично объясняется воздействием шума на сердечно-сосудистую систему.

Исследование **[13]** выявило линейную зависимость между воздействием дорожного шума свыше 50 дБ на увеличение риска сердечной недостаточности. Шум 35–40 дБ ночью вызывает раздражительность, 45 дБ — бессонницу, что негативно влияет на общее состояние и работоспособность, а свыше 70 дБ, характерный для интенсивного дорожного движения, несет в себе риск нейросенсорной тугоухости или постепенной потери слуха.

Исследование **[14]** показывает, что длительное воздействие ТШ влияет на метаболическое здоровье, увеличивая жировые отложения и содержание жира в печени даже при уровнях ниже санитарных норм (53 дБ). Анализ данных более 11 тыс. участников с помощью МРТ показал, что уровень шума, исходящий от дорожного движения, прямо связан с увеличением масштабов жировых депо и содержания жира в печени. Стрессовые реакции организма активируют гормональные изменения, которые способствуют перераспределению жира в организме, повышая риск ожирения, диабета и гипертонии.

Городская морфология напрямую влияет на уровень ТШ и, соответственно, здоровье горожан. В основе работы **[3]** — моделирование уровней шума в различных типах городских территорий, а также оценка их влияния на здоровье с использованием показателя DALY (лет жизни с поправкой на инвалидность). Объекты с закрытыми дворами и периметральные кварталы с высокой эффективностью в шумоизоляции являются предпочтительными в плане снижения негативного воздействия транспорта. Исследование **[15]** подчеркивает важность борьбы с ТШ на уровне градостроительного планирования.

Транспортный шум — значимый фактор риска инсульта **[1]**. Это связано с биологическими механизмами, такими как стрессогенез, активация симпатической нервной системы и воспалительные реакции. Совместное воздействие ТШ и загрязнения воздуха увеличивает риск инсульта сильнее, чем каждый фактор по отдельности, особенно в шумных районах (~80 дБ).

Высокий уровень ТШ увеличивает риск острых психических расстройств или обостряет их течение. Повышение дневного шума значимо связано с увеличением госпитализаций в психиатрические отделения **[16]**. При этом добавляющееся к шуму загрязнение воздуха от транспорта вызывает физиологические симптомы — затрудненное дыхание, головные боли, общую усталость, способствующие тревоге и депрессии.

Таким образом, основные аспекты воздействия ТШ включают **[2]**:

Раздражение и нарушение сна — вызывают усталость, стресс, ухудшение иммунитета.

Заболевания сердечно-сосудистой системы — по модели ВОЗ воздействие шума повышает риск ишемической болезни сердца, так как повышается уровень кортикостероидов, а функции сосудов ухудшаются. Соблюдение рекомендаций ВОЗ по уровню шума (не выше 53 дБ Lden) могло бы предотвратить около 3600 смертей от ИБС ежегодно **[17]**.

Влияние на психическое здоровье — шведское когортное исследование **[18]** показало, что увеличение уровня шума (Lden) на 10 дБ связано с ростом риска обращения за антидепрессантами у женщин примерно на 6%. Аналогичные закономерности отмечались при учете загрязнения воздуха (PM2.5, PM10, NOx). Механизм этого воздействия — стрессовая реакция организма, которая может инициировать или усугублять симптомы депрессии и других психических заболеваний.

Мероприятия по снижению влияния шума от транспортного потока

Контроль ТШ — важный аспект экологической безопасности и защиты здоровья населения. Предлагается использовать менее шумные материалы для дорожных устройств, размещать их вне жилых зон, разрабатывать стратегии снижения шума, включая звукоизоляционные барьеры и ужесточение нормативов. Природные барьеры (лесопосадки) и грамотное градостроительство также способствуют снижению шума.

Необходимо внедрение шумопоглощающих технологий (асфальтобетонные покрытия с шумопоглощающими слоями, малошумные шины). Также требуются законодательные ограничения и регулирование, направленные на снижение уровня шума в городских районах.

Электромобили не имеют шумного двигателя и выхлопной системы, поэтому их шумовой след заметно ниже при низкой и средней скорости **[19]**. На городских улицах электромобили уменьшают уровень дорожного шума более чем на 50% по сравнению с автомобилями с двигателями внутреннего сгорания. В среднем переход на электромобили может снизить уровень шума в городах на 3–4 дБ и, соответственно, риски для здоровья.

Постоянный или интенсивный шум дорожного движения выступает в роли экологического стресса, уменьшая эффективность природных антагонистов — зеленых зон **[20]**. Между тем в условиях быстрой урбанизации и высокой плотности городов, где уровень транспортного шума увеличивается, одновременно сокращается количество зеленых зон — природных пространств, которые способствуют снижению стресса и восстановлению психики **[21]**. Зеленые зоны, такие как парки и скверы, представляют собой важный ресурс для психологического восстановления

и снижения стресса в повседневной жизни.

Важно создавать шумозащитные меры в зеленых зонах и городских пространствах для поддержания психофизиологического здоровья. В городском планировании нужно учитывать не только наличие зеленых зон, но и обеспечение их тихим, спокойным режимом, так как шум дорожных потоков вызывает психологический дискомфорт, который проявляется в снижении готовности к прогулкам, сказывается на ощущении безопасности, расслабления и общей комфортности пребывания на улицах.

Особенно уязвимы пешеходные зоны, расположенные рядом с автомобильными дорогами. В условиях пандемии COVID-19 наблюдалось изменение восприятия шума. В результате карантинных мер после пандемии **[22]** уровень дорожного шума в городах временно снизился, что привело к изменениям в восприятии города: жители стали более чувствительными и предпочитали тишину, высказав увеличение готовности платить за меньший шум (на 10%), а арендные цены на жилье с меньшим уровнем шума снизились на 3,8% сразу после пандемии и еще на 12,7% в последующий год.

Согласно нормативам в России, допустимые уровни шума в жилых помещениях установлены разными документами, в том числе ГОСТ, федеральным законом и санитарно-эпидемиологическими правилами (СанПиН). При этом многие регионы Российской Федерации особенно заботятся о тишине, так, например, в Пермском крае действует «Закон о тишине», который ограничивает воздействие шума на людей в ночное время (с 22:00 до 07:00 в будние дни, до 09:00 в выходные дни) и дневное (с 13:00 до 15:00).

Постоянный мониторинг, проведение экологических исследований и анализ существующих рисков необходим для разработки и реализации направлений улучшения экологической ситуации в городах с целью снижения негативного воздействия на жителей.

Необходимо проведение дополнительных исследований по реакции физиологии человека на шумовой фактор и соответствующая корректировка существующих норм. Также следует разрабатывать новые методы снижения шума в жилых помещениях, образовательных организациях, общественных пространствах и других объектах инфраструктуры для охраны здоровья населения.

Соблюдение экологических норм по содержанию вредных веществ в отработавших газах транспортных средств должно одномоментно развиваться с направлениями шумового мониторинга.

Заключение

Таким образом, необходимо внедрять шумозащитные барьеры и разрабатывать инфраструктуру с учетом акустического комфорта, составлять правила застройки, обеспечивающие достаточную дистанцию жилых зданий от автомобильных магистралей.

Стратегии городского планирования, такие как размещение спальных зон на тихой стороне зданий, ограничение скорости транспорта, создание зеленых зон и звукоизоляция зданий могут существенно уменьшить негативное влияние дорожного шума на здоровье.

Переход на электромобили является эффективной мерой для снижения шума транспортных потоков на городских улицах и тем самым улучшает состояние здоровья населения, снижая риски, связанные с шумовым загрязнением. Максимальный эффект достигается при снижении скорости движения и увеличении доли тяжелых электромобилей.

Грамотное планирование городской среды с учетом особенностей морфологии и использования зелени может значительно снизить уровень ТШ внутри жилых комплексов, уменьшить раздражение, нарушение сна и развитие заболеваний, связанных с шумовым стрессом.

Контроль за уровнем транспортного шума необходимо вносить в стратегию профилактики хронических заболеваний и улучшения экологической среды в городах. Т

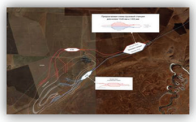
Литература

1. Huyen Nguyen Thi Khanh, Massimo Stafoggia, Mette Sørensen et al. Exploring the interaction between ambient air pollution and road traffic noise on stroke incidence in ten Nordic cohorts // Environment International. 2025. Vol. 198. P. 109403. DOI: 10.1016/j.envint.2025.109403.
2. Flanagan E., Mattisson K., Oudin A. et al. Health impact assessment of exposure to road traffic noise and air pollution according to pre- and post-densification scenarios in Helsingborg, Sweden // City and Environment Interactions. 2024. Vol. 24. P. 100176. DOI: 10.1016/j.cacint.2024.100176.
3. Forssén J., Gustafson A., Pont M. B. et al. Effects of urban morphology on traffic noise: A parameter study including indirect noise exposure and estimated health impact // Applied Acoustics. 2022. Vol. 186. P. 108436. DOI: 10.1016/j.apacoust.2021.108436.
4. Minkin M., Woodland L., Williams O. A. et al. Revisiting the association between transportation noise and heart disease reported in the World Health Organization Environmental Noise Guidelines for the European Region: a systematic review and meta-analysis // Environment International. 2025. Vol. 202. P. 109667. DOI: 10.1016/j.envint.2025.109667.
5. Yanjun Song, Zhangyu Lin, Zhen'ge Chang et al. Air pollutants, road traffic noise, and incidence of valvular heart disease: A UK Biobank-based prospective study // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2025. Vol. 304. P. 119104. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2025.119104.
6. Allaouat S., Yli-Tuomi T., Tiittanen P. et al. Long-term exposures to low concentrations of source-specific air pollution, road-traffic noise, and systemic inflammation and cardiovascular disease biomarkers // Environmental Research. 2024. Vol. 262. P. 119846. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119846.
7. Sandoval-Diez N., Vienneau D., Röösli M. Adolescent sleep disturbances and road traffic noise: a Swiss cohort study // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2025. Vol. 270. P. 114681. DOI: 10.1016/j.ijheh.2025.114681.
8. Thompson R., Stewart G., Vu T. et al. Air pollution, traffic noise, mental health, and cognitive development: A multi-exposure longitudinal study of London adolescents in the SCAMP cohort // Environment International. 2024. Vol. 191. P. 108963. DOI: 10.1016/j.envint.2024.108963.
9. Shukla A., Tandel B. N. Association of road traffic noise exposure and school childrens' cognition: A structural equation model approach // Environmental Research. 2024. Vol. 240. P. 117388. DOI: 10.1016/j.envres.2023.117388.
10. Yu Yu, Jason Su, Jerrett M. et al. Air pollution and traffic noise interact to affect cognitive health in older Mexican Americans // Environment International. 2023. Vol. 173. P. 107810. DOI: 10.1016/j.envint.2023.107810.
11. Zhuangxiu Xie, Xiaodong Lu, Wei Zhang et al. Evaluation of traffic noise pollution in elderly neighbourhoods and identification of priority intervention spatial

characteristics // Sustainable Cities and Society. 2025. Vol. 128. P. 106478. DOI: 10.1016/j.scs.2025.106478.
12. Havyarimana E., Gong X., Jephcote C. et al. Residential exposure to road and railway traffic noise and incidence of dementia: The UK Biobank cohort study // Environmental Research. 2025. Vol. 279. P. 121787. DOI: 10.1016/j.envres.2025.121787.
13. Mingliang Liu, Xia Chen, Guangjun Zheng et al. Association between road traffic noise exposure and heart failure: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies // Public Health. 2025. Vol. 241. P. 107–114. DOI: 10.1016/j.puhe.2025.01.029.
14. Niedermayer F., Rospleszcz S., Matthiessen C. et al. Associations of road traffic noise with adipose tissue depots and hepatic fat content — Results from the German National Cohort (NAKO) // Environment International. 2025. Vol. 201. P. 109566. DOI: 10.1016/j.envint.2025.109566.
15. Pin Wang, Haipei Xiang, Mengdi Guo et al. Indoor and roadside exposures to traffic noise and cardiovascular mortality and the role of urban environmental stressors across a high-rise, high-density environment: A case study in Hong Kong // Building and Environment. 2023. Vol. 229. P. 109945. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109945.
16. Gómez González L., Linares C., Díaz J. et al. Short-term impact of noise, other air pollutants and meteorological factors on emergency hospital mental health admissions in the Madrid region // Environmental Research. 2023. Vol. 224. P. 115505. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115505.
17. Khomenko S., Cirach M., Barrera-Gómez J. et al. Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment // Environment International. 2022. Vol. 162. P. 107160. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107160.
18. Sai San Moon Lu, Ekbäck E., Sommar J. N. et al. Long-term exposure to air pollution and road traffic noise in relation to dispensed antidepressant medications: A Swedish cohort study // Environmental Research. 2025. Vol. 285. P. 122435. DOI: 10.1016/j.envres.2025.122435.
19. Selamat F. E., Tagusari J. Assessing health risk reduction from road traffic noise: The impact of vehicle composition and traffic speed in the transition to electric vehicles — A prediction in Sapporo City, Japan // Hygiene and Environmental Health Advances. 2025. Vol. 14. P. 100125. DOI: 10.1016/j.heha.2025.100125.
20. Schaupp J., Schäffer B., Wunderli J.-M. et al. Psychophysiological effects of walking in forests and urban built environments with disparate road traffic noise exposure: A randomized controlled trial // Journal of Environmental Psychology. 2025. Vol. 105. P. 102662. DOI: 10.1016/j.jenvp.2025.102662.
21. García-Martín M., Kolecka N., Hunziker M. et al. The role of greenness and road traffic noise for psychological restoration in everyday environments. A participatory mapping approach // Landscape and Urban Planning. 2025. Vol. 259. P. 105339. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2025.105339.
22. Yao-pei Wang, Yong Tu, Yi Fan. The price of quietness: How a pandemic affects city dwellers' response to road traffic noise // Sustainable Cities and Society. 2023. Vol. 99. P. 104882. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104882.

Общероссийская общественная организация
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

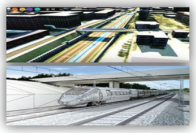
Основные направления деятельности


Разработка концепций, технико-экономических обоснований строительства объектов транспортной инфраструктуры


Проведение комплексных научно-исследовательских работ


Научно-техническая, экспертная и методическая поддержка проектов строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры


Разработка предложений по повышению перерабатывающей способности станций, разработка имитационной модели


Разработка нормативно-технических документов и научно-технических обоснований (СП, ГОСТ, НТО, СТО)


Разработка комплексных схем организации улично-дорожной сети


Разработка схем транспортного планирования и комплексных планов развития транспортной инфраструктуры регионов

www.rosacademtrans.ru info@rosacademtrans.ru

УДК 665.73 (076.5)

Повышение эффективности функционирования городского общественного транспорта на основе централизованного управления рассредоточенными производствами



Е. В. Феклин,
канд. экон. наук, доцент кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» Института машиностроения, материаловедения и транспорта Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

Городской пассажирский транспорт общего пользования является ключевой транспортной системой, осуществляющей массовые пассажирские перевозки и обеспечивающей удовлетворение ежедневных транспортных потребностей населения. Наличие развитой и эффективно функционирующей системы городского пассажирского транспорта — одно из необходимых условий динамичного развития городской территории.

Обеспечение исправного состояния подвижного состава, осуществляющего перевозку городского населения, базируется на принципах планово-предупредительной стратегии, определяемой системно в рамках технической эксплуатации автотранспортных средств (АТС). При этом, исходя из высокого уровня эксплуатационных затрат, особую значимость приобретают методы и средства, направленные на повышение эффективности технической эксплуатации подвижного состава. Эффективность обеспечивается реализацией комплекса мероприятий, направленных как на повышение качества работ по техническому обслуживанию и ремонту АТС, так и на снижение удельных затрат на их выполнение.

Качество указанных видов работ определяется укомплектованностью производственно-технической базы производственными помещениями, сооружениями, необходимым оборудованием и квалифицированным персоналом. Эффективность функционирования производственных структур во многом определяется уровнем загруженности производственных мощностей, условиями для эффективного внедрения высокопроизводительного оборудования и передовых методов организации производства, обеспечением необходимого уровня его специализации и концентрации.

Децентрализация организационных и производственных процессов, произошедшая в рамках городских транспортных систем за последние десятилетия, привела к снижению уровня загруженности производственных мощностей и эффективности их функционирования. Сложилась ситуация, характеризуемая неполной загруженностью производственно-технической базы крупных комплексных автотранспортных предприятий (АТП) при наличии предприятий средней и малой мощности, не обеспечивающих условия экономической целесообразности содержания собственной производственной базы. Их технологические потребности удовлетворяются сервисными предприятиями в рамках установленных договорных отношений.

Сложившуюся ситуацию можно охарактеризовать как комплексное взаимодействие совокупности рассредоточенных перевозчиков (потребителей услуг сервиса) с совокупностью рассредоточенных производств, функционирующих в рамках производственно-технической базы сервисных предприятий.

В отсутствие централизованного управления указанное взаимодействие, как правило, носит стихийный характер

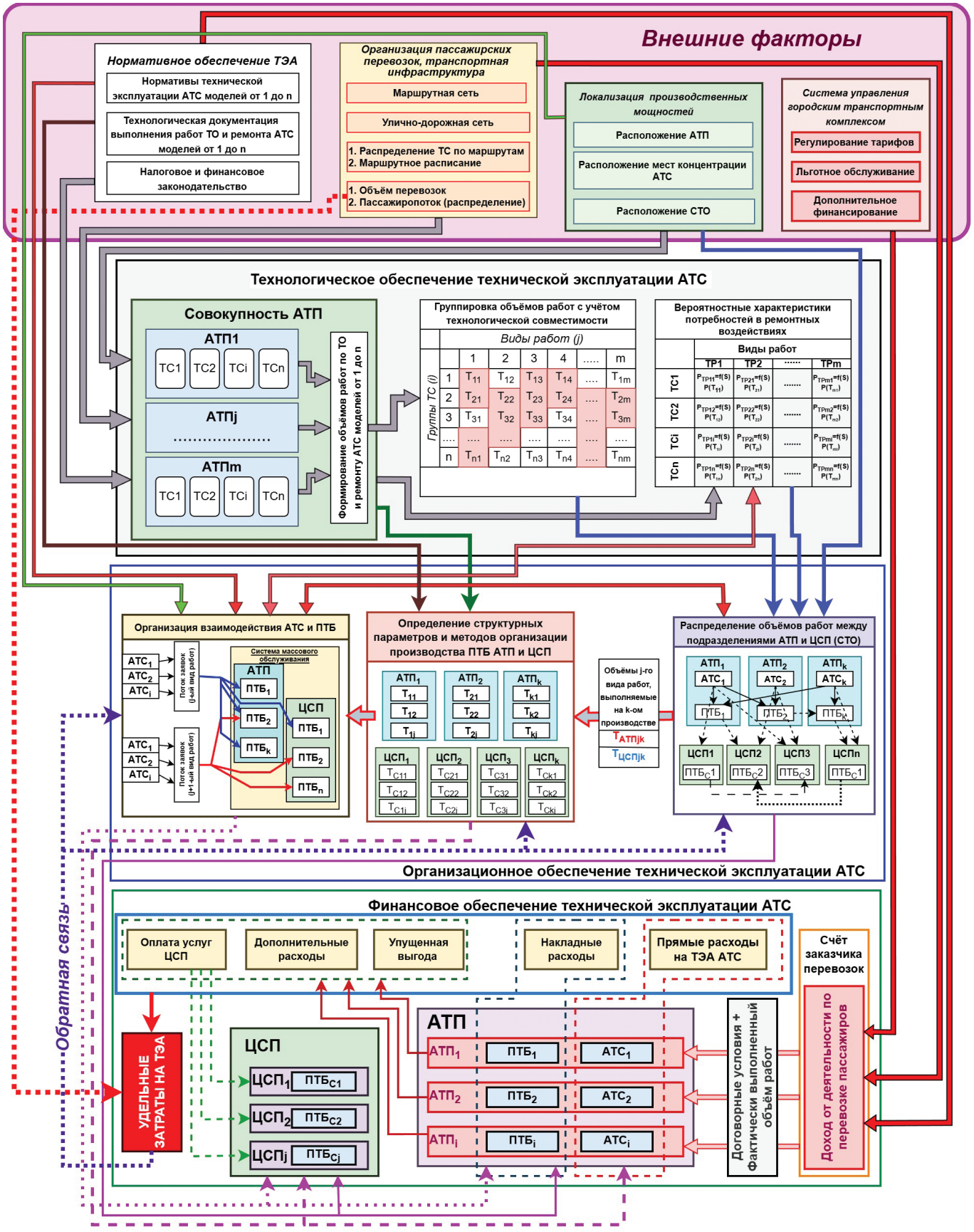


Рис. 1. Схема многоуровневого взаимодействия хозяйствующих субъектов, обеспечивающих техническую эксплуатацию автотранспортных средств

и не обеспечивает полного раскрытия потенциала системы.

Исходя из сложившейся ситуации, определена научная и прикладная задача исследования, предполагающая формирование на базе разрозненных, рассредоточенных производств централизованной системы, обеспечивающей формирование их обоснованных структурных параметров и организующей их эффективное взаимодействие как с заказчиком, так и между собой.

Эффективность технической эксплуатации определяется сбалансированностью объемов работ, выполнение

которых необходимо для поддержания АТС в исправном состоянии, и производственных мощностей, их обеспечивающих. При этом под сбалансированностью понимается одновременное выполнение условий минимизации простоев как обслуживаемых АТС, так и производственных мощностей.

Децентрализация сферы эксплуатации пассажирских транспортных средств, произошедшая в период становления рыночной экономики, послужила причиной возникновения ряда фундаментальных проблем. Как уже отмечалось, для сохранившихся до наших дней пассажирских АТП характерен дисбаланс между численностью подвижного состава и потенциальной производительностью производственно-технической базы, загруженной не в полном объеме.

В то же время развитие предпринимательства, как элемента рыночной экономики, привело к формированию мелких транспортных предприятий с неразвитой или отсутствующей производственно-технической базой, к организации автосервисных предприятий различной мощности и специализации, находящихся в состоянии конкуренции и обычно не связанных между собой устойчивыми производственно-технологическими связями.

При этом существующая нормативно-правовая база, определяющая принципы формирования и функционирования городских пассажирских транспортных систем, имеет выраженный централизованный характер построения и управления. В этой связи отсутствие единых технологических подходов, а также организационных и методических основ, обеспечивающих эффективное взаимодействие хозяйствующих субъектов, осуществляющих свою деятельность в рамках городской пассажирской транспортной системы, является одной из ключевых причин недостаточно высокой эффективности технической эксплуатации АТС и, как следствие, транспортной системы в целом.

Исходя из обозначенной проблемы, сформулирована цель проведенного исследования — повышение эффективности технической эксплуатации подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП) на основе формирования централизованной системы управления рассредоточенными производствами.

На начальном этапе выполнен обзор литературы в сфере проектирования производственно-технической базы предприятий автомобильного транспорта в области многофакторной кластеризации и многофакторного анализа, а также литературных источников по практическому применению положений теории массового обслуживания.

Основным нормативным документом, определяющим ключевые методические подходы к решению задачи определения базовых проектных параметров производственно-технической базы автотранспортных предприятий, является ОНТП-01–91 (РД 3107938–0176–91) «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта». Документ утвержден более 30 лет назад, и некоторые его теоретические положения, расчетные коэффициенты и справочный материал устарели. Данная проблема известна, существует обширный перечень научных работ, направленных на обновление и актуализацию справочного материала и методических подходов в области проектирования производственно-технической базы. К их числу относятся труды В. М. Власова, Д. А. Дрючина, Е. С. Кузнецова, Н. А. Ляпина, Г. М. Напольского, Н. Н. Якунина и др. **[1–6]**.

Влияние масштаба рассматриваемой системы на экономические показатели производства рассмотрено в фундаментальных трудах основоположников классической политической экономии Адама Смита и Девида Рикардо, а также в более поздних работах Э. Хекшера и Б. Олина. Среди современных исследователей вопросами кластеризации и масштабирования многоуровневых систем занимались А. Г. Гранберг, О. М. Трофимова, И. Д. Мандель, С. А. Теслова и др. **[7–9]**.

В большинстве научных трудов по данному направлению отмечено, что кластерный анализ производственных мощностей и создание на его основе производственных кластеров является инновационной формой модернизации национальной экономики, повышает уровень взаимодействия, а также сетевые связи между малыми и крупными организациями и предприятиями. Создание кластера производственных мощностей, обеспечивающих выполнение комплекса работ по поддержанию АТС системы ГПТОП в исправном состоянии, является одной из задач, решаемых в процессе проведения данного исследования.

Исходя из характера задач технической эксплуатации АТС, выполняемых в условиях функционирования рассредоточенной производственно-технической базы, важнейшим фактором выступает взаимодействие подвижного состава с производственными подразделениями, являющееся комбинацией совокупности процессов, ряд из которых носит вероятностный характер. То есть взаимодействие АТС с подразделениями производственно-технической базы можно рассматривать как систему массового обслуживания, что позволяет применить соответствующие методические подходы и теоретические разработки.

Научный базис теории массового обслуживания заложен в трудах его основоположников А. К. Эрланга, А. Я. Хинчина, А. Н. Колмогорова и является основой для современных исследований, результаты которых опубликованы в работах В. Ф. Матвеева, В. Г. Ушакова, С. А. Олейниковой, В. Н. Цыгана, А. Хемди и других авторов **[10–12]**. Результаты выполненного обзора позволяют заключить, что известные методы оптимизации структурных параметров и организационно-технологических схем функционирования систем массового обслуживания могут быть применены для повышения эффективности технической эксплуатации АТС в рамках системы ГПТОП.

Эффективность технической эксплуатации АТС определяется взаимодействием хозяйствующих субъектов, формируемым на трех взаимосвязанных системных уровнях производственной деятельности: технологическом, организационном и экономическом. В качестве критерия экономической эффективности функционирования ГПТОП целесообразно принять величину средней себестоимости перевозки одного пассажира. Формула для расчета численного значения данного показателя имеет вид:

$$C_{\text{ПП}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (C_{S1i} S_i)}{\text{ОП}_{\Sigma}}, \qquad (1)$$

где C_{S1i} — себестоимость 1 км пробега АТС i-й категории на маршруте, руб./км;

S_i — годовой пробег АТС i-й категории, обслуживающих маршруты городского пассажирского транспорта общего пользования, км;

ОП_{Σ} — суммарный годовой объем перевозок, осуществляемый на всей совокупности маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования, пас.

Численное значение данного показателя зависит от совокупных затрат предприятий, обеспечивающих выполнение всей совокупности работ в рамках технической эксплуатации АТС. Анализ

учитываемых затратных статей позволил выявить затраты, непосредственно определяемые технической эксплуатацией транспортных средств. К их числу относятся расходы:

- на оплату труда ремонтных рабочих, выполняющих работы по техобслуживанию (ТО) и ремонту АТС ($З_1$);
- запчасти и материалы ($З_2$);
- приобретение смазочных и прочих эксплуатационных материалов ($З_3$);
- восстановление и замену шин ($З_4$);
- общепроизводственные ($З_5$);
- ремонт и восстановление основных средств основного производства ($З_6$);
- страхование ($З_7$);
- обеспечение нормальных условий труда ($З_8$);
- хранение АТС ($З_9$);
- пробег АТС к местам проведения ТО и ремонта ($З_{10}$);
- недополученные доходы, связанные с простоем АТС в ТО и ремонте ($З_{11}$).

Совокупность обозначенных затратных статей, производимых в рамках системы городского пассажирского транспорта, предлагается объединить под обобщенным термином «Затраты на обеспечение технической эксплуатации автотранспортных (ТЭА) средств» (ЗΣТЭА). В качестве критерия эффективности технической эксплуатации АТС целесообразно использовать показатель «Средние удельные затраты на техническую эксплуатацию автотранспортных средств, приходящихся на одного пассажира». Обобщенное выражение для расчета данного показателя имеет вид:

$$З_{\text{ТЭА}1} = \frac{\sum_{i=1}^{n} З_{\Sigma\text{ТЭА}i}}{\text{ОП}_{\Sigma}}, \qquad (2)$$

где $З_{\Sigma\text{ТЭА}i}$ — суммарные затраты на техническую эксплуатацию АТС ОГПТ, производимые *i*-м хозяйствующим субъектом, руб.;

n — количество хозяйствующих субъектов, обеспечивающих выполнение работ в рамках технической эксплуатации ГПТОП.

Ограничением к практической реализации предложенных мероприятий являются условия обеспечения приемлемого срока окупаемости инвестиций, установленного в отношении как системы в целом, так и отдельных инвесторов. Исходя из предложенного критерия эффективности и установленных ограничений, определена целевая функция.

Реализация мероприятий, направленных на повышение эффективности технической эксплуатации АТС, связана с изменением следующих факторов:

- количества хозяйствующих субъектов, осуществляющих свою деятельность в рамках рассматриваемой системы;
- распределения видов и объемов работ между хозяйствующими субъектами;
- организационно-технологического взаимодействия хозяйствующих субъектов;
- финансового взаимодействия хозяйствующих субъектов.

$$\begin{cases} З_{\text{ТЭА}1}^{\text{ПОСЛЕ}} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} З_{\Sigma\text{ТЭА}i}}{\text{ОП}_{\Sigma}} \to MIN \\ \Delta Э_{\text{ТЭА}i} = П_{\text{ТЭА}i}^{\text{ПОСЛЕ}} - П_{\text{ТЭА}i}^{\text{ДО}} > 0 \\ \text{Т}_{\text{ОК}i} = \dfrac{\text{К}_i}{\Delta Э_{\text{ТЭА}i}} \le \text{Т}_{\text{ОК.Н}} \\ \text{Т}_{\text{ОК}\Sigma} = \dfrac{\text{К}_{\Sigma}}{\Delta Э_{\text{ТЭА}\Sigma}} \le \text{Т}_{\text{ОК.Н}} \end{cases}, \qquad (3)$$

где $\Delta Э_{\text{ТЭА}i}$ — годовой экономический эффект, получаемый *i*-м хозяйствующим субъектом по результатам реализации предложенных мероприятий, руб.;

$П_{\text{ТЭА}i}^{\text{ДО}}$ и $П_{\text{ТЭА}i}^{\text{ПОСЛЕ}}$ — годовая прибыль *i*-го хозяйствующего субъекта до и после реализации мероприятий соответственно, руб.;

$\text{Т}_{\text{ОК}i}$ — срок окупаемости инвестиций, производимых *i*-ым хозяйствующим субъектом (инвестором), лет;

K_i — объем инвестиций, производимых *i*-м хозяйствующим субъектом (инвестором), руб.;

$\text{Т}_{\text{ОК.Н}}$ — нормативный срок окупаемости инвестиций, лет;

$\text{Т}_{\text{ОК}\Sigma}$ — срок окупаемости суммарных инвестиций, лет;

К_{Σ} — суммарный объем инвестиций, производимых в рамках ГПТ, руб.;

$\Delta Э_{\text{ТЭА}\Sigma}$ — суммарный годовой экономический эффект, получаемый в рамках ГПТ, руб.

Исходя из обозначенного подхода, разработана схема многоуровневого взаимодействия хозяйствующих субъектов, обеспечивающих техническую эксплуатацию АТС (*рис. 1*).

Концепцией исследования предусмотрено определение параметров структурного построения и организационно-технологического взаимодействия подразделений распределенной производственно-технической базы ГПТОП, обеспечивающих минимальное значение удельных затрат на ТЭА (отнесенных на одного пассажира) при заданных параметрах внешней среды. Данная концепция реализована на основе комплексной методологии, включающей в себя методические блоки, определяющие оптимальные параметры структурного построения и взаимодействия подразделений распределенной производственно-технической базы на каждом из рассматриваемых уровней.

На технологическом уровне возможность централизации производств определена на основе оценки их технологической совместимости. Все операции одноименных технологических процессов ТО и ремонта эксплуатируемых моделей АТС разделены на три группы: технологически совместимые; ограниченно технологически совместимые; технологически несовместимые.

Оценка целесообразности совместного обслуживания различных моделей АТС в рамках единого производства проведена на основе сравнения величины общих производственных затрат на выполнение *i*-го вида работ при совместном обслуживании различных моделей АТС с величиной аналогичных затрат на выполнение того же вида и объема работ при обслуживании рассматриваемых моделей АТС на обособленных производствах.

Формула для расчета общих производственных затрат на выполнение *i*-го вида работ в отношении всей совокупности АТС имеет вид:

$$З_{\text{Спт6}} = \sum_{j=1}^{m} \left(З_{5\,j} + З_{6\,j} + З_{8\,j} \right), \qquad (4)$$

где *m* — численность производств, осуществляющих выполнение рассматриваемого (*i*-го) вида работ в отношении ТС, ед.

При оценке целесообразности совмещения производств выражение (4) принято в качестве критерия оптимизации, минимальное значение которого соответствует оптимальному варианту совмещения:

$$N_{\text{СОВМ}}^{\text{ОПТ}} \cong MIN_i \to \{З_{\text{Спт6}.i}\}, \qquad (5)$$

где $\{З_{\text{Спт6}.i}\}$ — множество значений суммарных затрат на выполнение рассматриваемого вида работ, соответствующих совокупности возможных вариантов совместной организации производств, руб.;

MIN_i — минимальный элемент рассматриваемого множества.

Другим условием эффективного выполнения работ по ТО и ремонту транспортных средств различных моделей является их организационная совместимость. При достоверно прогнозируемых параметрах интенсивности эксплуатации АТС концентрация производства обеспечивает создание условий для эффективного применения поточного метода.

Ключевым параметром такого производства является ритм поточной линии, определяемый как максимальная продолжительность простоя транспортного

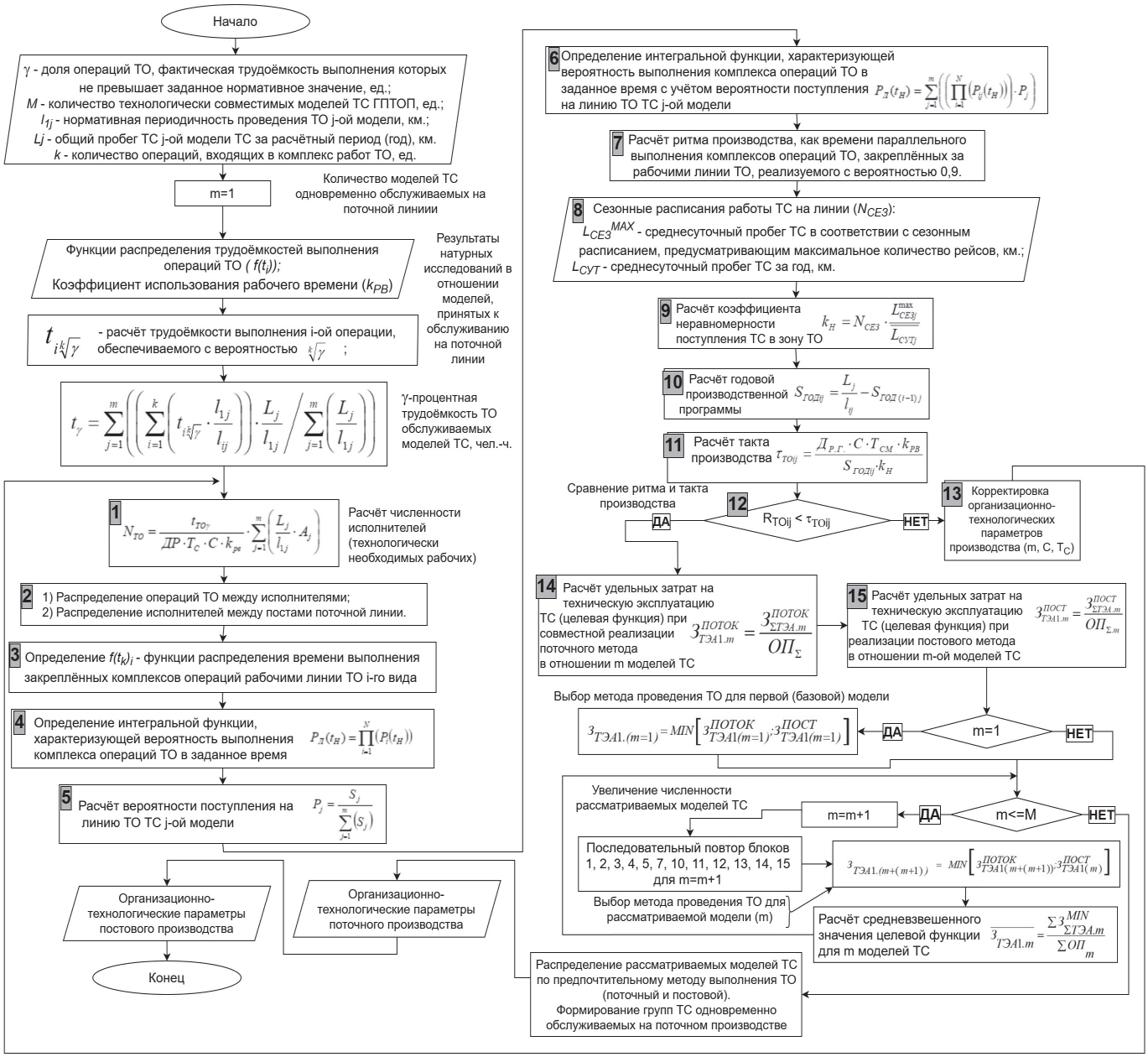


Рис. 2. Схема алгоритма определения организационно-технологических параметров производства по обслуживанию автотранспортных средств

средства на одном из постов, которая является суммарным временем выполнения технологических операций, закрепленных за наиболее загруженным рабочим линии:

$$R_{\text{ТО}ij} = \frac{t_{\text{ТО}ij} k_{\text{нер}}}{N} + t_{\text{п}}, \qquad (6)$$

где $t_{\text{ТО}ij}$ — общая трудоемкость i-го вида ТО j-й модели транспортных средств, чел.-ч;

$k_{\text{нер}}$ — коэффициент неравномерности распределения работ ТО между рабочими местами поточной линии;

N — общая численность рабочих на постах поточной линии, чел.;

$t_{\text{п}}$ — время постановки и снятия ТС с постов поточной линии, ч.

В реальных условиях время выполнения комплекса технологических операций, закрепленных за одним исполнителем, является случайной величиной, описываемой определенным законом распределения. Вероятность того, что ритм поточной линии не превысит значение $t_{\text{н}}$, определяется выражением

$$P_{\text{Л}}(t_{\text{н}}) = \prod_{i=1}^{N} \left(P_i(t_{\text{н}})\right), \qquad (7)$$

где $P_i(t_{\text{н}})$ — вероятность того, что время выполнения i-м исполнителем закрепленного комплекса операций не превысит значение $t_{\text{н}}$, ед.;

N — количество исполнителей, осуществляющих выполнение работ ТО на поточной линии, чел.

С учетом распределения, соответствующего нормальному закону, при обслуживании разномарочного парка формула (7) имеет вид:

$$P_{\text{Л}}(t_{\text{н}}) = \sum_{j=1}^{m} \left(\left(\prod_{i=1}^{N} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ij}} \int_{0}^{t_{\text{н}}} e^{\frac{(t_i - m_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} dt_i \right) \right) \frac{S_j}{\sum_{j=1}^{m} (S_j)} \right), \qquad (8)$$

где σ_{ti} — среднеквадратичное отклонение времени выполнения комплекса операций, закрепленных за i-м исполнителем, ч;

m_{ti} — математическое ожидание времени выполнения комплекса операций, закрепленных за i-м исполнителем, ч;

t_H — заданное (нормативное) значение ритма производства, ч;

S_j — производственная программа по обслуживанию ТС j-й модели на поточной линии, ед.

Исходя из обозначенного подхода, разработаны выражения для расчета такта производства, количества постов и производственных рабочих. Определены условия оптимальной концентрации мощностей, обеспечивающих эффективность и целесообразность внедрения поточного метода. На основе представленной методики разработан

алгоритм определения организационно-технологических параметров производства по ТО и ремонту АТС ГПТОП (*рис. 2*).

Таким образом, разработан методический инструментарий, позволяющий определить организационно-технологические параметры производства, осуществляющего работы по техническому обслуживанию технологически совместимых АТС ГПТОП.

В качестве критерия оптимизации приняты удельные затраты на техническую эксплуатацию автотранспортных средств, приходящиеся на одного перевезенного пассажира.

Литература

1. Власов В. М. Оценка и проектирование организационно-технологического обеспечения производства ТО и ремонта автомобилей: дис. ... д-ра техн. наук. М.: Моск. гос. автомобильно-дорожный ин-т, 1996. 362 с.
2. Дрючин Д. А., Якунин Н. Н., Якунина Н. В. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей на основе кооперации автотранспортных и сервисных предприятий // Автомобильная промышленность. 2017. № 12. С. 14–17.
3. Дрючин Д. А. Совершенствование структуры городского пассажирского наземного транспортного комплекса на основе согласованного развития подсистем // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2024. Т. 21. № 1 (95). С. 74–87.
4. Напольский Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
5. Ляпин Н. А., Ширяев С. А., Федин А. П., Полуэктов М. В. Современные системы технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2016. 188 с.
6. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. для вузов / под ред. Е. С. Кузнецова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2004. 535 с.
7. Гранберг А. Г., Трофимова О. М. К вопросу о формировании инновационных кластеров в региональной экономике // Научный вестник Уральской академии государственной службы. 2010. № 2 (11). С. 54–63.
8. Мандель И. Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.
9. Теслова С. А. Применение кластерного анализа в экономике автотранспортных предприятий // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 1. № 52. С. 89–94.
10. Матвеев В. Ф., Ушаков В. Г. Системы массового обслуживания. М.: Изд-во МГУ, 1984. 240 с.
11. Олейникова С. А. Математическое моделирование и системы массового обслуживания. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 90 с.
12. Таха Х. А. Введение в исследование операций. 7-е издание / пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2007. 912 с.

Общероссийская общественная организация

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Научно-технологическое сопровождение НП «Эффективная транспортная система»

Научно-технологическое сопровождение проектов в сфере транспорта — это комплекс мероприятий по исследованию, разработке, экспертизе и внедрению инновационных проектных и технологических решений, направленных на создание эффективной, безопасной и устойчивой транспортной системы Российской Федерации.

Национальный проект «Эффективная транспортная система»

Модернизация и оптимизация транспортных систем

Разработка и внедрение инновационных технологий

Повышение безопасности и надежности транспортной системы

Обучение и повышение квалификации кадров

www.rosacademtrans.ru info@rosacademtrans.ru

УДК 629.421

Управление скольжением колесных пар локомотива по критерию минимума износа в контакте «колесо — рельс»



К. С. Перфильев,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»),



Г. М. Волохов,
д-р техн. наук, главный научный эксперт АО «ВНИКТИ»,



С. Н. Журавлев,
канд. техн. наук, заместитель главного инженера по перспективным проектам АО «ВНИКТИ»

Износ колес и рельсов — это фундаментальная проблема, связанная с потерей материала с рабочих поверхностей, вызванная их относительным движением. Данный показатель глубоко влияет на тяговые и динамические характеристики локомотивов и безопасность движения и в худшем случае может привести к сходу с рельсов.

Феномен износа в железнодорожной отрасли и его моделирование изучаются с момента зарождения железнодорожного транспорта **[1–4]**. В работе **[5]** предложены качественные модели поведения при износе, которые условно подразделяются на «умеренный» и «интенсивный» режимы для описания характеристик износа, наблюдаемых в экспериментальных результатах. Третий режим износа, определенный как «катастрофический», был установлен по результатам испытаний **[6, 7]**.

В **[7]** предложено использовать термины: «износ типа 1 — умеренный», «износ типа 2 — интенсивный» и «износ типа 3 — катастрофический» для описания «стадий» износа, которые характеризуются скоростью износа, особенностью изнашиваемых поверхностей (в частности, их шероховатостью), а также размерами, морфологией и цветом продуктов износа.

Износ типа 1 сочетает в себе процессы как окислительный, так и качения — с проскальзыванием взаимодействующих поверхностей, в результате чего образуются фрагменты, содержащие оксиды и металлические частицы, которые удаляются в результате прогрессирующего роста и механического разрушения оксидного слоя при низкой скорости относительного скольжения.

Тип 2 характеризуется полностью металлическими изнашиваемыми остатками, возникновением микроскопической ряби на изнашиваемых поверхностях и некоторым переносом металла относительно контактирующих поверхностей. Здесь речь идет о процессе деформирования и разрушения без признаков усталостных трещин на поверхности.

Износ типа 3 приводит к образованию крупных фрагментов обеих контактирующих поверхностей. В экспериментальной работе **[8]** показана связь, и даны числовые границы качественных оценок 1–3 характеристик износа относительно плотности мощности скольжения и скорости износа (*рис. 1*).

Относительная (по отношению к текущей скорости локомотива) плотность мощности скольжения Pr/An (Н/мм^2) определяется как

$$Pr/An = FtVs/An,$$

где Ft — сила тяги на ободе колеса, Н;

Vs — относительная скорость скольжения (безразмерная величина);

An — площадь контакта колесо — рельс, мм^2.

Данные величины вычисляются или поддаются измерению в режиме реального времени. Номинальная площадь контакта вычисляется, исходя из профиля и материалов колеса и рельсов. Пример расчета для тепловоза 2ТЭ25А «Витязь» приведен в **[10]**. Коэффициент износа определяется по формуле

$$K_0 = \Delta m/\Delta W,$$

где Δm — потеря массы колеса и рельса через определенный интервал времени;

ΔW — фрикционная работа, рассеиваемая в контакте «колесо — рельс».

Величина потери массы, вызванной износом в единицу времени, указывает на уровень повреждений от износа. Для синтеза заявленного исследованием алгоритма управления скольжением колесных пар локомотива по критерию минимума износа в контакте «колесо — рельс» измерение

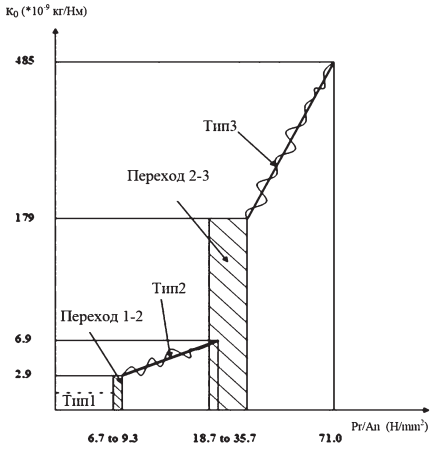


Рис. 1. Изменение коэффициента износа K_0 в зависимости от относительной плотности мощности *Pr/An* взаимодействия поверхности колеса из стали класса D с проскальзыванием по рельсовой стали UICB [8]

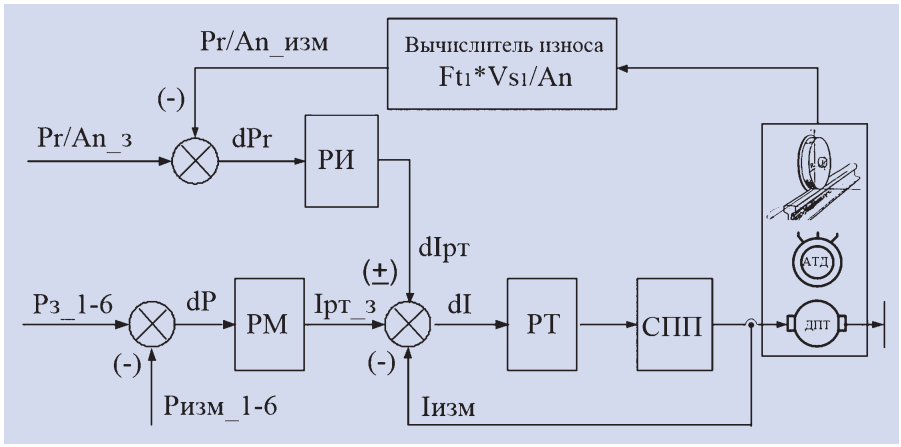


Рис. 2. Структура алгоритма управления тяговым приводом на основе стратегии контроля износа:
Рз_1–6 — заданная мощность дизель-генератора; Ризм_1–6 — действительная мощность; РМ — регулятор мощности; РТ — регулятор тока; РИ — регулятора износа; dIрт — добавка; ДПТ — двигатель постоянного тока; АТД — асинхронный тяговый двигатель; СПП — силовой полупроводниковый преобразователь

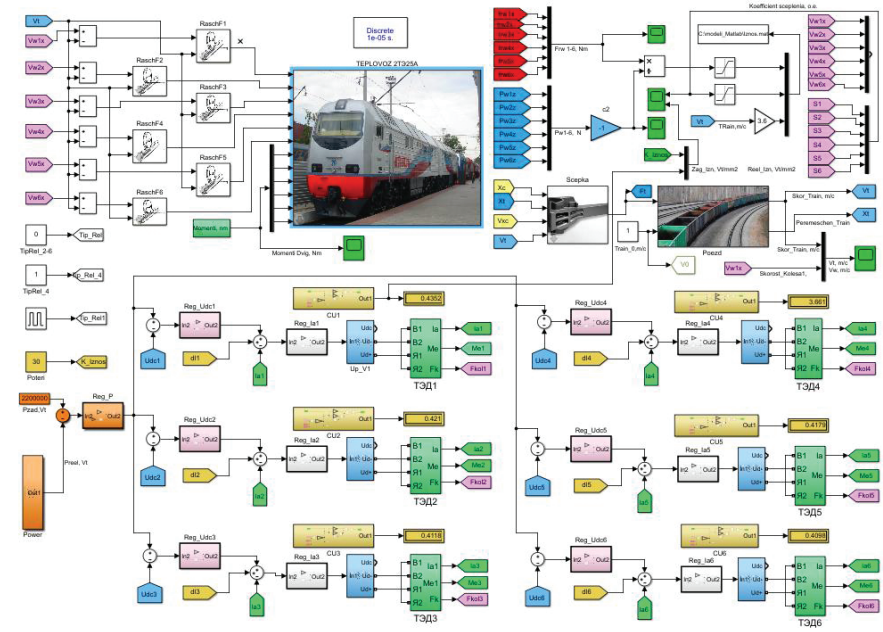


Рис. 3. Модель тепловоза в среде MATLAB_Simulink с управлением тяговым электроприводом по критерию минимума износа в контакте «колесо — рельс»

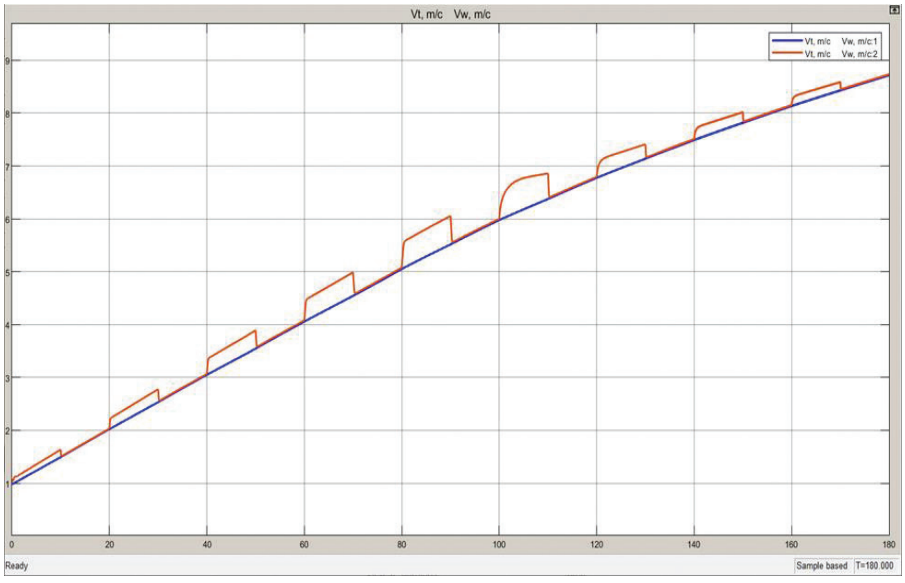


Рис. 4. Скорость тепловоза (синий) и первой колесной пары (коричневый)

коэффициента износа в режиме реального времени не требуется. Достаточно воспользоваться данными графика на *рис. 1*.

Чтобы избежать чрезмерного износа рельса и колеса, как в области типа 3 на *рис. 1*, значение индекса износа, разделяющее области типа 2 и 3, выбрано в качестве порога контроля износа. В данной работе пороговое значение относительной плотности мощности скольжения установлено на уровне 30 Н/мм^2.

Предлагаемая система управления тяговым приводом с контролем скорости износа в контакте «колесо — рельс»

На *рис. 2* приведена структура алгоритма управления тяговым приводом, реализующего стратегию контроля износа в контакте «колесо — рельс», основанную на приведенной модели износа (см. *рис. 1*).

Заданная мощность дизель-генератора Рз_1–6 поступает на вход сумматора, где сравнивается с измеренной действительной мощностью Ризм_1–6. На выходе регулятора мощности (РМ) получаем заданный по каждому тяговому двигателю ток (или заданный момент), который отрабатывается далее регулятором тока.

При этом к заданному с выхода РМ току добавляется (или вычитается) добавка *dIpm* с выхода регулятора износа (РИ) «колесо — рельс», на вход которого поступает разница между заданным уровнем относительной плотности мощности скольжения (величина выбирается из графика по *рис. 1*) *Pr/An_з* и измеренной величиной плотности мощности скольжения *Pr/An_*изм.

Измеренная плотность мощности скольжения в контакте «колесо — рельс» вычисляется по заданной величине силы тяги в контакте «колесо — рельс» (определяется по величине реализуемого электромагнитного момента), относительному скольжению колеса (измеряется по датчику частоты вращения колесной пары и скорости локомотива) и по известной площади пятна контакта (заранее рассчитанная величина в зависимости от радиуса колеса, головки рельса, материалов колеса и рельса).

Регулятор износа регулирует тяговое усилие, создаваемое двигателем по следующему алгоритму. Пропорционально-интегральный регулятор износа «колесо — рельс» работает по отклонению заданной величины плотности мощности скольжения от измеренной. Если измеренное значение относительной плотности мощности скольжения ниже заданного порога, выполняется увеличение тягового усилия

колесной пары локомотива, в противном случае — снижение тягового усилия.

В зоне постоянства силы тяги локомотива выход РМ находится на ограничении по току тягового двигателя вплоть до выхода РМ в зону постоянства мощности. Величина ограничения по току (моменту), как правило, устанавливается из условия предполагаемого предельного тягового усилия по сцеплению, которое на самом деле неизвестно и постоянно изменяется в зависимости от условий сцепления. Именно в данной зоне обеспечивается наиболее эффективная работа предлагаемого алгоритма.

Регулятор износа автоматически изменяет задание на тяговое усилие локомотива под изменяющиеся условия сцепления, добавляя или вычитая значение тока (момента) к ограничению тока (момента) на выходе РМ. В случае построения системы управления локомотивом по принципу задания силы тяги во всем скоростном диапазоне РИ будет корректировать тяговое усилие также во всем диапазоне скорости движения.

На *рис. 3* представлена модель тепловоза 2ТЭ25А в среде MATLAB_Simulink совместно с шестью моделями сцепления «колесо — рельс» Полаха **[9]**, моделями автосцепки, поезда и «тягового электропривода с коллекторными двигателями постоянного тока» с поосной системой управления, реализующей стратегию контроля износа в контакте «колесо — рельс» в соответствии с алгоритмом *рис. 2*, основанным на представленной на *рис. 1* модели износа. В реальности подобного тепловоза не существует, тем не менее это позволяет оценить все преимущества предлагаемого способа управления, поскольку имеется готовая к использованию модель тепловоза **[10]**.

Модель тягового электропривода секции тепловоза включает в себя один общий регулятор мощности тепловоза (Reg_p) и шесть индивидуально управляемых тяговых приводов с собственными системами управления, работающими по критерию минимума износа в контакте «колесо — рельс» (CU1 — CU6). Выходы данных систем (dI1 — dI6) корректируют задание на ток каждого электродвигателя, формируемого соответствующими подчиненными регуляторами напряжения (Reg_Udc1 — Reg_Udc6).

Суммарное задание на ток тяговых двигателей (модели ТЭД1–ТЭД6) реализуется соответствующими регуляторами тока якоря ТЭД (Reg_Ia1–Reg_Ia6) через индивидуальные тиристорные выпрямители (модели Up_V1–Up_V6). Задание на относительные потери мощности скольжения задаются в блоке Poteri на уровне 30 Н/мм^2 для всех шести регуляторов CU1 — CU6.

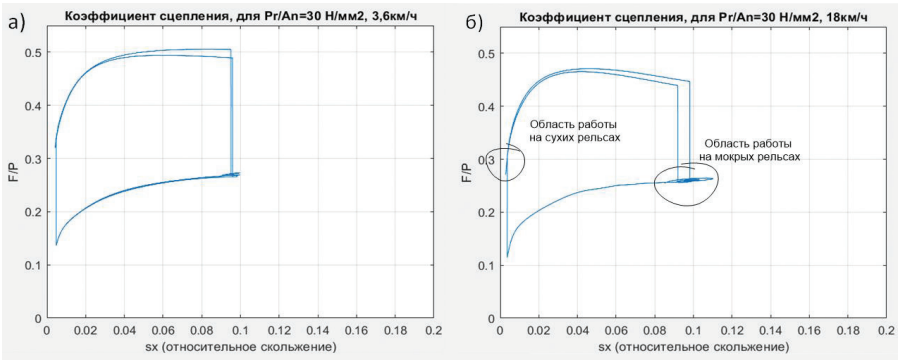


Рис. 5. Переход рабочей точки сцепления с кривой при сухих рельсах на кривую при мокрых рельсах и наоборот: *а* — скорость тепловоза 3,6 км/ч; *б* — скорость тепловоза 18 км/ч

В итоге системы управления CU1 — CU6 регулируют токи тяговых электродвигателей во всех режимах работы, поддерживая скольжение и тягу на уровне, при котором износ колес и рельсов не превысит заданного допустимого. Как показывают результаты моделирования, сила тяги тепловоза при этом близка к максимально возможной по условиям сцепления.

Результаты моделирования

На *рис. 4* показан процесс трогания поезда со скорости 1 м/с. Первая колесная пара тепловоза периодически наезжает на мокрые рельсы. При этом РИ автоматически поддерживает плотность мощности скольжения в контакте «колесо — рельс» на заданном (30 Н/ мм^2) уровне, тем самым реализуя такую максимально возможную по условиям сцепления силу тяги первой колесной пары, которая исключает катастрофический износ.

На *рис. 5* показан процесс перехода рабочей точки коэффициента сцепления с кривой при сухих рельсах на кривую при мокрых рельсах. При этом на сухих рельсах относительное скольжение незначительное (около 0,003), а на мокрых в результате работы РИ оно составляет 0,095–0,1 и находится на кривой коэффициента сцепления вблизи максимума.

При этом максимум силы сцепления достигается примерно при одном и том же относительном скольжении вне зависимости от абсолютной скорости движения тепловоза. Это упрощает проектирование РИ, поскольку задание на уровень относительной плотности мощности скольжения колес не нужно изменять в зависимости от скорости движения тепловоза.

На *рис. 6* показано, как работа РИ влияет на силу тяги тепловоза в условиях ухудшенного сцепления колес с рельсами при ограничении по току тяговых двигателей вблизи максимума (1000 А): изменение скольжения, силы тяги колесных пар и суммарной силы тяги тепловоза при включении и отключении РИ. Заданный максимальный ток всех шести двигателей определен на уровне 1000+150 А на работу РИ. Видно, что при отключенном РИ (22–41 с) первая колесная пара уже склонна к боксованию.

Тем не менее силы тяги всех колесных пар в данном диапазоне времени одинаковы за счет различного значения скольжения. Возникает вопрос о том, какую величину тока можно добавить каждому двигателю, чтобы он увеличил тягу, но его колесная пара не сорвалась в боксование. Включение РИ решает этот вопрос, что и показано на рис. 6 (диапазон времени 41–60 с).

Первый двигатель, колесная пара которого была склонна к боксованию, за счет работы РИ снизил свою силу тяги, остальные пять ее увеличили на величину, зависящую от силы нормального давления в контакте «колесо — рельс» на соответствующую ось. Общая сила тяги тепловоза увеличилась на 11 %. Причем при расширении диапазона работы РИ имеется больше потенциальных возможностей для увеличения суммарной силы тяги тепловоза от его работы.

На *рис. 7* показано, что при работе тепловоза на промежуточных позициях контроллера машиниста (где предельный ток двигателей на выходе РМ снижен, например, до уровня 900 А, а диапазон работы РИ расширен до +250 А) при плохих условиях сцепления за счет РИ может быть достигнуто увеличение тяги на 27 % при контролируемом износе колесных пар.

На *рис. 8* показана работа РИ при изменении заданной относительной плот-

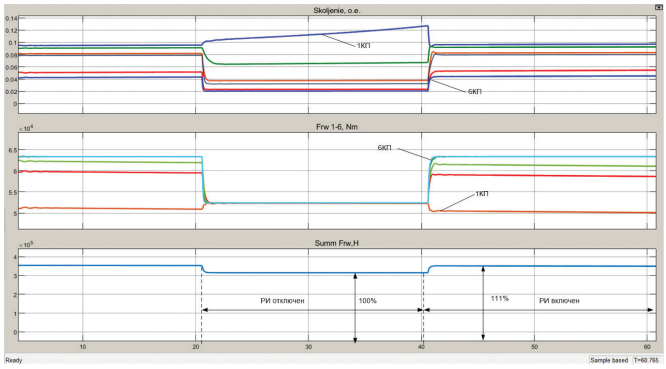


Рис. 6. Изменение скольжения (верхние кривые), силы тяги колес (средние кривые) и суммарной силы тяги тепловоза (нижняя) при включении и отключении РИ при запасе на регулирование тока +150 А

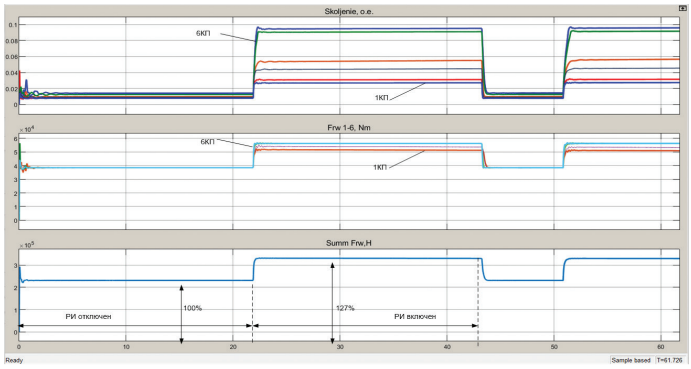


Рис. 7. Изменение скольжения (верхние кривые), силы тяги колес (средние кривые) и суммарной силы тяги тепловоза (нижняя) при включении и отключении РИ при запасе на регулирование тока +250 А

ности мощности скольжения для первой колесной пары со значения 30 на 15, 25, 40, 30 Н/мм^2 (нижняя кривая — относительное скольжение первой колесной пары). Видно, что РИ уверенно поддерживает заданное значение плотности мощности скольжения.

Достоинство предложенного алгоритма регулирования состоит в том, что он не требует высокого быстродействия в части изменения тягового электромагнитного момента. Это позволяет его использовать в широко применяемой на практике системе поосного регулирования силы тяги тепловозов переменно-постоянного тока типа 2ТЭ25К, 2ТЭ28КМ, 2ТЭ116У и др. с поосным регулированием, а также для электровозов.

Разумеется, он также применим для тепловозов с асинхронными двигателями типа 2ТЭ25А, 2ТЭ35А, 2ТЭ30А и др., где оптимальным решением следует считать использование комбинированной системы управления тягой, в которой объединены результаты работы по созданию регулятора оптимального проскальзывания колес, работающего по принципу «нечеткой логики» и регулятора, представленного в работе.

Это обеспечит работу привода с максимально возможной тягой при текущих условиях сцепления и одновременном снижении износа в контакте «колесо — рельс». Предварительная оценка эффективности внедрения данного регулятора показывает, что имеется возможность повышения силы тяги локомотивов в среднем на мокрых рельсах до 15–20 % и снизить износ в контакте «колесо — рельс», сократив расходы на обточку колесных пар и обслуживание пути.

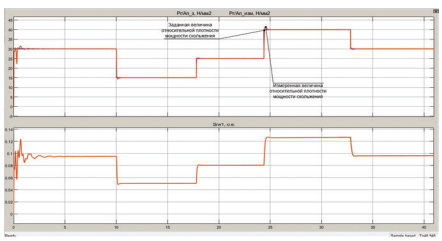


Рис. 8. Работа РИ при изменении заданной относительной плотности мощности скольжения для первой колесной пары

Выводы

Основываясь на результатах работ **[1–8]** для качественного описания «стадий» износа в контакте «колесо — рельс» можно условно принять три зоны износа и использовать термины: износ типа 1 — умеренный, износ типа 2 — интенсивный, износ типа 3 — катастрофический.

Величину износа можно охарактеризовать потерей металла и относительной плотностью мощности скольжения в контакте «колесо — рельс». Относительная плотность мощности скольжения может быть измерена в режиме реального времени с использованием доступных измерению параметров тягового привода.

Можно синтезировать систему управления тяговым электроприводом, работающей по принципу контроля величины износа в контакте «колесо — рельс». Разработанная система управления тяговым приводом ввиду отсутствия жестких требования к быстродействию тягового привода может успешно применяться как на локомотивах с коллекторными, так и с тяговыми электродвигателями переменного тока с возможностью поосного управления силой тяги.

Для локомотивов с двигателями переменного тока оптимальным решением следует считать использование комбинированной системы управления тягой, в которой объединены результаты работы по созданию регулятора оптимального проскальзывания колес, работающего по принципу «нечеткой логики» и регулятора, представленного в исследовании.

Внедрение предложенного принципа управления позволит поднять силу тяги локомотивов на мокрых рельсах в среднем до 15–20 %, снизить износ в контакте «колесо — рельс», сократить расходы на обточку колесных пар и обслуживание пути.

Литература

1. Braghin F., Lewis R., Dwyer-Joyce R., Bruni S. A mathematical model to predict railway wheel profile evolution due to wear // Wear. 2006. Vol. 261. P. 1253–1264. DOI: 10.1016/j.wear.2006.03.025.
2. Jendel T. Prediction of wheel profile wear — comparisons with field measurements // Wear. 2002. Vol. 253. P. 89–99.
3. Pearce T. G., Sherratt N. D. Prediction of wheel profile wear // Wear. 1991. Vol. 144. P. 343–351.
4. Lewis R., Olofsson U. Mapping rail wear regimes and transitions // Wear. 2004. Vol. 257. P. 721–729.
5. Beagley T. M. Severe wear of rolling/sliding contacts // Wear. 1976. Vol. 36. P. 317–335.
6. Bolton P. J., Clayton P. Rolling-sliding wear damage in rail and tyre steels // Wear. 1984. Vol. 93. P. 145–165.
7. Danks D., Clayton P. Comparison of the wear process for eutectoid rail steels: Field and laboratory tests // Wear. 1987. Vol. 120. P. 233–250.
8. Vuong T. T., Meehan P. A. Wear transitions in a wear coefficient model // Wear. 2009. Vol. 266. P. 898–906.
9. Polach O. A Fast Wheel-Rail Forces Calculation Computer Code // Vehicle System Dynamics. 1999. Vol. 33. P. 728–739.
10. Волохов Г. М., Перфильев К. С. Разработка двухмерной динамической модели 6-осного тепловоза с учетом условий сцепления в контакте «колесо — рельс» // Вестник АО «ВНИКТИ». 2025. № 108. С. 111–129.

УДК 656.029.4

Оценка качества пассажирских перевозок на маршрутах города в пиковый период (на примере г. Махачкалы)



Н. У. Гюлев,
д-р техн. наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин и технологии конструкционных материалов Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова, профессор кафедры автомобильного транспорта Прикаспийского межрегионального института — филиала Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета

От степени заполнения салонов транспортных средств общественного транспорта в пиковый период зависит их количество на маршрутах, вместимость, интервалы движения, а, следовательно, качество перевозок пассажиров, оценку которого целесообразно проводить с помощью коэффициента статического заполнения подвижного состава.

Качественное обслуживание пассажиров зависит от разработки эффективной транспортной системы с применением современных научных подходов и технологий. Показателями, определяющими качество пассажирских перевозок, являются: наполнение подвижного состава, регулярность движения транспортных средств, время передвижения пассажиров, безопасность движения и др. **[1, 2]**.

Степень заполнения транспортных средств на маршрутах пассажирского транспорта, являясь одним из показателей качества, влияет на выбор рационального количества подвижного состава, их вместимости, интервалов движения и т. д. **[2–4]**. Пассажировместимость транспортного средства зависит от площади пола, приходящегося для проезда пассажиров сидя и стоя, мест для сидения и общей вместимости салона.

В данном исследовании для оценки качества перевозки пассажиров на маршрутах города выбран пиковый период.

Степень изученности проблемы

Вопросы качества обслуживания пассажиров и оптимизации параметров процесса перевозок на пассажирском транспорте рассматривались в целом ряде работ, например, **[4–6]**. В своих исследованиях авторы применяют разные подходы. Преимущественным является предположение о наличии постоянного спроса на перевозки. При этом учитываются интересы как транспортных компаний, так и пассажиров.

В работах **[7–9]** выявлена зависимость между показателем, определяющим качество транспортного обслуживания, и степенью заполнения транспортных средств. Их наполнение пассажирами сверх нормативных значений приводит к ухудшению условий совершения поездки и вызывает транспортную усталость пассажиров. Соответственно одной из главных задач при обслуживании пассажиров на маршруте является выбор вместимости транспортного средства **[10, 11]**.

В исследовании **[12]** показано, что на уровень обслуживания влияют следующие показатели: доступность, удобство подхода, информационное обеспечение, временные характеристики, забота о клиентах, комфортабельность, безопасность, влияние на окружающую среду. При этом показателем оценки уровня заполнения салона транспортного средства может являться количество пассажиров, приходящееся на 1 м^2 свободной площади его салона **[9]**.

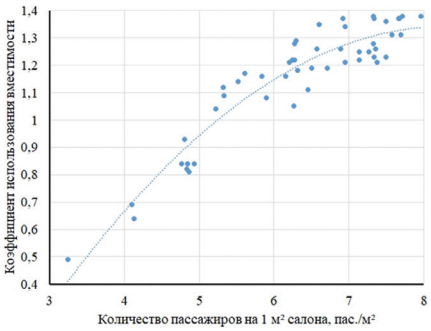
Разработка модели оценки показателя качества

Для оценки качества перевозок пассажиров и определения степени заполнения салонов транспортных средств с помощью табличного метода проведены соответствующие обследования на пяти автобусных и одном троллейбусном маршрутах на проспекте Имама Шамиля г. Махачкалы.

Результаты проведенных обследований (*табл. 1*) использованы для разработки регрессионной модели влияния количества пассажиров, приходящихся на один квадратный метр салона транспортного средства, на коэффициент статического использования пассажировместимости транспортного средства.

Таблица 1. Результаты обследований на маршрутах

Номер обследования	Среднее количество пассажиров на 1 м² свободной площади салона транспортного средства, пас./м²	Коэффициент статического использования вместимости транспортного средства
1	6,29	1,29
2	4,86	0,81
3	7,14	1,25
4	4,8	0,93
5	7,68	1,37
6	6,95	1,21
7	5,9	1,08
8	7,67	1,37
9	7,14	1,22
10	5,33	1,09
11	6,24	1,22
12	6,5	1,19
13	6,57	1,26
14	4,1	0,69
15	7,38	1,21
16	3,24	0,49
17	6,15	1,16
18	6,95	1,34
19	5,32	1,12
20	7,96	1,38
21	7,34	1,23
22	6,27	1,22
23	7,36	1,26
24	7,27	1,25
25	7,58	1,31
26	6,89	1,26
27	6,2	1,21
28	5,52	1,14
29	4,83	0,82
30	4,13	0,64
31	7,5	1,23
32	6,45	1,11
33	7,5	1,36
34	6,92	1,37
35	6,6	1,35
36	7,33	1,38
37	6,71	1,19
38	6,26	1,05
39	7,7	1,31
40	7,34	1,37
41	4,76	0,84
42	7,72	1,38
43	6,31	1,18
44	5,22	1,04
45	4,93	0,84
46	5,84	1,16
47	7,33	1,28
48	6,27	1,28
49	4,84	0,84
50	5,61	1,17



Изменение коэффициента статического использования вместимости транспортного средства в зависимости от среднего количества пассажиров на 1 м² свободной площади салона

При разработке регрессионной модели использованы соответствующие методы статистики и регрессионного анализа. При расчете коэффициентов регрессии использован метод наименьших квадратов, а значимость включенных факторов определялась с помощью критерия Стьюдента.

Изменение коэффициента статического использования вместимости транспортного средства в зависимости от изменения среднего количества пассажиров, приходящихся на 1 м² свободной площади пола транспортного средства, приведено на *рисунке*.

Из графика следует, что увеличение среднего количества пассажиров на 1 м² свободной площади салона приводит к изменению статического коэффициента использования вместимости транспортного средства по нелинейной зависимости.

Разработанная модель изменения коэффициента статического использования вместимости выглядит таким образом:

$$\gamma = -1{,}157 - 0{,}036\,\omega^2 + 0{,}6\,\omega, \qquad (1)$$

где γ — значение коэффициента статического использования вместимости салона транспортного средства;

ω — значение среднего количества пассажиров, приходящихся на 1 м² свободной площади салона автобуса, пас./м².

Результаты расчетов параметров модели приведены в *табл. 2* и *3*. Параметры являются значимыми, так как расчетные значения критерия Стьюдента превышают табличные значения (*табл. 2*) и отсутствуют нули в доверительных интервалах коэффициентов модели (*табл. 3*).

Статистическая оценка регрессионной модели (1): расчетный критерий Фишера — 205; коэффициент множественной корреляции модели — 0,94; коэффициент детерминации модели — 0,89; средняя ошибка аппроксимации — 5,5 %.

Превышение величины расчетного значения критерия Фишера 205 над табличным

Таблица 2. Значения параметров изменения коэффициентов модели

Параметры модели	Обозначение	Коэффициент	Стандартная погрешность	Критерий Стьюдента	
				расчетный	табличный
Коэффициент	—	–1,157	0,246	–4,7	2,0
Средняя величина количества пассажиров	ω	0,6	0,084	7,12	2,0
Средняя величина количества пассажиров в квадрате	ω″	–0,036	0,007	–5,12	2,0

Таблица 3. Значения доверительных интервалов коэффициентов модели

Параметры модели	Начальные	Конечные
Коеффициент	–1,652	–0,662
Среднее значение количества пассажиров	0,431	0,77
Среднее значение количества пассажиров в квадрате	–0,05	–0,021

Таблица 4. Расчет средней ошибки аппроксимации

Номер расчета	Значение среднего количества пассажиров на 1 м² свободной площади салона транспортного средства, пас./м²	Значение среднего количества пассажиров на 1 м² свободной площади салона транспортного средства, возведенное в квадрат	Фактическое значение коэффициента статического использования вместимости транспортного средства	Расчетное значение коэффициента статического использования вместимости транспортного средства	Значение средней ошибки аппроксимации
1	6,29	39,56	1,29	1,19	0,075
2	4,86	23,62	0,81	0,91	0,122
3	7,14	50,98	1,25	1,29	0,033
4	4,8	23,04	0,93	0,89	0,039
5	7,68	58,98	1,37	1,33	0,031
6	6,95	48,30	1,21	1,27	0,053
7	5,9	34,81	1,08	1,13	0,046
8	7,67	58,83	1,37	1,33	0,031
9	7,14	50,98	1,22	1,29	0,059
10	5,33	28,41	1,09	1,02	0,066
11	6,24	38,94	1,22	1,19	0,028
12	6,5	42,25	1,19	1,22	0,027
13	6,57	43,16	1,26	1,23	0,023
14	4,1	16,81	0,69	0,70	0,011
15	7,38	54,46	1,21	1,31	0,083
16	3,24	10,50	0,49	0,41	0,165
17	6,15	37,82	1,16	1,17	0,010
18	6,95	48,30	1,34	1,27	0,049
19	5,32	28,30	1,12	1,02	0,093
20	7,96	63,36	1,38	1,34	0,030
21	7,34	53,88	1,23	1,31	0,063
22	6,27	39,31	1,22	1,19	0,025
23	7,36	54,17	1,26	1,31	0,039
24	7,27	52,85	1,25	1,30	0,042
25	7,58	57,46	1,31	1,32	0,010
26	6,89	47,47	1,26	1,27	0,006
27	6,2	38,44	1,21	1,18	0,025
28	5,52	30,47	1,14	1,06	0,072
29	4,83	23,33	0,82	0,90	0,099
30	4,13	17,06	0,64	0,71	0,105
31	7,5	56,25	1,23	1,32	0,072
32	6,45	41,60	1,11	1,22	0,095
33	7,5	56,25	1,36	1,32	0,031
34	6,92	47,89	1,37	1,27	0,072
35	6,6	43,56	1,35	1,23	0,085
36	7,33	53,73	1,38	1,31	0,053

37	6,71	45,02	1,19	1,25	0,049
38	6,26	39,19	1,05	1,19	0,132
39	7,7	59,29	1,31	1,33	0,014
40	7,34	53,88	1,37	1,31	0,046
41	4,76	22,66	0,84	0,88	0,052
42	7,72	59,60	1,38	1,33	0,037
43	6,31	39,82	1,18	1,20	0,013
44	5,22	27,25	1,04	0,99	0,044
45	4,93	24,30	0,84	0,93	0,102
46	5,84	34,11	1,16	1,12	0,035
47	7,33	53,73	1,28	1,31	0,021
48	6,27	39,31	1,28	1,19	0,071
49	4,84	23,43	0,84	0,90	0,076
50	5,61	31,47	1,17	1,08	0,080
Средняя ошибка аппроксимации					0,055

свидетельствует о высокой информационной способности модели. Коэффициент множественной корреляции, равный 0,94, указывает на тесную взаимосвязь между факторами модели и коэффициентом использования вместимости.

Для оценки адекватности регрессионной модели рассчитан показатель средней ошибки аппроксимации (*табл. 4*).

Значение средней ошибки аппроксимации, равное 5,5 %, является допустимым, поэтому разработанная модель адекватна.

Проведенные обследования и разработанная модель показывают, что увеличение среднего количества пассажиров на 1 м² свободной площади салона подвижного состава от 3 до 8 пас./м² приводит к увеличению величины коэффициента статического использования вместимости транспортного средства от 0,5 до 1,4, что является недопустимым.

Заключение

Основными результатами исследования является разработка модели оценки показателя качества перевозки пассажиров на маршрутах города в пиковый период на проспекте Имама Шамиля г. Махачкалы. Выявлено, что коэффициент заполнения салона транспортного средства зависит как от числа пассажиров, приходящихся на квадратный метр салона, так и от его значения в квадрате.

Установлено, что в пиковый период условия перевозок пассажиров на рассматриваемой магистрали являются неудовлетворительными, так как показатель качества перевозок, каким является коэффициент статического использования вместимости транспортного средства, превышает величину 1,3, что свидетельствует о переполнении салонов транспортных средств. Также на это указывает то, что количество пассажиров на 1 м² свободной площади салона приближается к 8 пас./м², что значительно выше нормативных значений.

На основе разработанной модели необходимо принимать меры по корректировке количества транспортных средств и их вместимостей на обследованных маршрутах.

Литература

1. Гришаева Ю. М., Матанцева О. Ю., Спирин И. В. и др. Устойчивое развитие транспорта в городах России: опыт и актуальные задачи // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13(4). С. 24–46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46.
2. Епифанов В. В., Тюрин А. С. Повышение качества перевозок в системе городского пассажирского автомобильного транспорта на основе оценки удовлетворенности потребителей: монография. Ульяновск: УлГТУ, 2017. 195 с.
3. Cats O., West J., Eliasson J. A dynamic stochastic model for evaluating congestion and crowding effects in transit systems // Transportation Research Part B: Methodological. 2016. Vol. 89. P. 43–57. DOI: 10.1016/j.trb.2016.04.001.
4. Hörcher D., Graham D. J., Anderson R. J. The economics of seat provision in public transport // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2018. № 109. P. 277–292. DOI: 10.1016/j.tre.2017.11.011.
5. Gholami A., Tian Z. The comparison of optimum frequency and demand based frequency for designing transit networks // Case Studies on Transport Policy. 2019. Vol. 7. № 4. P. 698–707. DOI:10.1016/j.cstp.2019.09.004.
6. Яценко С. А. Анализ методик расчета потребности автобусов для городских маршрутов // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск, 2016. № 5 (112). С. 193–202.
7. Shen X., Feng S., Li Z., Hu B. Analysis of bus passenger comfort perception based on passenger load factor and in-vehicle time. SpringerPlus. 2016. Vol. 5. № 1. P. 1–10. DOI:10.1186/s40064-016-1694-7.
8. Jenelius E. Public transport experienced service reliability: Integrating travel time and travel conditions // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2018. Vol. 117. P. 275–291. DOI: 10.1016/j.tra.2018.08.026.
9. Гюлев Н. У., Шихсаидов Б. И., Игитов Ш. М. и др. Модель оценки уровня обслуживания пассажиров на городских маршрутах в межпиковый период // Научная жизнь. 2025. Т. 20. Вып. 5 (143). С. 1229–1238. DOI: 10.35679/1991-9476-2025-20-5-1229-1238.
10. Дрючин Д. А. Совершенствование структуры городского пассажирского наземного транспортного комплекса на основе согласованного развития подсистем // Вестник СибАДИ». 2024. Т. 21(1). С. 74–87. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-1-74-87.
11. Фадеев А. И., Фомин Е. В., Алхуссейни С. Определение предельно допустимого коэффициента использования вместимости городского пассажирского транспорта // Вестник СибАД И. 2019. Т. 16(3). С. 290–301.
12. Nuzzolo A., Comi A. Individual utility-based path suggestions in transit trip planners // IET Intelligent Transport Systems. 2016. Vol. 10. № 4. P. 219–226. DOI: 10.1049/iet-its.2015.0138.

УДК 656.07

Перспективы развития терминально-логистической инфраструктуры в регионах Поволжья для осуществления контрейлерных перевозок



М. В. Гаврилов,
преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работы», аспирант Приволжского государственного университета путей сообщения» (ПривГУПС),



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



Ю. П. Пацев,
старший преподаватель кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы» ПривГУПС

Ключевыми проблемами развития терминально-логистической системы контрейлерных перевозок в Приволжском федеральном округе являются низкая автоматизация погрузочноразгрузочных работ, фрагментарность сети и недостаточная цифровизация.

Развитие терминальнологистической инфраструктуры является базовым элементом пространственной связности России и повышения конкурентоспособности национальной экономики в условиях геоэкономической переориентации и санкционного давления **[1]**.

Особая роль при этом принадлежит железнодорожному и автомобильному транспорту, которые обеспечивают основную часть грузооборота на протяженных маршрутах и связывают морские порты, промышленные узлы и пограничные переходы в единую национальную сеть **[2]** (*рис. 1*).

В условиях усиления глобальной конкуренции, исчерпания потенциала экспортно-сырьевой модели развития и возрастания роли человеческого капитала транспортная система Российской Федерации сталкивается с системным вызовом, требующим перехода к инновационному, социально ориентированному типу развития.

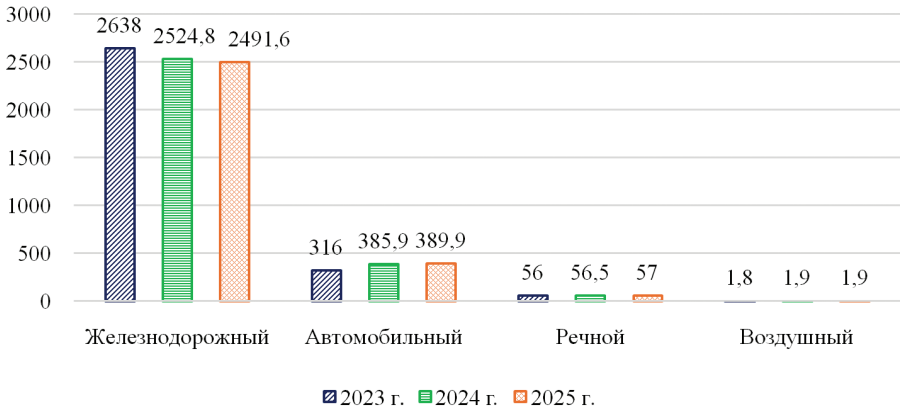


Рис. 1. Грузооборот по видам транспорта за 2023–2025 гг.

Как отмечено в Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г., существующие объемные и качественные характеристики транспорта, особенно его инфраструктуры, не позволяют в полной мере и эффективно решать задачи растущей экономики[1]. В этом контексте интермодальные перевозки (контейнерные, контрейлерные, перевозки съемных кузовов), сочетающие экономичность и надежность железнодорожного транспорта с мобильностью автомобильного, рассматриваются как одно из приоритетных направлений повышения конкурентоспособности национальной транспортной системы, снижения совокупных издержек общества и негативного воздействия на окружающую среду.

Стратегическими документами федерального уровня установлены амбициозные целевые ориентиры. Транспортная стратегия РФ декларирует необходимость увеличения к 2030 г. доли контейнерных и контрейлерных перевозок в общем объеме контейнеропригодных грузов до 85 %. Концепция создания терминально-логистических центров на территории России определяет технологическое и организационное взаимодействие формирования их сети на базе инфраструктуры российских железных дорог[2].

[1] Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363р. М., 2021. 222 с.

[2] ОАО «РЖД» Концепция создания терминально-логистических центров на территории Российской Федерации. М., 2012. 79 с.

Для достижения намеченного показателя требуется кратный рост пропускной способности терминально-логистической инфраструктуры. Более поздние документы, такие как Транспортная стратегия до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. и Стратегия цифровой трансформации транспортной отрасли, конкретизируют задачи, делая акцент на цифровизации, внедрении интеллектуальных транспортных систем и роботизированных комплексов для обработки грузов.

Однако применяемые на терминалах технологии погрузочно-разгрузочных работ ориентированы преимущественно на ручной труд и присутствие человека-оператора. Данный подход, будучи надежным и относительно простым, имеет физические ограничения по скорости и функционалу, что делает его «узким местом» во всей технологической цепочке.

Рост грузопотоков, прогнозируемый Транспортной стратегией, неизбежно приведет к тому, что отсутствие развитой терминально-логистической инфраструктуры и ручные технологии станут главным ограничителем пропускной способности терминально-логистических центров **[3]**. Увеличение количества персонала и техники имеет экономические и физические пределы и не способно обеспечить кратный рост производительности, необходимый для выполнения стратегических показателей.

При этом следует подчеркнуть, что Поволжье выступает одним из ключевых макрорегионов, обеспечивающих консолидацию экспортных и транзитных грузопотоков в составе международного транспортного коридора «Север–Юг», а также новых мультимодальных маршрутов по оси «Средняя Волга — Каспийское море — Персидский залив».

Регионы Приволжского федерального округа исторически выступают ключевым звеном российской логистики благодаря наличию разветвленной речной сети (Волга, Кама), развитым железнодорожным и автомобильным коридорам и стратегическому положению между европейской и азиатской частями России. В последние годы здесь актуализирована потребность в развитии внутренних «сухих портов», тыловых контейнерных терминалов, интеллектуальных транспортных систем и мультимодальных логистических центров, способных интегрировать железнодорожные, речные и автомобильные потоки в единую эффективную систему **[4]**.

В этих условиях особое значение приобретают контрейлерные перевозки,



Рис. 2. Обеспечение связи коридора «Север — Юг» с регионами Урала и Поволжья

сочетающие экономичность железнодорожного транспорта с гибкостью автомобильного и позволяющие перераспределить часть нагрузок с перегруженного Восточного полигона и портов Дальнего Востока на внутренние коридоры через Поволжье **[5]**.

Переориентация части грузопотоков с Восточного полигона на направления международного транспортного коридора «Север — Юг» также обоснована ростом спроса на связи с рынками Индии, Ирана и Ближнего Востока **[6]**. При этом коридор «Север — Юг» демонстрирует устойчивый рост перевозок и имеет значительный резерв пропускной способности и потенциал увеличения грузопотока до 40–100 млн т к 2030 г. Это делает перераспределение части экспортных и транзитных потоков через Поволжье и Каспийское направление не только возможным, но и экономически целесообразным за счет сокращения расстояния и сроков доставки, а также диверсификации маршрутов.

Ключевые железнодорожные узлы Приволжского федерального округа — Самара, Сызрань, Ульяновск, Казань, Безенчук, Астрахань — обеспечивают связь коридора «Север — Юг» с Транссибирской магистралью, Уралом, Сибирью и центральными регионами, а также выход к каспийским портам Оля и Астрахань (*рис. 2*). В связи с развитием контрейлерных перевозок это формирует естественную основу для создания сети опорных терминалов, способных обслуживать автопоезда и полуприцепы в связке с магистральными железнодорожными маршрутами и речными переправами.

Несмотря на благоприятное географическое положение регионов Поволжья, их транспортная инфраструктура характеризуется высоким износом, дефицитом складских площадей и перегрузкой отдельных коридоров, что негативно сказывается на надежности перевозок и увеличивает логистические издержки. Это проявляется в недостаточной плотности современных терминалов, неравномерной доступности инфраструктурных объектов и ограниченной готовности существующих площадок к обработке контрейлеров **[7]**.

Ключевые проблемы, влияющие на перспективы интермодальных пере-

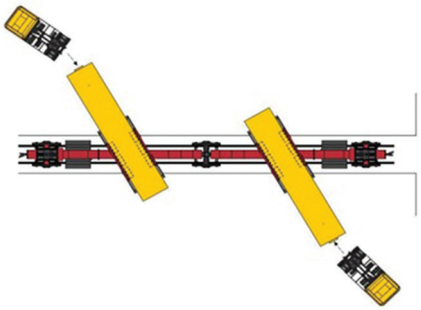


Рис. 3. Горизонтальная технология погрузки контрейлеров



Рис. 4. Вертикальная технология погрузки контрейлеров ричстакером с помощью траверсов и специализированной корзины

возок в Поволжье, включают дефицит цифровизации технологических процессов, а также низкую степень автоматизации погрузочноразгрузочных операций. Дополнительным сдерживающим фактором выступает организационная разрозненность логистических центров и отсутствие целостной модели развития контрейлерной сети на уровне макрорегиона. При этом в отечественных исследованиях и практических проектах обосновывается необходимость формирования иерархически организованных региональных терминальнологистических систем, учитывающих неопределенность спроса, комбинированное финансирование и интеграцию в международные коридоры, что напрямую релевантно задачам, предусмотренным в Транспортной стратегии развития терминальнологистических центров.

С целью успешного выбора моделей управления логистическими центрами необходимо учитывать технологические аспекты в виде предъявляемых требований к терминалам и автоматизации погрузочноразгрузочных работ **[8]**. В мировой практике по организации контрейлерных перевозок применяются два принципиальных подхода к перегрузке интермодальных единиц: горизонтальный (продольный и поперечногоризонтальный) и вертикальный.

Горизонтальные технологии (типа «бегущее шоссе», Modalohr, CargoBeamer, MegaSwing) требуют значительных капитальных вложений и создания специализированной инфраструктуры, а также подвижного состава, что ограничивает их масштабируемость в российских условиях. Пример осуществления горизонтальной погрузки представлен на *рис. 3*.

В России доминирует вертикальная перегрузка с использованием козловых кранов, ричстакеров и специализированных корзин для размещения полуприцепов[1]. Пример вертикальной погрузки представлен на *рис 4*.

Однако большинство существующих грузозахватных устройств для полуприцепов требуют присутствия стропальщиков, что увеличивает время обработки и снижает безопасность операций. В условиях прогнозируемого роста доли контейнерных и контрейлерных перевозок и необходимости кратного увеличения пропускной способности терминальной инфраструктуры ручные технологии становятся «узким местом» развития.

Разработка и внедрение специализированных автоматических погрузочноразгрузочных механизмов для контрейлерных терминалов, адаптированных к парку полуприцепов, эксплуатируемых в РФ, рассматривается как необходимый этап эволюции терминальнологистической инфраструктуры. Такие решения позволяют сократить время обработки поездов, повысить безопасность работ, интегрировать технологические операции в единый цифровой контур управления терминалом и создать технологическую основу для масштабирования интермодальных перевозок в регионах Поволжья.

В настоящее время авторами завершается разработка автоматического механизма для выполнения погрузочноразгрузочных работ с интермодальными транспортными единицами, обеспечивающего сокращение издержек и ускорение доставки грузов. Разработанный механизм будет предназначен для работы на интермодальных терминалах и для обеспечения механизированной погрузки и выгрузки полуприцепов на железнодорожные платформы без использования ручного труда. Ключевым техническим узлом является подъемная траверсаспредер с раздвижной рамой и системой подъемных штанг, которая позволит надежно захватывать полуприцеп с учетом разных марок и габаритов.

Рама спредера (*рис. 5*) будет снабжена электродвигателями для синхронной раздвижки/сдвижки, а также датчиками, контролирующими высоту подъема, соблюдение габарита погрузки и усилие захвата.

Благодаря разрабатываемому погрузочно-разгрузочному механизму появится возможность реализации новой технологии выполнения погрузочноразгрузочных работ с интермодальными грузовыми единицами, что повысит уровень конкурентоспособности и привлекательности на рынке транспортных услуг.

Перспективы развития терминальнологистической инфраструктуры Поволжья в интересах контрейлерных перевозок целесообразно увязать с формированием многоуровневой сети логистических объектов, включающей опорные мультимодальные центры на магистральных узлах.

Ключевыми направлениями являются: внедрение автоматизированных погрузочноразгрузочных комплексов и механизмов, развитие цифровых систем управления терминальными процессами и интеграция с системами управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте. Важным элементом является создание экспериментальных полигонов на базе перспективных терминальнологистических центров Поволжья для отработки новых технологий, сертификации оборудования и подготовки кадров.

[1] ОАО «РЖД» Концепция организации контрейлерных перевозок на «Пространстве 1520». М., 2011. 149 с.



Рис. 5. Разработанный механизм (спредер) для обеспечения автоматизированной погрузки и выгрузки полуприцепов на железнодорожные платформы

Таким образом, Поволжье обладает уникальным сочетанием географических, транспортных и экономических преимуществ, позволяющих сформировать новый вид транспортного сервиса в составе международного коридора «Север — Юг» и новых мультимодальных маршрутов. Вместе с тем реализация этого потенциала требует целостного развития терминальнологистической инфраструктуры: модернизации существующих терминалов; внедрения автоматизированных погрузочноразгрузочных комплексов; создания сети тыловых логистических центров; совершенствования моделей управления.

Комплексное сочетание инфраструктурных, технологических и организационных решений позволит не только повысить эффективность контрейлерных перевозок в Поволжье, но и укрепить роль Приволжского федерального округа в системе межрегиональных и международных транспортнологистических связей России. Т

Литература

1. Zuenko I. Logistics as a factor in Russia's «East policy». URL: https://russian-council.ru/en/analytics-and-comments/analytics/logistics-as-a-factor-in-russia-s-east-policy/ (дата обращения: 20.03.2026).
2. Smirnov A., Smolokurov E., Tarikov V., Krovsh S. Digital technologies in transport logistics in Russia // E3S Web of Conferences. 2022. Vol. 363. P. 1–10.
3. Гаврилов М. В. О перспективах развития региональной терминально-логистической инфраструктуры ОАО «РЖД»в современных условиях // Наука и образование транспорту. Самара: ПривГУПС, 2025. № 1. С. 120–123.
4. Гаврилов М. В. К вопросу развития терминально-логистической инфраструктуры в регионах Российской Федерации / под науч. ред. С. В. Бушуева // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта: сборник трудов Международной научно-практической конференции, 22–23 мая 2025 г., Екатеринбург, Россия. Екатеринбург: УрГУПС, 2025. Вып. 6 (268). С. 238–242.
5. Москвичев О. В. Методология организации функционирования контейнерно-транспортной системы на основе клиентоориентированности: дис. … д-ра тех. наук. М.: 2019. 415 с.
6. Москвичев О. В., Пацев Ю. П. Развитие контрейлерного сообщения на маршруте международного транспортного коридора «Север-Юг» // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14. № 2. С. 194–215. DOI: 10.12731/2227-930X-2024-14-2-284. EDN: BYQOZJ.
7. Прокофьева Т. А. Методологические основы формирования и оценки эффективности региональных транспортно-распределительных систем: дис. … д-ра экон. наук. М., 2004. 380 с.
8. Соколов Л. И. Сравнительный анализ моделей управления логистическими центрами в России и Европе: научный отчет. М.: Изд-во РУТ (МИИТ), 2024. 165 с.

Общероссийская общественная организация
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

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

Академия включает:
51 РЕГИОНАЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

СОСТАВ АКАДЕМИИ
В 2025 ГОДУ
> **700** УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ
(ДОКТОРОВ И КАНДИДАТОВ НАУК

Ксения В. Голубкина, канд. юрид. наук, доцент кафедры теории и истории государства и права Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,

Елена С. Комарова, магистрант ГМУ имени адмирала Ф. Ф. Ушакова.

Современные проблемы и перспективы развития морского арбитража в России в контексте международной практики // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 3–5.

Проанализированы системные проблемы, сдерживающие развитие морского арбитража в Российской Федерации. Проведен сравнительный анализ с ведущими зарубежными юрисдикциями (Англия, Сингапур) по ключевым аспектам: арбитрабельность споров, процедурная эффективность и исполнение решений. Сформулированы предложения по реформированию нормативной базы и практики Морской арбитражной комиссии для повышения ее конкурентоспособности на международной арене.

Ключевые слова: морской арбитраж, арбитрабельность, Морская арбитражная комиссия, Нью-Йоркская конвенция 1958 г., публичный порядок, цифровизация арбитража

Контакты: golubkina2011@yandex.ru

Алексей Н. Иванков, канд. техн. наук, доцент, главный инженер ООО «ПСК ТехПроект»,

Максим В. Четчуев, канд. техн. наук, руководитель научно-образовательного центра «Мультимодальные транспортные системы», доцент кафедры железнодорожных станций и узлов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),

Петр К. Рыбин, канд. техн. наук, первый проректор — проректор по учебной работе, профессор кафедры железнодорожных станций и узлов ПГУПС.

Проблемы применения действующих норм и правил проектирования железнодорожных станций и узлов // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 6–9.

Рассмотрена проблема несоответствия действующей в области проектирования железнодорожных станций и узлов нормативной базы современному состоянию железнодорожной техники и технологий. Отмечены имеющиеся противоречия в положениях некоторых нормативных документов. Сформулированы предложения по переработке и актуализации рассмотренных норм и правил проектирования.

Ключевые слова: железнодорожная станция, железнодорожный узел, нормативные документы, проектирование, реконструкция, новое строительство

Контакты: mts@pgups.ru

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

Анжелика А. Грузд, преподаватель кафедры управления эксплуатационной работой ПривГУПС.

Оптимизационный подход к интеграции цифровых технико-технологических решений в работу железнодорожных станций // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 10–13.

Предложен метод оптимального выбора цифрового технико-технологического решения из представленного множества альтернатив на основании многокритериальной оценки. Выбор наилучшего варианта осуществляется на основании четырех разнородных критериев: себестоимость переработки одного вагона, простой местного вагона на ответственности ОАО «РЖД», производительность труда, производственный травматизм. Приведен пример расчета по предлагаемой методике.

Ключевые слова: цифровые технологии, грузовая железнодорожная станция, путь необщего пользования, перерабатывающая способность станции, многокритериальность, Парето-оптимальное множество

Контакты: o.moskvichev@samgups.ru

Алексей И. Епихин, канд. техн. наук, начальник кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Государственного морского университета им. адм. Ф. Ф. Ушакова (ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова),

Сергей И. Кондратьев, д-р техн. наук, ректор ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова,

Евгений В. Хекерт, д-р техн. наук, проректор ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова.

Датчики и технологии искусственного интеллекта для ситуационной оценки состояния двигателя на автономных судах // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 14–17.

Под влиянием прорывных технологий Четвертой промышленной революции, аналитики больших данных, робототехники, датчиков и средств связи активно развивается концепция автономного морского судна, которая открывает широкие перспективы для будущего прогресса судоходной отрасли. Это параллельно актуализирует вопросы обеспечения безопасности самоходных судов за счет улучшенного мониторинга их жизненно важных систем, что является одной из основных задач в морской сфере. Рассмотрены некоторые вопросы ситуационной оценки состояния двигателей на беспилотных суднах с использованием датчиков и технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: автономное судно, датчик, двигатель, оценка, поломка

Контакты: zur_mga@nsma.ru

Екатерина Б. Куликова, канд. техн. наук, доцент кафедры управления транспортным бизнесом и интеллектуальных систем, руководитель проектов ПИШ «Академия ВСМ» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)),

Елизавета А. Хлопенова, аспирант РУТ (МИИТ).

Лучшие мировые практики формирования сети объектов инфраструктуры для обслуживания высокоскоростного подвижного состава // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 18–23.

Проведен обзор существующих зарубежных решений в области планирования и эксплуатации сети объектов инфраструктуры для технического обслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава. На основе сравнительного анализа опыта Японии, Германии и Франции выявлены различные концептуальные подходы к планированию и размещению объектов станционной инфраструктуры. Выявлен набор ключевых принципов, которые важно учитывать при принятии решений об их размещении на сети ВСМ.

Ключевые слова: высокоскоростное движение, инфраструктура для обслуживания высокоскоростного подвижного состава, пассажирская станция на ВСМ, депо для высокоскоростных поездов, планирование и размещение объектов станционной инфраструктуры

Контакты: iuit_kulikova@inbox.ru

Анна С. Яковлева, старший преподаватель кафедры автоматизированных, телекоммуникационных и электротехнических систем Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС),

Елена П. Епифанова, старший преподаватель кафедры автоматизированных, телекоммуникационных и электротехнических систем ДВГУПС,

Юлия В. Пономарчук, канд. физ.-мат. наук, директор Института транспортных и энергетических систем ДВГУПС.

Определение диагностического признака для анализа состояния изолирующих стыков // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 24–28.

Исследуется способ определения момента наступления отказа, связанного с отсутствием системы автоматизированного контроля состояния изолирующих стыков станционных рельсовых цепей, расположенных на съездах между главными путями. Установлен ключевой диагностический признак: асимметричное снижение сопротивления изолирующего стыка ниже порогового значения (~20 Ом) приводит к значительному росту тягового тока, протекающего через него.

Ключевые слова: изолирующий стык, рельсовая цепь, диагностика, имитационная модель, обратный тяговый ток

Контакты: annak22@list.ru

Арина Ю. Баландина, младший научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук.

Структурная трансформация логистической архитектуры Северо-Запада России: анализ динамики морских перевозок в условиях санкций // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 29–33.

Проведен анализ структурной трансформации морской логистической системы Северо-Западного федерального округа в результате воздействия санкционных ограничений в период 2022–2025 гг. На основе официальной статистики исследованы динамика объемов перевозок и изменения в территориальной и видовой структуре грузопотоков. Выделены три этапа адаптации: шок, формирование новой архитектуры и посткризисная стабилизация. Установлено, что санкции привели к глубокому перераспределению грузов между регионами.

Ключевые слова: морская логистика, СЗФО, грузоперевозки, междупортовые перевозки

Контакты: arina.kudrevich@yandex.ru

Георгий Ш. Мамулашвили, канд. техн. наук, старший научный сотрудник Центра технологических проектов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого.

Гидроэнергобашня проекта «Шлиссельбург» как автономный источник кризисного электроснабжения объектов железнодорожного и морского транспорта // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 34–37.

Представлена адаптация технологии гидроэнергобашни (Hydro Power Tower), разработанной в СПбПУ, для задач кризисного резервирования транспортных объектов. Приведены результаты численного моделирования для прототипа «Шлиссельбург», проектируемого для условий устья р. Невы. Описана конструкция сборно-разборной гиперболической башни из композитных материалов, вихревой турбины и свайно-винтового фундамента, обеспечивающая мобильность и работоспособность под ледовым покровом.

Ключевые слова: гидроэнергобашня, вихревая турбина, спиральный коллектор, гипербо-

лическая башня, кризисное электроснабжение, транспортная инфраструктура, CFD-моделирование, композитные сваи, подледная эксплуатация

Контакты: gsmprado@yandex.ru

Анатолий Н. Савоськин, д-р техн. наук, профессор кафедры электропоездов и локомотивов Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)),

Антон А. Чучин, канд. техн. наук, доцент кафедры электропоездов и локомотивов РУТ (МИИТ).

Работа системы автоматического управления скоростью движения электровоза с управляемыми преобразователями возбуждения // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 38–41.

Рассмотрены особенности функционирования системы автоматического управления скоростью движения электровоза с управляемыми преобразователями возбуждения при ведении грузового поезда по участкам пути с холмистым профилем. Выполнена оценка качества ее функционирования по известным критериям.

Ключевые слова: электровоз переменного тока, коллекторные тяговые электродвигатели, управляемый полупроводниковый транзисторный преобразователь возбуждения, качество функционирования системы автоматического управления

Контакты: chuchin_anton@mail.ru

Эльмира Р. Хамраева, научный сотрудник АО «Научно-внедренческий центр «Вагоны» (АО «НВЦ Вагоны»), аспирант Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),

Юрий П. Бороненко, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вагонов и вагонного хозяйства ПГУПС, генеральный директор АО «НВЦ Вагоны»,

Людмила В. Цыганская, канд. техн. наук., доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства ПГУПС, главный конструктор АО «НВЦ Вагоны».

Выбор параметров и технических решений трехэлементных тележек для грузовых вагонов с малой массой тары // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 42–46.

С целью разработки рекомендаций по выбору параметров трехэлементных тележек, обеспечивающих требуемые ходовые качества в порожнем режиме для вагонов с массой тары менее 21 т, выполнено цифровое моделирование движения грузовых вагонов на трехэлементных тележках с различными конструктивными схемами в кривых и прямых участках пути. На основании проведенных расчетов предложены новые параметры билинейного рессорного подвешивания и беззазорных скользунов, обеспечивающие выполнение нормативов по динамическим качествам вагонов с массой тары менее 21 т в порожнем и груженом режимах.

Ключевые слова: тележка, грузовой вагон, масса тары вагона, моделирование динамики

Ключевые слова: boron49@yandex.ru

Андрей В. Кочетков, д-р техн. наук, профессор кафедры автомобильных дорог и мостов Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ), профессор кафедры мостов, тоннелей и строительных конструкций Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ),

Алексей М. Щелудяков, канд. техн. наук, директор Института дорожного строительства и транспорта ПНИПУ.

Экологические риски влияния дорожного шума от транспортных потоков // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 47–50.

Анализируется транспортный шум в городах как один из опасных факторов, вредящих среде обитания и здоровью человека. Рассматриваются воздействие шума, производимого транспортными средствами на различные системы организма человека. Предлагаются правовые, административные, технические и иные меры по его ограничению.

Ключевые слова: транспортный шум, здоровье человека, городская среда, звуковая нагрузка

Евгений В. Феклин, канд. экон. наук, доцент кафедры организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей Института машиностроения, материаловедения и транспорта Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

Повышение эффективности функционирования городского общественного транспорта на основе централизованного управления рассредоточенными производствами // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 51–56.

На основе анализа фактических структурных параметров технической эксплуатации автотранспортных средств городского пассажирского транспорта общего пользования выявлена проблема низкой эффективности функционирования производственных мощностей вследствие отсутствия согласованного развития технологического, организационного и финансового уровней развития производства. Проведена многоуровневая структуризация технической эксплуатации пассажирского транспорта, предложен концептуальный подход, обеспечивающий оптимальную технологическую и организационную совместимость производственных мощностей.

Ключевые слова: техническая эксплуатация автомобилей, пассажирские перевозки, пассажирский транспорт общего пользования, автотранспортные предприятия, техническое обслуживание автомобилей, организация производства

Контакты: feklin_2013@mail.ru

Константин С. Перфильев, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»),

Григорий М. Волохов, д-р техн. наук, главный научный эксперт АО «ВНИКТИ»,

Сергей Н. Журавлев, канд. техн. наук, заместитель главного инженера по перспективным проектам — заведующий Научно-исследовательского конструкторского бюро по электрооборудованию и микропроцессорным системам управления АО «ВНИКТИ».

Управление скольжением колесных пар локомотива по критерию минимума износа в контакте «колесо — рельс» // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 57–60.

Приводится анализ работ по исследованию износа в системе «колесо — рельс», характеризующегося тремя уровнями градации: износ типа 1 — умеренный, износ типа 2 — интенсивный, износ типа 3 — катастрофический. Показано, что значение износа может быть измерено на борту локомотива в режиме реального времени с помощью доступных наблюдению параметров, характеризующих его тяговые свойства.

Ключевые слова: износ, плотность мощности скольжения, площадь контакта, коэффициент сцепления, математическая модель, результаты моделирования

Контакты: perfiliev@vnikti.com

Низами У. Гюлев, д-р техн. наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин и технологии конструкционных материалов Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова, профессор кафедры автомобильного транспорта Прикаспийского межрегионального института — филиала Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

Оценка качества пассажирских перевозок на маршрутах города в пиковый период (на примере г. Махачкалы) // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 61–64.

От степени заполнения салонов транспортных средств общественного транспорта в пиковый период зависит их количество на маршрутах, вместимость, интервалы движения. Проведена оценка показателя качества перевозок пассажиров с помощью коэффициента статического заполнения салонов транспортных средств. Разработана нелинейная регрессионная модель изменения этого коэффициента в зависимости от изменения количества пассажиров, приходящихся на 1 м^2 свободной площади салона транспортного средства, и проведена оценка ее адекватности.

Ключевые слова: показатель качества, регрессионная модель, закономерность, транспортное средство, городской маршрут, пиковый период

Контакты: ngulev2@gmail.com

Максим В. Гаврилов, преподаватель кафедры управления эксплуатационной работы, аспирант Приволжского государственного университета путей сообщения (ПривГУПС),

Елена Е. Москвичева, канд. техн. наук, доцент кафедры технологий грузовой и коммерческой работы, станций и узлов ПривГУПС,

Юрий П. Пацев, старший преподаватель кафедры технологий грузовой и коммерческой работы, станций и узлов ПривГУПС.

Перспективы развития терминально-логистической инфраструктуры в регионах Поволжья для осуществления контрейлерных перевозок // Транспорт РФ. — 2026. — № 3 (124). — С. 65–68.

Рассмотрены перспективы развития терминальнологистической инфраструктуры Поволжья как основы национальной сети контрейлерных перевозок в составе международного коридора «Север — Юг» и региональных транспортнологистических систем. Показано, что в условиях геоэкономической переориентации и роста грузопотоков ключевыми проблемами являются низкая автоматизация погрузочноразгрузочных работ, фрагментарность логистической сети и недостаточная цифровизация. Особое внимание уделено выбору технологий для контрейлерных терминалов.

Ключевые слова: терминальнологистическая инфраструктура, интермодальные перевозки, контрейлерные перевозки, логистические центры, цифровизация, автоматизация погрузочноразгрузочных работ

Контакты: gavrilovmaxim01@yandex.ru

Ksenia V. Golubkina, Cand. Sci. (Law), Associate Professor of the Department of Theory and History of State and Law, Admiral F. F. Ushakov State Maritime University,

Elena S. Komarova, Master's student, Admiral F. F. Ushakov State Maritime University.

Current Problems and Prospects for the Development of Maritime Arbitration in Russia in the Context of International Practice // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 3–5.

The systemic problems hindering the development of maritime arbitration in the Russian Federation are analyzed. A comparative analysis is carried out with leading foreign jurisdictions (England, Singapore) across key aspects: the arbitrability of disputes, procedural efficiency, and the enforcement of awards. Proposals are formulated for reforming the regulatory framework and the practice of the Maritime Arbitration Commission in order to enhance its competitiveness in the international arena.

Keywords: maritime arbitration, arbitrability, Maritime Arbitration Commission, 1958 New York Convention, public policy, digitalization of arbitration

Contacts: golubkina2011@yandex.ru

Aleksey N. Ivankov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Chief Engineer, OOO PSK TekhProekt,

Maksim V. Chetchuev, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Research and Education Center "Multimodal Transport Systems", Associate Professor of the Department of Railway Stations and Junctions, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS),

Petr K. Rybin, Cand. Sci. (Eng.), First Vice-Rector — Vice-Rector for Academic Affairs, Professor of the Department of Railway Stations and Junctions, PGUPS.

Problems of Applying the Current Norms and Rules for the Design of Railway Stations and Junctions // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 6–9.

The problem of the discrepancy between the regulatory framework currently in force in the field of railway station and junction design and the present state of railway equipment and technologies is examined. Existing contradictions in the provisions of certain regulatory documents are noted. Proposals are formulated for the revision and updating of the design norms and rules under consideration.

Keywords: railway station, railway junction, regulatory documents, design, reconstruction, new construction

Contacts: mts@pgups.ru

Oleg V. Moskvichev, Dr. Sci. (Eng.), Director of the Institute of Management and Economics, Volga State University of Railway Transport (PrivGUPS),

Anzhelika A. Gruzd, Lecturer of the Department of Operational Work Management, PrivGUP S.

An Optimization Approach to Integrating Digital Technical and Technological Solutions into the Operation of Railway Stations // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 10–13.

A method is proposed for the optimal selection of a digital technical and technological solution from a given set of alternatives on the basis of a multi-criteria assessment. The best option is selected on the basis of four heterogeneous criteria: the handling cost per railcar, the dwell time of a local railcar under the responsibility of OAO RZD, labor productivity, and occupational injuries. An example calculation using the proposed methodology is provided.

Keywords: digital technologies, freight railway station, non-public track, station handling capacity, multi-criteria assessment, Pareto-optimal set

Contacts: o.moskvichev@samgups.ru

Aleksey I. Epikhin, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Operation of Ship Power Plants, Admiral F. F. Ushakov State Maritime University (Admiral F. F. Ushakov SMU),

Sergey I. Kondratiev, Dr. Sci. (Eng.), Rector, Admiral F. F. Ushakov SMU,

Evgeny V. Khekert, Dr. Sci. (Eng.), Vice-Rector, Admiral F. F. Ushakov SMU.

Sensors and Artificial Intelligence Technologies for the Situational Assessment of Engine Condition on Autonomous Vessels // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 14–17.

Under the influence of the breakthrough technologies of the Fourth Industrial Revolution — big data analytics, robotics, sensors, and communication facilities — the concept of the autonomous marine vessel is actively developing, opening up broad prospects for the future progress of the shipping industry. At the same time, this brings to the fore the issues of ensuring the safety of self-propelled vessels through improved monitoring of their vital systems, which is one of the principal tasks in the maritime field. Certain issues of the situational assessment of engine condition on unmanned vessels using sensors and artificial intelligence technologies are considered.

Keywords: autonomous vessel, sensor, engine, assessment, failure

Contacts: zur_mga@nsma.ru

Ekaterina B. Kulikova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Transport Business Management and Intelligent Systems, Project Manager of the Advanced Engineering School "High-Speed Rail Academy", Russian University of Transport (RUT (MIIT)),

Elizaveta A. Khlopenova, Postgraduate student, RUT (MIIT).

Best International Practices in Building a Network of Infrastructure Facilities for Servicing High-Speed Rolling Stock // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 18–23.

A review is conducted of existing foreign solutions in the field of planning and operating a network of infrastructure facilities for the maintenance and repair of high-speed rolling stock. Based on a comparative analysis of the experience of Japan, Germany, and France, different conceptual approaches to the planning and siting of station infrastructure facilities are identified. A set of key principles is identified that is important to take into account when making decisions on their placement within the high-speed rail (HSR) network.

Keywords: high-speed traffic, infrastructure for servicing high-speed rolling stock, HSR passenger station, depot for high-speed trains, planning and siting of station infrastructure facilities

Contacts: iuit_kulikova@inbox.ru

Anna S. Yakovleva, Senior Lecturer of the Department of Automated, Telecommunication, and Electrical Engineering Systems, Far Eastern State Transport University (DVGUPS),

Elena P. Epifanova, Senior Lecturer of the Department of Automated, Telecommunication, and Electrical Engineering Systems, DVGUPS,

Yulia V. Ponomarchuk, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Director of the Institute of Transport and Energy Systems, DVGUPS.

Determining a Diagnostic Indicator for Analyzing the Condition of Insulated Rail Joints // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 24–28.

A method is investigated for determining the moment of onset of a failure associated with the absence of an automated monitoring system for the condition of the insulated rail joints of station track circuits located on crossovers between main tracks. A key diagnostic indicator is established: an asymmetric reduction in the resistance of an insulated rail joint below a threshold value (~20 Ohms) leads to a significant increase in the traction current flowing through it.

Keywords: insulated rail joint, track circuit, diagnostics, simulation model, return traction current

Contacts: annak22@list.ru

Arina Yu. Balandina, Junior Researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences.

Structural Transformation of the Logistics Architecture of Northwest Russia: An Analysis of the Dynamics of Maritime Shipping under Sanctions // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 29–33.

An analysis is conducted of the structural transformation of the maritime logistics system of the Northwestern Federal District as a result of the impact of sanctions restrictions during the 2022–2025 period. Based on official statistics, the dynamics of shipping volumes and changes in the territorial and modal structure of freight flows are examined. Three stages of adaptation are distinguished: shock, the formation of a new architecture, and post-crisis stabilization. It is established that the sanctions led to a profound redistribution of cargo among the regions.

Keywords: maritime logistics, Northwestern Federal District, freight transportation, inter-port shipping

Contacts: arina.kudrevich@yandex.ru

Georgy Sh. Mamulashvili, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Center for Technological Projects, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

The Hydro Power Tower of the "Shlisselburg" Project as an Autonomous Source of Emergency Power Supply for Railway and Maritime Transport Facilities // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 34–37.

The adaptation of the Hydro Power Tower technology developed at SPbPU for the tasks of

emergency backup power for transport facilities is presented. The results of numerical simulation for the "Shlisselburg" prototype, designed for the conditions of the mouth of the Neva River, are provided. The design is described of a prefabricated, demountable hyperbolic tower made of composite materials, a vortex turbine, and a helical-pile foundation, ensuring mobility and operability under ice cover.

Keywords: hydro power tower, vortex turbine, spiral collector, hyperbolic tower, emergency power supply, transport infrastructure, CFD modeling, composite piles, under-ice operation

Contacts: gsmprado@yandex.ru

Anatoly N. Savoskin, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Electric Trains and Locomotives, Russian University of Transport (RUT (MIIT)),

Anton A. Chuchin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Electric Trains and Locomotives, RUT (MIIT).

Operation of an Automatic Speed Control System for an Electric Locomotive with Controlled Excitation Converters // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 38–41.

The features of the operation of an automatic speed control system for an electric locomotive with controlled excitation converters when hauling a freight train over track sections with a hilly profile are examined. The quality of its operation is assessed according to established criteria.

Keywords: AC electric locomotive, commutator traction motors, controlled semiconductor transistor excitation converter, quality of operation of the automatic control system

Contacts: chuchin_anton@mail.ru

Elmira R. Khamraeva, Researcher, AO Research and Implementation Center "Vagony" (AO NVC Vagony), Postgraduate student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS),

Yury P. Boronenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Railcars and Railcar Operations, PGUPS, General Director of AO NVC Vagony,

Lyudmila V. Tsyganskaya, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Railcars and Railcar Operations, PGUPS, Chief Designer of AO NVC Vagony.

Selection of Parameters and Technical Solutions for Three-Piece Bogies for Freight Railcars with Low Tare Weight // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 42–46.

With the aim of developing recommendations for selecting the parameters of three-piece bogies that provide the required running performance in the empty condition for railcars with a tare weight of less than 21 t, digital simulation was carried out of the motion of freight railcars on three-piece bogies with various structural configurations on curved and straight track sections. Based on the calculations performed, new parameters are proposed for bilinear spring suspension and zero-clearance side bearers, ensuring compliance with the standards for the dynamic performance of railcars with a tare weight of less than 21 t in both the empty and loaded conditions.

Keywords: bogie, freight railcar, railcar tare weight, dynamics simulation

Contacts: boron49@yandex.ru

Andrey V. Kochetkov, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Highways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (PNRPU), Professor of the Department of Bridges, Tunnels, and Structural Engineering, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Aleksey M. Sheludyakov, Cand. Sci. (Eng.), Director of the Institute of Road Construction and Transport, PNRPU.

Environmental Risks of the Impact of Road Noise from Traffic Flows // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 47–50.

Traffic noise in cities is analyzed as one of the hazardous factors harmful to the human habitat and health. The effects of the noise produced by vehicles on various systems of the human body are examined. Legal, administrative, technical, and other measures for limiting it are proposed.

Keywords: traffic noise, human health, urban environment, sound load

Evgeny V. Feklin, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Department of Transportation Organization, Traffic Safety, and Vehicle Service, Institute of Mechanical Engineering, Materials Science, and Transport, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

Improving the Efficiency of Urban Public Transport Operation Based on the Centralized Management of Dispersed Production Facilities // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 51–56.

Based on an analysis of the actual structural parameters of the technical operation of the vehicles of urban public passenger transport, the problem of the low operating efficiency of production facilities is identified, resulting from the absence of coordinated development of the technological, organizational, and financial levels of production. A multi-level structuring of the technical operation of passenger transport is carried out, and a conceptual approach is proposed that ensures the optimal technological and organizational compatibility of production facilities.

Keywords: technical operation of vehicles, passenger transportation, public passenger transport, motor transport enterprises, vehicle maintenance, production organization

Contacts: feklin_2013@mail.ru

Konstantin S. Perfiliev, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, AO Research, Design, and Technology Institute of Rolling Stock (AO VNIKTI),

Grigory M. Volokhov, Dr. Sci. (Eng.), Chief Scientific Expert, AO VNIKTI,

Sergey N. Zhuravlev, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Chief Engineer for Advanced Projects — Head of the Research and Design Bureau for Electrical Equipment and Microprocessor Control Systems, AO VNIKTI.

Control of Locomotive Wheelset Slip Based on the Criterion of Minimum Wear in the "Wheel–Rail" Contact // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 57–60.

An analysis is provided of studies investigating wear in the "wheel–rail" system, characterized by three gradation levels: type 1 wear — moderate, type 2 wear — intensive, and type 3 wear — catastrophic. It is shown that the wear value can be measured on board the locomotive in real time using observable parameters that characterize its traction properties.

Keywords: wear, slip power density, contact area, adhesion coefficient, mathematical model, simulation results

Contacts: perfiliev@vnikti.com

Nizami U. Gyulev, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Agricultural Machinery and Structural Materials Technology, M. M. Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University, Professor of the Department of Road Transport, Caspian Interregional Institute — a branch of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Assessment of the Quality of Passenger Transportation on Urban Routes during the Peak Period (Using the Example of Makhachkala) // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 61–64.

The number of public transport vehicles on routes, their capacity, and the headways depend on the degree to which the vehicle interiors are filled during the peak period. The passenger transportation quality indicator is assessed using the coefficient of static filling of vehicle interiors. A nonlinear regression model is developed for the variation of this coefficient as a function of the change in the number of passengers per 1 m^2 of free interior floor area of the vehicle, and its adequacy is assessed.

Keywords: quality indicator, regression model, regularity, vehicle, urban route, peak period

Contacts: ngulev2@gmail.com

Maksim V. Gavrilov, Lecturer of the Department of Operational Work Management, Postgraduate student, Volga State University of Railway Transport (PrivGUPS),

Elena E. Moskvicheva, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Freight and Commercial Operations, Stations, and Junctions Technologies, PrivGUPS,

Yury P. Patsev, Senior Lecturer of the Department of Freight and Commercial Operations, Stations, and Junctions Technologies, PrivGUPS.

Prospects for the Development of Terminal and Logistics Infrastructure in the Volga Region for Carrying Out Piggyback Transportation // Transport of the Russian Federation. — 2026. — No. 3 (124). — P. 65–68.

The prospects for the development of terminal and logistics infrastructure in the Volga region as the basis of a national piggyback transportation network within the "North–South" international corridor and regional transport and logistics systems are examined. It is shown that, under conditions of geo-economic reorientation and growing freight flows, the key problems are the low automation of loading and unloading operations, the fragmentation of the logistics network, and insufficient digitalization. Particular attention is paid to the selection of technologies for piggyback terminals.

Keywords: terminal and logistics infrastructure, intermodal transportation, piggyback transportation, logistics centers, digitalization, automation of loading and unloading operations

Contacts: gavrilovmaxim01@yandex.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 В ЦИФРАХ

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»)

Академия включает:
51 РЕГИОНАЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

СОСТАВ АКАДЕМИИ В 2025 ГОДУ
> **700** УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ (ДОКТОРОВ И КАНДИДАТОВ НАУК)

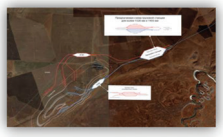
- 6 ОТРАСЛЕВЫХ КОМИТЕТОВ
- НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
- ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ
- ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ ВСМ РАТ

Членами Академии за 2021–2025 годы:

- 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 МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА И ВЫСТАВКИ «ТРАНСПОРТ РОССИИ»
- ПРИНЯТ **171** ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ ЧЛЕН
- ВПЕРВЫЕ — УЧРЕЖДЕН ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ **И ПРОВЕДЕНО 13 ЗАСЕДАНИЙ**
- САЙТ И НОВОСТНЫЕ ПОРТАЛЫ АКАДЕМИИ ПОСЕЩАЮТ **БОЛЕЕ 5000 ЧЕЛОВЕК**



Основные направления деятельности



Разработка концепций, технико-экономических обоснований строительства объектов транспортной инфраструктуры



Проведение комплексных научно-исследовательских работ



Научно-техническая, экспертная и методическая поддержка проектов строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры



Разработка предложений по повышению перерабатывающей способности станций, разработка имитационной модели



Разработка нормативно-технических документов и научно-технических обоснований (СП, ГОСТ, НТО, СТО)



Разработка комплексных схем организации улично-дорожной сети



Разработка схем транспортного планирования и комплексных планов развития транспортной инфраструктуры регионов

www.rosacademtrans.ru

info@rosacademtrans.ru