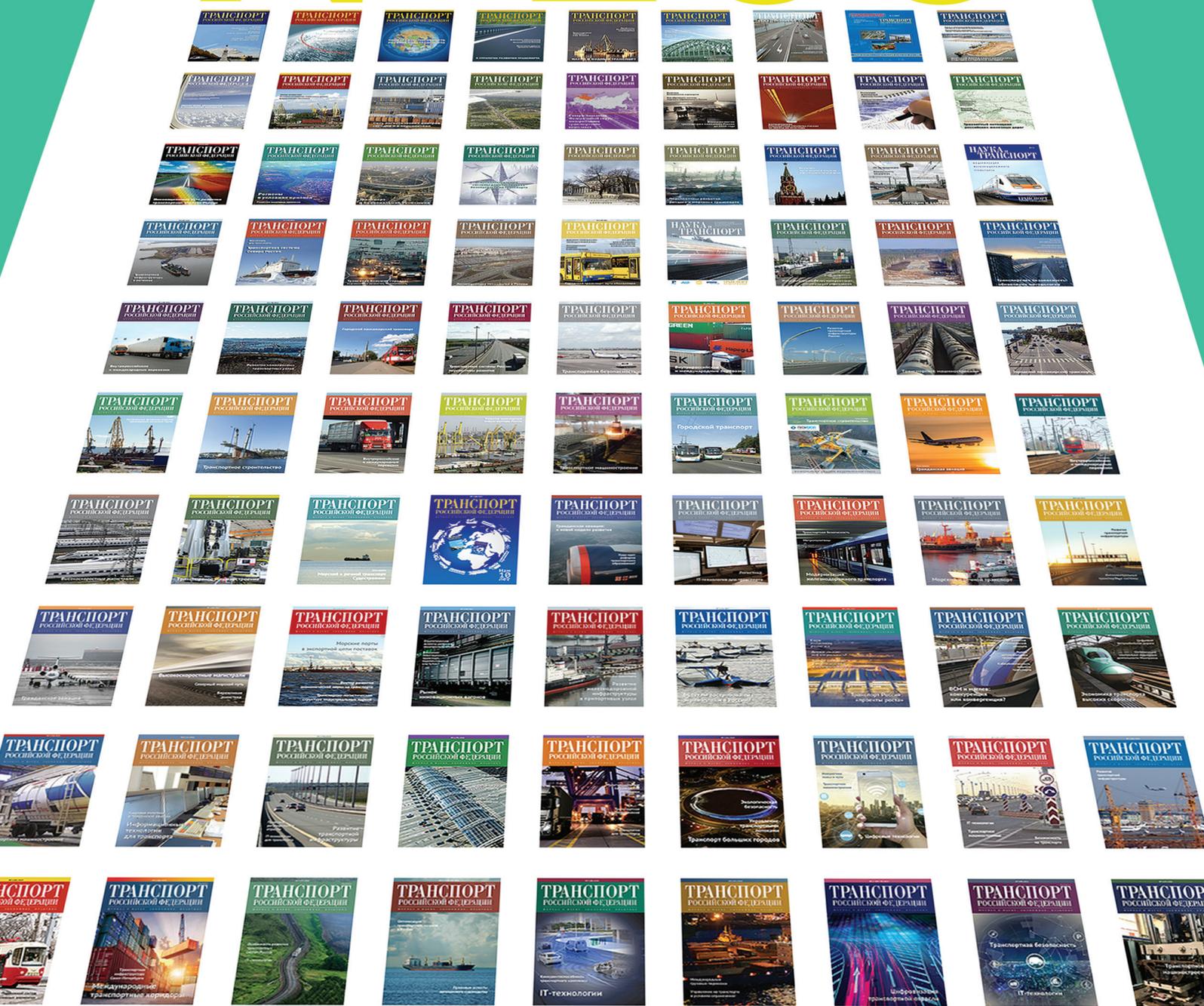


ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЖУРНАЛ О НАУКЕ, ЭКОНОМИКЕ, ПРАКТИКЕ

№ 100



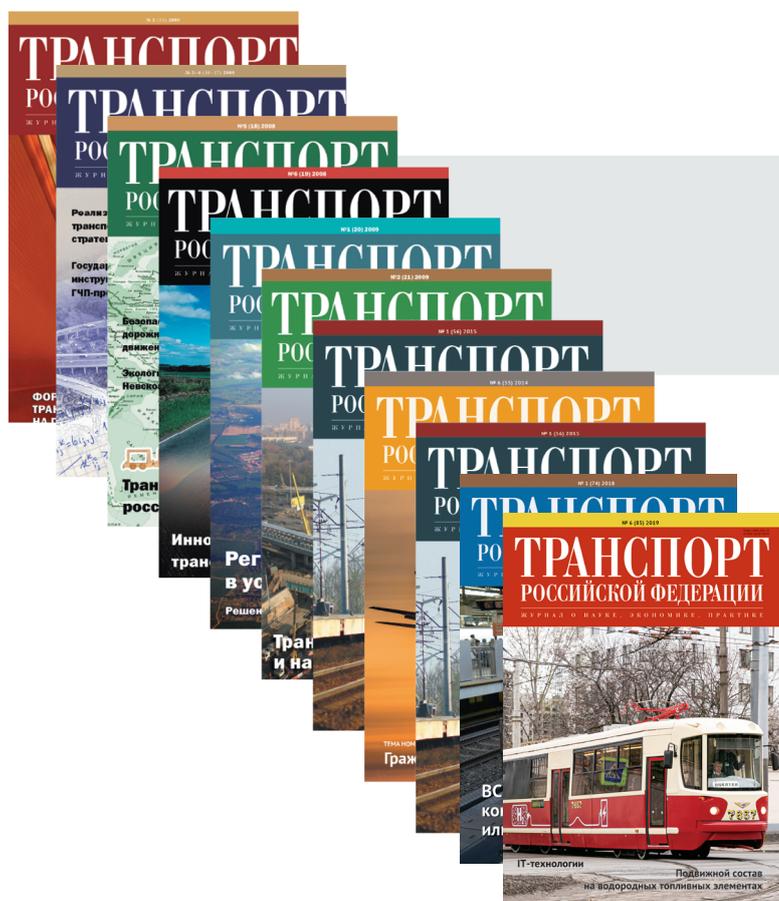
Подписка

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>



Тимофеев О. Я. Обращение к читателю 3

Поздравления 4

ЭКОНОМИКА И ФИНАНСЫ

Мачерет Д. А., Валеев Н. А.

Влияние транспорта и торговли на экономический рост 6

Коланьков С. В., Каптелин Д. С.

Особенности применения метода остатка для оценки рыночной стоимости земельных участков, обремененных непогашенными кредитами под строительство железных дорог .. 10

БЕЗОПАСНОСТЬ

Милованов В. К., Дмитриев С. В., Беянки А. В., Петухов С. Ю.

Опыт создания систем пассивной безопасности для подвижного состава железных дорог 14

Зуев Д. В., Бочкарев С. В.

Цифровой двойник инфраструктуры железнодорожной автоматики и телемеханики 19

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

Титова Т. С., Бороненко Ю. П., Покровская О. Д.

Оценка инновационности новых грузовых вагонов..... 23

Рахимов Р. В., Третьяков А. В., Рузметов Я. О., Нигматов О. Б., Зимакова М. В.

Исследования по совершенствованию метода измерения силового воздействия подвижного состава на путь для мониторинга технического состояния колес..... 29

Савоськин А. Н., Васильев А. П., Бурчак Г. П.

Применение дискретной модели пути в задачах динамики рельсовых экипажей..... 33

Бороненко Ю. П.

Метод оценки энергоэффективности грузовых вагонов.... 37

ГОРОД И ТРАНСПОРТ

Воробьев А. А., Будюкин А. М., Кондратенко В. Г.

Перспективы применения направляемого легкого транспорта в российских городах 40

IT-ТЕХНОЛОГИИ

Ромен Ю. С., Савоськин А. Н., Криволапов М. В., Белгородцева Т. М.

Моделирование трения в цифровых моделях подвижного состава 44

Ададунов А. С., Савельев И. Ю.

Обзор существующих установок автоматизированного бесконтактного измерения геометрических параметров колесных пар..... 48

ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНИКА

Морозова И. О.

Оценка прочности, устойчивости и выносливости балок из высокопрочных материалов 52

Ворожцов О. В., Селезнев Е. А.

Гидрообъемная трансмиссия на основе шестеренных гидромашин 55

ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Третьяков А. В., Зимакова М. В., Рахимов Р. В.

Организация мониторинга технического состояния вагонов в условиях Северного широтного хода 58

Аннотации 64

Abstracts 65

Транспорт Российской Федерации

Журнал о науке, экономике, практике

Учредители

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

Издатель

ООО «Издательский дом Т-ПРЕССА»

При поддержке
Объединенного научного совета по междисциплинарным
проблемам транспортных систем РАН

Генеральный директор
Людмила Карпичева

Главный редактор
Олег Тимофеев

Заместитель главного редактора
Игорь Киселев

Научный редактор
Дмитрий Ефанов

Выпускающий редактор
Андрей Гурьев

Арт-директор
Сергей Тюрин

Литературный редактор и корректор
Элла Горелик

Референт
Людмила Филиппова

Переводчик
Ульяна Романова

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77- 34452 от 03.12.2008
выдано Федеральной службой по надзору
в сфере связи и массовых коммуникаций.

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

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

Адрес редакции:

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

Редакция журнала не несет ответственности
за содержание рекламных материалов.

Установочный тираж 7 000 экз.

Подписано в печать 15.09.2022.

Отпечатано:

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

Заказ №

Редакционный совет

Олерский В. А. — председатель редакционного совета
журнала

Нерадько А. В. — руководитель Федерального агентства воздушного транспорта

Ефимов В. Б. — президент Союза транспортников России

Мишарин А. С. — президент Российской академии транспорта

Гапанович В. А. — президент НП «ОПЖТ»

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

Редакционная коллегия

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

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

Ефанов Д. В. — заместитель ген. директора по научно-исследовательской работе ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта

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

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

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

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

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

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

Киселев И. П. — профессор кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» и кафедры «История, философия, политология и социология» ПГУПС

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

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

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

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

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

Панычев А. Ю. — ректор ПГУПС

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

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

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

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



Уважаемые читатели, коллеги!

Вы держите в руках сотый юбилейный номер нашего журнала. Он выходит в очень непростое для страны время.

Деятельность транспортной отрасли России вносит 7–9 % в валовый внутренний продукт государства, что можно объяснить большими размерами страны и ее положением на перекрестке цивилизации.

Кроме самого транспорта значимый вклад в экономику вносят отрасли транспортного машиностроения: судостроение, авиастроение, автостроение, железнодорожное машиностроение.

Журнал на протяжении всей своей деятельности позиционировался как общая площадка для обсуждения проблем транспорта, логистики, машиностроения. При этом рубрики издания охватывают как научные, так и практические задачи транспорта, его экономику, логистику, создание техники и оборудования, что делает журнал комплексным и, в своем роде, уникальным.

Иногда нам задают вопрос: не является ли журнал излишне академичным? Не могу с этим согласиться. Новые знания, полученные исследователями, практиками, учеными, представляются в виде научных статей, доступных специалистам, что делает издание общепрофессиональным. Темы публикаций всегда актуальны, а конечные задачи исследований и разработок неизменно общественно значимы.

Сегодня мы являемся участниками глобального преобразования мира, в котором транспорт играет ключевую роль. Следует отметить, что санкции против России в значительной мере направлены против транспортной отрасли и смежных сервисов, таких,

как кредитование, лизинг, страхование, техническое регулирование.

Поиск новых организационных, финансовых, технических возможностей для ускоренного развития транспорта нашей страны, транспортной технологической независимости — главная цель практиков и исследователей. Можно назвать несколько задач такой комплексной цели:

- поиск новых экономически рентабельных мультимодальных транспортных технологий для доставки основных видов грузов как внутри РФ, так и зарубежным партнерам;
- создание безлюдных транспортных технологий, что позволит высвободить ограниченные людские ресурсы. Определенные успехи здесь есть уже во всех видах транспорта;
- создание надежных полностью отечественных транспортных и, в частности, инфраструктурных систем и средств;
- строительство и обустройство новых широтных и меридиональных транспортных коридоров. Один из них — Северный морской путь, которому уделяется в последнее десятилетие пристальное внимание всеми участниками экономической деятельности.

В целом же в ближайшие годы нас ожидают радикальные изменения международных транспортных потоков как по направлениям, так и по объему и составу грузов. Мы все должны стать активными участниками этих процессов, потому что в том числе и от этого, без преувеличения, зависят дальнейшие судьбы нашего Отечества.

Хочется пожелать нашим читателям, авторам, редакции пережить эти времена без потерь и войти в новый миропорядок стабильным, разнообразным научным периодическим изданием в такой интересной области человеческой деятельности как транспорт.

Тимофеев О. Я.,
главный редактор,
д-р техн. наук, профессор



Министерство транспорта Российской Федерации

Коллективу журнала «Транспорт Российской Федерации»

Уважаемые коллеги!

Поздравляю коллектив журнала и всех его читателей с выпуском юбилейного сотого номера!

Журнал «Транспорт Российской Федерации» – одно из главных научных изданий в транспортной сфере. Среди его авторов – признанные эксперты отрасли, использующие в своих статьях научный подход, глубокое знание технической и гуманитарной проблематики, социальную актуальность транспортной отрасли.

Значение информационной политики во всех отраслях жизнедеятельности страны продолжает нарастать. В этом свете особую важность обретает публичный анализ существующих проблем и предложений по их решению. Такой подход обеспечивает развитие отрасли благодаря экспертному сообществу.

«Транспорт Российской Федерации» всегда являлся трибуной обсуждения актуальных вопросов отрасли. Целый ряд инновационных идей, высказанных впервые на страницах журнала, позднее был воплощен в отраслевой практике.

Еще раз поздравляю коллектив издания с выходом юбилейного номера, желаю дальнейших творческих успехов и всего самого наилучшего!

**Заместитель Министра транспорта
Российской Федерации**

И.П. Чалик
И.П. Чалик

**№ 31
сентябрь 2022 г.**



Журнал «Транспорт Российской Федерации» хорошо известен всем членам Российской академии транспорта, более того, является одним из самых востребованных периодических изданий для наших публикаций.

В каждом номере мы видим целый ряд по-настоящему интересных, часто прорывных, статей, содержащих новый взгляд на существующую проблематику, глубокую аналитику, описание уникального эксперимента, инновационные предложения, решение актуальной задачи и т.д.

Сегодня роль отраслевой научно-практической прессы вследствие радикальных изменений в международных отношениях, безусловно, резко возрастает. И прежде всего нам всем необходимо усилить работу по развитию отечественных предложений в области высокотехнологичных производств, создания новых внутренних и международных логистических связей, повышения конкурентоспособности российского транспортного машиностроения и многим другим.

Уверен, «Транспорт РФ» как и прежде будет в этой связи нашим надежным помощником, активным проводником передового опыта в сфере транспорта и транспортного машиностроения.

Сердечно поздравляю журнал «Транспорт Российской Федерации» с сотым юбилейным выпуском! Желаю изданию дальнейшей успешной деятельности на благо транспортной отрасли и страны в целом!

**Президент
Российской академии транспорта, д.т.н.**  **А.С. Мишарин**

Говоря о юбилейном сотом номере журнала «Транспорт Российской Федерации», хочется, прежде всего, вспомнить его основателя – первого заместителя министра путей сообщения в 1997 - 1999 гг., а затем ректора ПГУПСа и президента РАТ В.И. Ковалева.

Будучи человеком передовых взглядов, специалистом высшего класса, патриотом отрасли и Отечества, Валерий Иванович в задуманном издании старался воплотить весь спектр своих профессиональных компетенций и глубину понимания значения транспорта для общества и экономики Российской Федерации.

Журнал был всегда очень насыщенным, с действительно интересными (а не дежурными) материалами, с широким кругом авторов, причем, как известных ученых, так и молодых специалистов. Часто на страницах «Транспорта РФ» в качестве экспертов выступали и государственные деятели, руководители предприятий, лидеры общественных профессиональных организаций.

К сожалению, В.И. Ковалев рано ушел из жизни. Однако дело его не прервалось, и мы с удовлетворением видим, что журнал последовательно продолжает традиции, заложенные в первые годы своего существования. За это редакции и издателю большое спасибо!

В настоящее время происходит технологическая трансформация транспорта, кардинально изменяются транспортные потоки. Конечно, меняется и роль отраслевой печати, в том числе научной.

На транспорте так же, как и в экономике, резко возрастает потребность в импортозамещении, переориентации в решении целого ряда научных и производственных проблем, смене привычных ориентиров. Нет сомнения, что отечественные издания станут более востребованными у ученых и специалистов, а, следовательно, возникнут и предпосылки для роста качества материалов.

От имени ученых Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» сердечно поздравляю журнал и его читателей с заметной вехой в истории издания и желаю дальнейшей большой интересной работы на благо транспортной отрасли и всей нашей страны!

Председатель Объединенного
ученого совета ОАО «РЖД»,
доктор экономических наук,
профессор



Б.М. Лапидус

Влияние транспорта и торговли на экономический рост



Д. А. Мачерет,
д-р экон. наук, профессор,
первый заместитель пред-
седателя Объединенного
ученого совета
ОАО «РЖД», АО «Науч-
но-исследовательский
институт железнодо-
рожного транспорта»
(«ВНИИЖТ»)



Н. А. Валеев,
канд. экон. наук, старший
научный сотрудник
Объединенного ученого
совета ОАО «РЖД»,
доцент, АО «ВНИИЖТ»

Использование логико-аналитического метода, сочетающего теоретическое понимание с эмпирическим анализом, позволяет качественно рассмотреть влияние деятельности в области транспорта и торговли на экономический рост и сделать важные уточняющие выводы для современных условий.

Введение

Транспорт и торговля — взаимообуславливающие сферы деятельности. Они вносят значимый вклад в экономику Российской Федерации. Их совокупная доля в валовой добавленной стоимости (ВДС), генерируемой экономикой России, за 2013–2020 гг. составила 22 %, а абсолютная величина — 138,8 трлн руб. (в ценах 2016 г.) [1]. Хотя, как будет показано ниже, доля непосредственно транспорта в этих величинах составляет около 1/3, именно развитие транспортной системы позволяет вести активную и эффективную торговую деятельность. При этом системное развитие транспорта и торговли является необходимым условием общего роста экономики.

Такие оценки стали возможными, благодаря формированию начиная с середины XX в., системы национальных счетов, которая продолжает совершенствоваться [2, 3].

Теоретическое понимание

Следует отметить долгий путь, который проделала экономическая теория в понимании вклада обмена (торгово-транспортной деятельности [4]) в производство экономических благ и хозяйственное развитие.

Физиократы, например, считали производительным только сельское хозяйство [5], так что речи о производительности транспорта и торговли при таком подходе быть не могло. В соответствии с марксистской экономической теорией все отрасли хозяйства подразделялись на производственную и непроизводственную сферы, при этом производительной считалась деятельность только первой из них. В рамках данной парадигмы экономическое место транспорта было предметом длительных дискуссий в отечественной экономической науке [6].

В полной мере роль транспорта и обмена в целом может быть уяснена только в рамках рыночной экономики. Еще Адам

Смит [7] показал ключевую роль обмена для экономического роста, и в дальнейшем это понимание развивалось, в частности, в рамках австрийской экономической школы [8]. В современных условиях исследования, посвященные оценке роли транспорта [9–12] и торговли [13–15] в обеспечении экономического развития, поддержания роста экономики и повышения ее эффективности, продолжают.

Поскольку грузовой транспорт служит материальной основой товарообмена (торговли), а пассажирский, в свою очередь, — материальной основой коммерческих контактов, обмена идеями и производственными компетенциями, распространения передовых технологий¹ [16, 17], оправданными являются использование понятия «торгово-транспортная деятельность» [4] и анализ ее совокупного влияния на макроэкономические показатели.

Теоретический и исторический анализ показывает наличие существенной взаимосвязи между перемещением людей и материальных благ в процессе экономического обмена, с одной стороны, и экономическим ростом — с другой [18]. Влияние транспорта и обмена на экономический рост определяется тем, что они стимулируют:

- углубление разделения труда и специализации, что повышает производительность использования всех видов производственных ресурсов и эффективность экономики, а также способствует накоплению капитала;
- увеличение масштаба производства;
- технический прогресс и инновации.

При этом экономический рост, в свою очередь, порождает дополнительные потребности в перемещении людей и материальных благ, расширении масштабов и интенсивности това-

¹ Эта роль пассажирского транспорта, хотя и стала менее значимой в эпоху цифровизации, тем не менее, сохраняется.

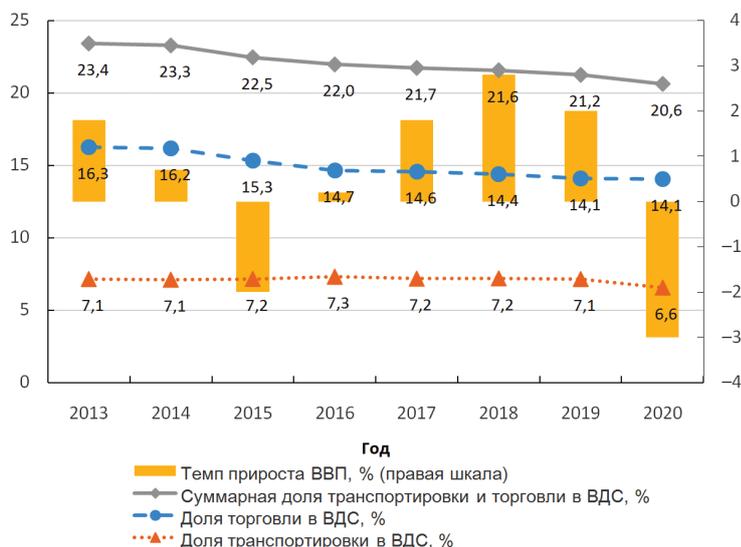


Рис. 1. Изменение доли транспорта и торговли в ВДС российской экономики

рообмена. Так что между ними существует именно взаимная связь.

Эмпирический анализ

Представляет интерес эмпирический анализ влияния объема услуг, оказываемых транспортом и торговлей, на экономический рост, исходя из данных современной макроэкономической [1], социально-экономической [19, 20] и транспортной [21, 22] статистики.

Временные рамки такого исследования определяются сопоставимыми данными о ВДС и валовом внутреннем продукте (ВВП) России за 2013–2020 гг., приведенными в последнем из изданных к настоящему времени официальном сборнике «Национальные счета России в 2013–2020 годах» [1]. Анализ этих данных свидетельствует о том, что доля торговли в совокупной ВДС имела общую тенденцию к снижению в рассматриваемом периоде, а доля транспортировки оставалась достаточно стабильной на протяжении 2013–2019 гг., но существенно уменьшилась в 2020 г. (рис. 1). Последнее стало результатом внешнего шока, связанного с пандемией коронавируса, который существенно отразился на транспортной деятельности [23–25]. Следует отметить, что периодам понижения ВВП соответствовало значительное снижение доли торговли (2015 г.) или транспортировки (2020 г.) в ВДС.

Для определения корреляционной связи ВВП и макроэкономических показателей, характеризующих транспортную и торговую деятельность, с учетом небольшого объема исходной информации целесообразно использовать коэффициент Фехнера. Его расчет основан на сопоставлении отклонений значений каждого из рассма-

триваемых показателей от их средних величин. Этот коэффициент равен отношению разности чисел совпадений и несовпадений знаков отклонений к общему количеству пар наблюдаемых значений показателей.

Коэффициент Фехнера может изменяться от –1 до +1. Положительное значение свидетельствует о прямой связи между рассматриваемыми показателями, отрицательное — об обратной связи. Чем выше абсолютная величина значения коэффициента, тем теснее связь между такими показателями. Коэффициента Фехнера, равный 0, свидетельствует об отсутствии связи между ними [26].

Таблица 1. Теснота корреляционной связи макроэкономических показателей торгово-транспортной деятельности и ВВП

Показатели	Коэффициент Фехнера
Доля торговли в ВДС и доля транспортировки в ВДС	0,25
Доля торговли в ВДС и величина ВВП	–0,5
Доля транспортировки в ВДС и величина ВВП	–0,75
Совокупная доля торговли и транспортировки в ВДС и величина ВВП	–0,5
Доля торговли в ВДС и темп роста ВВП	0
Доля транспортировки в ВДС и темп роста ВВП	0,25
Совокупная доля торговли и транспортировки в ВДС и темп роста ВВП	0

Таблица 2. Теснота корреляционной связи макроэкономических показателей торгово-транспортной деятельности и показателей объемов грузовых и пассажирских перевозок

Показатели	Коэффициент Фехнера
Доля торговли в ВДС и величина грузооборота	–0,75
Доля торговли в ВДС и величина пассажирооборота	0
Доля транспортировки в ВДС и величина грузооборота	–0,5
Доля транспортировки в ВДС и величина пассажирооборота	0,25
Совокупная доля торговли и транспортировки в ВДС и величина грузооборота	–0,75
Совокупная доля торговли и транспортировки в ВДС и величина пассажирооборота	0

Проведенные расчеты показывают наличие прямой, хотя и слабой связи между долями торговли и транспортировки в ВДС (табл. 1). При этом между долей торговли в ВДС и величиной ВВП и между долей транспортировки в ВДС и величиной ВВП выявлена довольно сильная обратная связь, что, на первый взгляд, нелогично с учетом отмеченной выше существенной макроэкономической роли торгово-транспортной деятельности. Это же можно сказать и про отсутствие связи между совокупной долей торговли и транспортировки в ВДС и динамикой ВВП.

Полученные результаты требуют проведения дополнительных оценок с использованием натуральных измерителей результатов транспортной деятельности — грузооборота и пассажирооборота. Целесообразность такого подхода обоснована в работе [27].

На рис. 2 достаточно наглядно показана связь динамики ВВП в рыночных ценах с динамикой грузооборота транспортной системы страны в 2016–2018 гг., а в 2020 г. — с динамикой как грузо-, так и пассажирооборота. При этом корреляционный анализ свидетельствует о существовании довольно сильной обратной связи между долей торговли и транспортировки в ВДС и величиной грузооборота и прямой, но слабой связи между долей транспортировки в ВДС и величиной пассажирооборота (табл. 2).

Таблица 3. Теснота корреляционной связи показателей объемов грузовых и пассажирских перевозок и ВВП

Показатели	Коэффициент Фехнера
Величина грузооборота и величина ВВП	0,75
Величина пассажирооборота и величина ВВП	0
Величина грузооборота и темп роста ВВП	0,25
Величина пассажирооборота и темп роста ВВП	1
Темп роста грузооборота и темп роста ВВП	0
Темп роста пассажирооборота и темп роста ВВП	0,5

Ситуацию проясняет анализ динамики темпов роста показателей объемов перевозок и ВВП. Как видно из рис. 3, изменение характера динамики темпа роста грузооборота предшествует соответствующим изменениям динамики темпа роста ВВП. Так, падение сменилось ростом для грузооборота в 2015 г., а для ВВП — в 2016 г. Обратная тенденция по грузообороту сформировалась в 2018 г., а по ВВП — в 2019 г.

Это свидетельствует о предиктивном характере изменения динамики грузооборота относительно динамики ВВП. Ранее было выявлено такое свойство показателей динамики объемов железнодорожных грузовых перевозок [28, 29], теперь оно подтверждается для грузооборота всей транспортной системы страны. Оно может быть использовано для предиктивного экономического анализа и управления как на отраслевом [30], так и на макроэкономическом уровне.

Весьма показательны оценки тесноты корреляционной связи между показателями объемов грузовых и пассажирских перевозок и ВВП (табл. 3). Величина грузооборота имеет прямую связь с ВВП: как с его величиной (сильную), так и с его темпом роста (слабую). Отсутствие связи темпов роста грузооборота и ВВП обусловлено отмеченным выше предиктивным характером изменения динамики грузооборота относительно динамики ВВП, в результате чего изменения трендов этих показателей приходятся на разные годы.

Теснота прямой связи величины пассажирооборота с темпом роста ВВП имеет максимально возможное значение, что весьма существенно. Это можно интерпретировать как проявление в современных условиях взаимного влияния мобильности населения и экономического роста, более подробно раскрытого в исторической ретроспективе в работе [18].

Интерпретация результатов эмпирического анализа

Наиболее значимые выводы позволяет сделать анализ совокупности полученных результатов в свете теоретического понимания роли транспорта и обмена в обеспечении экономического роста. Обращает на себя внимание противоречие между, с одной стороны, достаточно сильной обратной связью между долей торговли и транспортировки в ВДС и величиной ВВП (см. табл. 1) и между долей торговли и транспортировки в ВДС и величиной грузооборота (см. табл. 2) и, с другой стороны, сильной прямой связью между величиной грузооборота и величиной ВВП (см. табл. 3). Последняя согласуется с теоретическими представлениями о росте величин макроэкономических эффектов от транспортировки и обмена при увеличении объемов и дальности перевозки товаров [4, 10, 18].

Существование при этом обратной связи между долей торговли и транспортировки в ВВП и величиной грузооборота объясняется в данном случае тем, что

рост грузооборота в 2015–2019 гг. (см. рис. 2, 3) происходил при относительно стабильной доле транспортировки в ВВП с некоторым ее снижением в конце этого периода. Такая ситуация может быть интерпретирована с позиции как занижения доходности грузовых перевозок в регулируемых сегментах транспортного рынка, прежде всего железнодорожных грузовых перевозок [31], так и превышения внетранспортных эффектов над дополнительными доходами отрасли при росте грузооборота.

По-видимому, имеют место оба эти обстоятельства. Но если второе из них соответствует самой сути экономической роли транспорта, то первое нуждается в устранении на основе действия рыночных механизмов. Ведь именно рыночные тарифы, определяемые спросом и предложением, оздоравливают экономику [32]. Не случайно Программой структурной реформы на железнодорожном транспорте определено: «Государственное регулирование будет постепенно заменено рыночными механизмами регулирования во временно-монопольном и конкурентном секторах» [33, с. 12]. Следует отметить, что в Программе к конкурентному сектору был отнесен широкий спектр перевозок, включая перевозки повышенного качества, перевозки энергоносителей, перевозки при наличии альтернативной транспортной инфраструктуры, транзитные и перевозки в прямом международном сообщении.

Заключение

Таким образом, использование графического и корреляционного анализов в рамках сущностного, теоретического понимания макроэкономической роли торгово-транспортной деятельности, т. е. логико-аналитического метода [34], позволяет сделать важные уточняющие выводы относительно влияния транспорта и торговли на экономический рост. При этом проведенное исследование еще раз

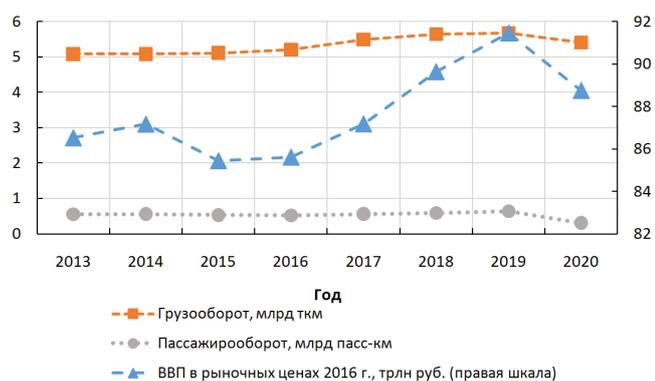


Рис. 2. Изменение объемов перевозок и ВВП

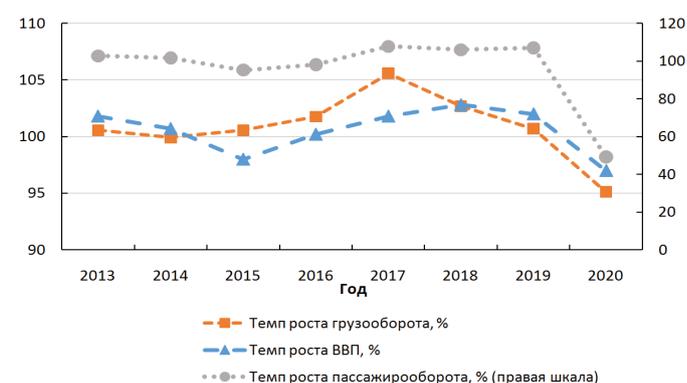


Рис. 3. Изменение темпов роста объемов перевозок и ВВП

продемонстрировало релевантность натуральных показателей, прежде всего объемов перевозок [35, 36], для экономической оценки транспортной деятельности. Их использование, наряду со стоимостными показателями позволяет существенно углубить такую оценку и находить объяснение результатам, которые, на первый взгляд, могут показаться парадоксальными. ■

Литература

1. Национальные счета России в 2013–2020 годах: стат. сб. М.: Росстат, 2021. – 429 с.
2. Мэддисон, Э. Контуры мировой экономики в 1–2030 гг.: очерки по макроэкономической истории / Э. Мэддисон; пер. с англ. – М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2012. – 584 с.
3. Койл, Д. ВВП: Краткая история, рассказанная с пиететом / Д. Койл; пер. с англ. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2016. – 176 с.
4. Мачерет, Д. А. Теоретическое осмысление роли транспорта в обеспечении долгосрочного экономического развития / Д. А. Мачерет // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 4 (89). – С. 6–33.
5. Ротбард, М. Экономическая мысль: в 2-х т. Т. 1: От Античности до Адама Смита / М. Ротбард; пер. с англ. – М.; Челябинск: Социум, 2020. – 613 с.
6. Поляков, Ю. Н. Внимание! – Транспорт / Ю. Н. Поляков. – М.: Транспорт, 2000. – 183 с.
7. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов / А. Смит; пер. с англ. – М.: Эксмо, 2009. – 960 с.
8. Хайек, Ф. А. Пагубная самонадеянность. Ошибки социализма / Ф. А. Хайек; пер. с англ. – М.: «Новости», «Catallaxy», 1992. – 304 с.
9. Мачерет, Д. А. Создание железных дорог и экономический рост / Д. А. Мачерет // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9. – № 1 (34). – С. 164–169.
10. Липидус, Б. М. Макроэкономическое значение транспорта: сущностный анализ / Б. М. Липидус, Д. А. Мачерет // Экономика железных дорог. – 2011. – № 1. – С. 13–19.
11. Щербанин, Ю. А. Транспорт и экономический рост: взаимосвязь и влияние / Ю. А. Щербанин // Евразийская экономическая интеграция. – 2011. – № 3 (12). – С. 65–78.
12. Мачерет, Д. А. Формирование железнодорожной сети: диффузия эпохальной инновации и экономический рост / Д. А. Мачерет, Н. А. Валеев, А. В. Кудрявцева // Экономическая политика. – 2018. – Т. 13. – № 1. – С. 252–279.
13. Мелиц, М. Дж. Влияние торговли на внутриотраслевые перераспределения и совокупную производительность отрасли / М. Дж. Мелиц // Экономическая школа. Альманах. Т. 7. Международная экономика. – СПб.: «Экономическая школа» ГУ ВШЭ, 2011. – С. 89–108.
14. Хелпман, Э. Понимание мировой торговли / Э. Хелпман; пер. с англ. – М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2017. – 312 с.
15. Родрик, Д. Откровенный разговор о торговле. Идеи для разумной мировой экономики / Д. Родрик; пер. с англ. – М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2019. – 384 с.
16. Маршалл, А. Принципы экономической науки: в 3-х т. Т. 2 / А. Маршалл; пер. с англ. – М.: Прогресс, 1993. – 309 с.
17. Мокир, Дж. Рычаг богатства. Технологическая креативность и экономический прогресс / Дж. Мокир; пер. с англ. – М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2014. – 504 с.
18. Мачерет, Д. А. Роль плотности, мобильности населения и перемещения материальных благ в разных концепциях экономического роста / Д. А. Мачерет // Вопросы теоретической экономики. – 2021. – № 4 (13). – С. 50–78.
19. Российский статистический ежегодник. 2015: стат. сб. – М.: Росстат, 2015. – 728 с.
20. Социально-экономическое положение России. 2020. № 12. – М.: Росстат, 2020. – 108 с.
21. Транспорт в России. 2018: стат. сб. М.: Росстат, 2018. – 101 с.
22. Транспорт в России. 2020: стат. сб. М.: Росстат, 2020. – 108 с.
23. Журавлева, Н. А. Влияние постпандемической экономики на бизнес-модель транспортных организаций / Н. А. Журавлева // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 3–4 (88–89). – С. 20–23.
24. Мачерет, Д. А. Экономическая устойчивость железнодорожного транспорта в условиях внешних вызовов / Д. А. Мачерет, Н. А. Валеев // Экономика железных дорог. – 2021. – № 6. – С. 13–25.
25. Мачерет, Д. А. Совершенствование инструментария экономического анализа транспортной деятельности / Д. А. Мачерет, Н. А. Валеев // Экономика железных дорог. – 2021. – № 12. – С. 14–24.
26. Шеремет, Н. М. Общая теория статистики / Н. М. Шеремет. – М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2013. – 360 с.
27. Мачерет, Д. А. Методологический подход к экономической оценке результатов деятельности грузового железнодорожного транспорта / Д. А. Мачерет, Н. А. Валеев, А. В. Кудрявцева // Экономика железных дорог. – 2022. – № 7. – С. 16–28.
28. Мачерет, Д. А. Работа российских железных дорог – важный индикатор и инструмент преодоления экономического кризиса в стране / Д. А. Мачерет, А. В. Рышков, А. Ю. Белоглазов // Экономика железных дорог. – 2009. – № 4. – С. 10–16.
29. Мачерет, Д. А. Динамика железнодорожных перевозок грузов как макроэкономический индикатор / Д. А. Мачерет // Экономическая политика. – 2015. – Т. 10. – № 2. – С. 133–150.
30. Мачерет, Д. А. Научный инструментальный предиктивный управления эффективностью железнодорожного транспорта / Д. А. Мачерет, Н. А. Валеев // Вестн. Науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта. – 2018. – Т. 77. – № 2. – С. 84–91.
31. Липидус, Б. М. О вкладе ОАО «РЖД» в формировании ВВП страны и экономических задачах компании в условиях тарифных ограничений / Б. М. Липидус // Вестн. Науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта. – 2014. – № 1. – С. 3–7.
32. Липидус, Б. М. Транспортный тариф – это санитар экономики / Б. М. Липидус // РЖД–Партнер. – 2008. – № 10. – С. 6–16.
33. Мишарин, А. С. Программа структурной реформы на железнодорожном транспорте (с комментариями) / А. С. Мишарин, А. В. Шаронов, Б. М. Липидус, П. К. Чичагов, Н. М. Бурносов, Д. А. Мачерет. – М.: МЦФЭР, 2001. – 240 с.
34. Мачерет, Д. А. Методологические проблемы экономических исследований на железнодорожном транспорте / Д. А. Мачерет // Экономика железных дорог. – 2015. – № 3. – С. 12–26.
35. Рышков, А. В. Экономическая конъюнктура транспорта / А. В. Рышков. – М.: МИИТ, 2008. – 130 с.
36. Мачерет, Д. А. Влияние объемов перевозок на экономические результаты транспортного комплекса в условиях внешних вызовов / Д. А. Мачерет, А. Д. Разуваев, А. Ю. Ледней // Концептуальные проблемы экономики и управления на транспорте: взгляд в будущее: сб. науч. трудов Междунар. науч.-практич. конференции. – М.: РУТ (МИИТ), Ин-т экономики и финансов, 2020. – С. 183–186.

Особенности применения метода остатка для оценки рыночной стоимости земельных участков, обремененных непогашенными кредитами под строительство железных дорог



С. В. Коланьков,
д-р экон. наук, профессор
кафедры «Строительство
дорог транспортного
комплекса» ФГБОУ ВО
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора
Александра I»
(ПГУПС)



Д. С. Каптелин,
начальник Управления
информатизации
ПГУПС

В подготовительный этап железнодорожного строительства входят переоформление назначения земель, оценка их рыночной стоимости, выкуп. Например, Юго-Западный железнодорожный обход Санкт-Петербурга предполагает строительство 74 км путей. Для этого необходимо провести оценку стоимости участков сельскохозяйственного назначения, лесного фонда, земель сельских поселений. Они могут быть обременены непогашенными кредитами.

Как известно, одним из методов оценки рыночной стоимости земельных участков или права их аренды является метод остатка, применяемый в отношении как для незастроенных, так и для застроенных участков [1, 2]. При этом в отношении незастроенных земель должны существовать юридическая и техническая возможности застройки.

Теоретические основы данного метода заключаются в следующем.

1. Учитывается, что как рыночная стоимость недвижимости в целом, так

и арендная плата за единый объект складывается из той части, которую порождает земельный участок, и части, порождаемой имеющимися улучшениями:

$$C_n = C_{з\text{у}} + C_{\text{ул}(и)} \quad (1)$$

здесь C_n — рыночная стоимость единого объекта недвижимости, руб.;

$C_{з\text{у}}$ — рыночная стоимость земельного участка, занятого объектом недвижимости, руб.;

$C_{\text{ул}(и)}$ — рыночная стоимость улучшений земельного участка (строений) с учетом накопленного износа всех видов (физического, функционального, внешнего), руб.;



ФОТО: RILW.GOV.RU

$$A_n = A_{zy} + A_{ул}, \quad (2)$$

где A_n — величина годовой арендной платы за единый объект недвижимости, руб./год;
 A_{zy} — величина годовой арендной платы за земельный участок, занятый объектом недвижимости, руб. ;
 $A_{ул}$ — величина годовой арендной платы за улучшения, расположенные на земельном участке, руб./год.

2. В расчетах используются алгебраические преобразования выражений (1) и (2). В частности, рыночная стоимость земельного участка равна разности рыночной стоимости единого объекта недвижимости и стоимости улучшений с учетом их износа:

$$C_{zy} = C_n - C_{ул(и)}. \quad (3)$$

Тем самым земельному участку присваивается остаточная рыночная стоимость. При этом реализуется логика: чем выше изношенность улучшений, тем выше доля земельного участка в составе рыночной стоимости объекта оценки (см. (3)). В предельном состоянии рыночная стоимость недвижимости будет создана только земельным участком, а улучшения могут стать ухудшениями, т. е. элементом, удешевляющим стоимость единого объекта за счет необходимости расходов (сметной стоимости) на разборку и утилизацию существующих строений.

3. При оценке как застроенного, так и незастроенного земельного участка исходят из предположения его застройки, соответствующей варианту наиболее эффективного использования.

4. Применяется как основная формула прямой капитализации

$$C_n = \frac{ЧОД}{K_k}, \quad (4a)$$

$$C_{zy} = \frac{ЧОД_{zy}}{K_{кзу}}, \quad (4б)$$

$$C_{ул} = \frac{ЧОД_{ул}}{K_{кул}}, \quad (4в)$$

так и ее алгебраическое преобразование

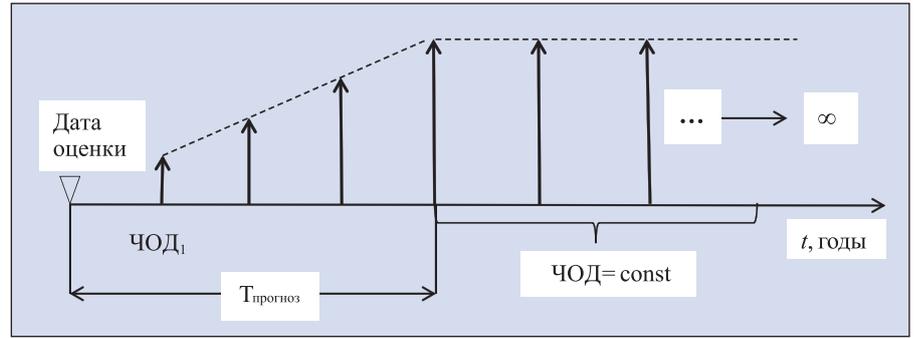
$$ЧОД = C_n \times K_k, \quad (5a)$$

$$ЧОД_{zy} = C_{zy} \times K_{кзу}, \quad (5б)$$

$$ЧОД_{ул} = C_{ул(и)} \times K_{кул}. \quad (5в)$$

В (4a)–(4в), (5a)–(5в) ЧОД, ЧОД_{zy}, ЧОД_{ул} — величина годового чистого операционного дохода (чистой арендной платы) соответственно от единого объекта недвижимости, земельного участка и улучшений, руб./год;

$K_k, K_{кзу}, K_{кул}$ — коэффициент капитализации соответственно для единого объ-



Прогнозирование изменения ЧОД при расчете величины $K_{кор}$

екта недвижимости, земельного участка и его улучшений, процент годовых (1/год).

Как известно, метод остатка может применяться в двух модификациях [1].

Для применения первой модификации в соответствии с п. 5 [1] необходимо определить стоимость воспроизводства или замещения улучшений (для фактически существующих строений — норма или величина накопленного ими износа). Здесь следует отметить неточность формулировки указанных Методических рекомендаций и уточнить, что стоимость воспроизводства или замещения являются сметной стоимостью строительства, в то время как должна использоваться величина затрат инвестора ($C_{зи}$)

$$C_{зи} = C_{см} + КИ, \quad (6)$$

в которой $C_{см}$ — сметная стоимость строительства улучшений, определяемая в соответствии с [3] либо как стоимость воспроизводства, либо как стоимость замещения улучшений, руб.;

КИ — косвенные издержки инвестора, руб., а также величина ЧОД от единого объекта недвижимости и значения коэффициентов $K_{кул}$ и $K_{кзу}$.

Расчет рыночной стоимости земельного участка выполняется в следующей последовательности.

1. Определяется величина накопленного затратами инвестора износа (И) и рассчитывается их остаточная стоимость:

$$C_{ул(и)} = C_{зи} = C_{зи} - И, \quad (7)$$

$$И = И_{физ} + У_{функц} + У_{внеш}. \quad (8)$$

В (8) $И_{физ}$ — величина физического износа затрат инвестора, руб.; $У_{функц}$, $У_{внеш}$ — величины соответственно функционального и внешнего устаревания затрат инвестора, руб.

2. По формуле (5в) вычисляется величина ЧОД_{ул}.

3. Рассчитывается ЧОД_{zy} как разность между чистыми операционными доходами от единого объекта недвижимости и от улучшений:

$$ЧОД_{zy} = ЧОД - ЧОД_{ул}. \quad (9)$$

Действие (9), где чистый операционный доход определяется как оставшаяся часть от ЧОД от недвижимости в целом, послужило названием метода остатка.

4. По формуле (4б) оценивается рыночная стоимость земельного участка.

В случае, если необходимо учесть предполагаемые в перспективе изменения ЧОД_{zy} и самого участка (актива), а также наличие на дату оценки невыплаченного кредита, который был получен под залог земельного участка и капитализация выполняется по расчетной модели с применением, например, метода инвестиционной группы, выражение (4б) приобретает такой вид:

$$C_{zy} = \frac{ЧОД_{zy} \times K_{кор}}{L_v \times R_m + (1 - L_v) \times E_{ск} - \Delta \times F_3}, \quad (10)$$

где $K_{кор}$ — коэффициент корректировки, позволяющий учесть прогнозируемое изменение чистого операционного дохода (годовой арендной платы) в течение некоторого периода времени доли единицы;

L_v — доля заемных средств в общей стоимости земельного участка, доли единицы;

R_m — ипотечная постоянная (множитель шестой функции сложных процентов — PMT/PV), определяемая по условиям кредитного договора, доли единицы;

$(1 - L_v)$ — доля следует обратить внимание, что $L_v + (1 - L_v) = 1$;

$E_{ск}$ — норма дохода на собственный капитал, требуемый инвестором (собственником объекта) и отражающий сложившуюся на рынке доходность по сделкам с данным типом объектов, доли единицы;

Δ — прогнозируемое изменение цены актива в течение некоторого периода, доли единицы;

F_3 — множитель третьей функции сложных процентов (PMT/FV), позволяющий выделить одну годовую часть из изменения цены актива за несколько лет.

В формуле (10) коэффициент $K_{кор}$ учтен в числителе выражения в связи

с тем, что, по нашему мнению, более логично применять не относительно K_r , а к чистому операционному доходу, изменение которого и прогнозируется.

Коэффициент $K_{кор}$ обычно рассчитывается при прогнозном сроке не более 5 лет. Это означает, что в течение начального срока ЧОД будет изменяться некоторым темпом, а затем стабилизируется (рисунк).

Однако теоретически может быть установлена любая продолжительность периода для расчета $K_{кор}$, и тогда можно утверждать, что он позволяет учесть предполагаемые изменения ЧОД в течение либо некоторого начального периода времени (до 10 лет), либо условно бесконечного периода времени (более 20–30 лет).

Вторая модификация метода остатка предполагает другую последовательность расчетов, для чего требуются несколько иные исходные данные, в частности, знание величины общего коэффициента капитализации, а не значений $K_{кул}$ и $K_{кзу}$.

При использовании второй модификации метода остатка расчеты выполняются в следующей последовательности.

1. По формуле (7) оценивается остаточная стоимость затрат инвестора (ЗИ) по созданию улучшений, соответствующих НЭИ оцениваемого земельного участка.

2. Сравнительным подходом на основе рыночных ставок арендной платы определяется годовая ЧОД от единого объекта недвижимости.

3. По формуле (4а) рассчитывается рыночная стоимость единого объекта недвижимости путем прямой капитализации — методом капитализации земельной ренты. Например, при учете невыплаченной ипотеки объекта оценки, принимая во внимание прогнозируемые изменения ЧОД от единого объекта недвижимости и самого актива, при использовании для оценки коэффициента метода инвестиционной группы выражение (4а) приобретает следующий вид:

$$C_n = \frac{ЧОД \times K_{кор}}{L_v \times R_m + (1 - L_v) \times E_{ск} - \Delta \times F_3}$$

4. Оценивается рыночная стоимость земельного участка путем вычитания из рыночной стоимости единого объекта недвижимости остаточной стоимости затрат инвестора:

$$C_{зу} = C_n - C_{зи(н)},$$

где $C_{зи(н)}$ — величина затрат инвестора с учетом их износа, руб.

Здесь можно отметить, что не все косвенные издержки инвестора (6) изнашиваются. В частности, при оценке рыночной стоимости железнодорожных путей необщего пользования необходимо учитывать затраты инвестора на оплату их примыкания к путям общего пользования (станционным путям), которые в сметную стоимость строительства не входят и относятся к косвенным издержкам инвестора. Данные КИ не изнашиваются, т. к. являются единовременным платежом, который в случае продажи путей необщего пользования повторно осуществлять не требуется. Вместе с тем основная часть косвенных издержек инвестора теряет свою ценность с течением времени — амортизируется (изнашивается). Так, например, к изнашивающимся косвенным издержкам относятся:

- расходы на регистрацию права собственности, в связи с тем, что при совершении новой сделки с объектом оценки данные расходы необходимо будет повторять;
- расходы на рекламу объекта оценки в целях поиска возможного покупателя;
- оплата коммунальных услуг, услуг охраны, имеющихся на объекте телефонных в так называемый маркетинговый период — период времени, когда на объекте нет арендаторов и не ведется производственная деятельность собственника из-за предстоящей сделки продажи;
- расходы по предпродажной подготовке объекта (косметический ремонт, комиссионные посредника, оплата юридических услуг и услуг оценщика).

Для определения сметной стоимости строительства могут применяться два метода оценки:

- с помощью имеющейся проектно-сметной документации;
- на основе укрупненных показателей сметной стоимости строительства.

Первый метод более точный, однако редко применяемый, как правило из-за отсутствия сметной документации на дату оценки. При его использовании от оценщика требуется выполнение следующих операций.

- 1) осуществить экспертизу имеющихся смет (актов ф. № 2);
- 2) выполнить индексацию сметной стоимости в текущий уровень цен;
- 3) произвести учет действующих на дату оценки налогов.

Экспертиза смет необходима из-за того, что: 1) многие объекты возводятся

с некоторыми отступлениями от проектно-сметной документации; 2) с течением времени в строения вносятся изменения по сравнению с их первоначальным исполнением; 3) часть оборудования, учтенного в сметной стоимости, может не входить в состав оцениваемого имущества; 4) учет лимитированных затрат в смете может быть выполнен по устаревшим нормам и методикам.

Значительно чаще используется второй метод оценки сметной стоимости — по укрупненным показателям и расценкам. К сожалению, в современной Методике определения сметной стоимости строительства [3] отсутствует перечень этих расценок, который был приведен в ранее действовавшем МДС [4]. Наиболее часто применяемыми в оценочной деятельности сборниками укрупненных показателей являются:

- укрупненные показатели восстановительной стоимости в ценах 1969 г. (УПВС) [5], используемые также при составлении технических паспортов на здания и сооружения, в том числе для оценки физического износа;
- укрупненные показатели базисной стоимости на виды работ (УПВС ВР), изданные в ценах 1991 г. [6];
- укрупненные показатели сметной стоимости (УПСС), которых имеется нескольких видов: в ценах 1969 г. [7], в ценах 2001 г., периодические издания «КО-Инвест» [8] и в текущих ежеквартальных ценах;
- нормативы цены строительства (НЦС), издаваемые Минстроем в ценах на 1 января очередного календарного года (на 1 января 2021 г. издан 21 сборник) [9].

При расчете величины ЧОД следует иметь в виду, что на практике возможны случаи, когда прогнозируется только его изменение с течением времени при неизменности стоимости самого актива, либо наоборот. При этом, например, ЧОД от земли может увеличиваться, а от улучшений, наоборот, снижаться или оставаться неизменным; рыночная стоимость земельного участка может увеличиваться, а от улучшений — оставаться неизменной.

Кроме того, может рассматриваться ситуация, когда ипотечный кредит был получен под залог:

- только земельного участка;
- только улучшений;
- объекта недвижимости в целом.

Предположим, что ипотечный кредит был получен только под залог земельного участка, а строение свободно от непога-

шенных заемных средств. В этом случае при применении первой модификации метода остатка для определения части ЧОД, генерируемого исключительно улучшениями участка, используется выражение (5в), где вместо коэффициента капитализации применяется норма дисконта для улучшений ($E_{ул}$):

$$\text{ЧОД}_{ул} = C_{ул(н)} \times E_{ул}. \quad (13)$$

Расчет рыночной стоимости земельного участка выполняется по формуле (4б), в которой величина коэффициента капитализации определяется с учетом имеющегося обременения в виде непогашенного кредита.

Аналогичным образом следует поступить в случае, когда ипотека была оформлена только на строение. При этом для получения $\text{ЧОД}_{ул}$ необходимо найти коэффициент капитализации для улучшений ($K_{кул}$) и выполнить расчет по формуле (5в), а при оценке рыночной стоимости земельного участка воспользоваться выражением (4б), в котором вместо $K_{кзу}$ учесть норму дисконта для земли:

$$C_{3у} = \frac{\text{ЧОД}_{3у}}{E_{3у}}, \quad (14)$$

или в случае учета прогнозируемых в перспективе изменений арендной платы за земельный участок и рыночной стоимости самого участка:

$$C_{3у} = \frac{\text{ЧОД}_{3у} \times K_{кор}}{E_{3у} - \Delta \times F_3}, \quad (15)$$

где Δ и F_3 — показатели, учтенные в выражении (10).

В заключение отметим, что к проблемным вопросам оценочной деятельности относятся оценка нормы дисконта, являющегося ключевым ценообразующим показателем при использовании доходного подхода к оценке рыночной стоимости недвижимости [10]. Лучшим методом для его оценки служит метод рыночных сравнений (в терминологии, примененной в работах [10, 11] — метод экстракции), который из-за неточности исходной информации, тем не менее, является приблизительным. В этой связи считаем необходимым использование следующих приемов.

1. Применение метода граничных оценок [12], суть которого заключается в анализе рынка объекта оценки, а также анализе других внешних факторов, не относящихся непосредственно к объекту оценки, но влияющих на его стоимость. В разделе анализа рынка [13–15] должна быть представлена информация по всем ценообразующим факторам, использо-

ванным при определении стоимости, и содержаться обоснование значений или диапазонов значений ценообразующих факторов.

2. Учет величины нормы дисконта для земельного участка, единого объекта недвижимости и улучшений:

$$E_{зем} < E < E_{ул}$$

Целесообразно также выполнять дополнительный расчет:

$$E = E_{зем} \times L + E_{ул} \times B,$$

где L — доля земли в стоимости недвижимости в целом, %;

B — доля улучшений (зданий, сооружений) в стоимости недвижимости в целом, %.

При этом должно выполняться равенство $L + B = 1$, в которых L и B выражены в долях единицы. ■

Литература

1. Распоряжение Минимущества России от 6 марта 2002 г. № 568р «Методические рекомендации по определению рыночной стоимости земельных участков». — URL: <https://docs.cntd.ru/document/901814896#64U0IK> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
2. Распоряжение Минимущества РФ от 10 апреля 2003 г. № 1102-р «Об утверждении Методических рекомендаций по определению рыночной стоимости права аренды земельных участков». — URL: <https://docs.cntd.ru/document/901873798> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
3. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 августа 2020 г. № 421/пр «Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации». — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/74851> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
4. Постановление Госстроя России от 5 марта 2007 г. № 15/1. МДС 81–35.2004 «Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации». — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035529> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
5. Сборники укрупненных показателей восстановительной стоимости зданий

и сооружений различных отраслей народного хозяйства (УПВС). — М.: 1970.

6. Письмо Госстроя РФ от 5 ноября 1993 г. № 12–275. Сборник укрупненных показателей базисной стоимости на виды работ (УПБС ВР). МДС 81–24.2000. — М.: 1996.
7. УПСС. Административно-бытовые здания / Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1983. — 136 с.
8. Табакова, С. А. Магистральные сети и транспорт. Укрупненные показатели стоимости строительства. В уровне цен на 01.01.2010 г., для условий строительства в Московской области, Россия. Сер. «Справочник оценщика» / С. А. Табакова, А. В. Дидковская. — М.: ООО «КО-ИНВЕСТ», 2010. — 400 с.
9. Приказ Минстроя России от 11 марта 2021 № 132/пр «Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства». — URL: <https://minstroyrf.gov.ru> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
10. Грибовский, С. В. Ставка дисконтирования — не игра воображения, а строгая наука. Опыт определения ставки дисконтирования методом экстракции / С. В. Грибовский, В. В. Жуковский, Д. В. Табала. — Вопросы оценки. — 1997. — № 3. — С. 21–29.
11. Грибовский, С. В. Расчетные модели оценки стоимости недвижимости / С. В. Грибовский. — Имущественные отношения. — 2015. — № 3. — С. 26–40.
12. Приказ Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации от 20 июля 2007 г. № 254 «Об утверждении федерального стандарта оценки «Требования к отчету об оценке (ФСО № 3)». — URL: <https://base.garant.ru/191696/> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
13. Приказ Министерства экономического развития и торговли РФ от 20 июля 2007 г. № 256 «Об утверждении федерального стандарта оценки «Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО № 1)». — URL: <https://base.garant.ru/191703/> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
14. Приказ Минэкономразвития России от 25 сентября 2014 г. № 611 «Оценка недвижимости (ФСО № 7)». — URL: <https://docs.cntd.ru/document/456000813> (дата обращения: 12 июня 2022 г.).
15. Фридман, Д. Анализ и оценка приносящей доход недвижимости / Д. Фридман, Н. Ордуэй; пер. с англ. — М.: «Дело Лтд», 1995 г. — 480 с.

Опыт создания систем пассивной безопасности для подвижного состава железных дорог



В. К. Милованов,
канд. техн. наук,
генеральный директор
ООО «Транспортная техника»



С. В. Дмитриев,
генеральный директор
ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники»



А. В. Беянкин,
руководитель Испытательной лаборатории
ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники»



С. Ю. Петухов,
начальник отдела стационарных испытаний
ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники»,

Создание и испытание отечественных устройств поглощения энергии позволило внести предложения по совершенствованию нормативной правовой базы (ГОСТ 32410–2013) в части, касающейся моделирования и автономных разрушающих испытаний.

Развитие высокоскоростного подвижного состава привело к появлению систем пассивной безопасности [1]. Впервые опыт применения устройства поглощения энергии (УПЭ) для головной сцепки был реализован на экспериментальном высокоскоростном поезде «Сокол» (см. [2]). Позднее в РФ поступили такие высокоскоростные поезда как «Сапсан», на котором УПЭ установлены под головным обтекателем и в межвагонных соединениях, и «Ласточка», где поглощение энергии было организовано на головной части с помощью крэш-боксов и распределено в большей степени между вагонными соединениями. Исследования систем пассивной безопасности рассмотрены также в работах [3, 4].

В 2013 г. был принят ГОСТ 32410–2013 «Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля» [5]. Он соответствует европейскому стандарту EN15227–2020 [6], где были указаны требования и методы контроля УПЭ.

Однако ни в ГОСТ 32410–2013, ни в других нормативных документах, относящихся непосредственно к подвижному составу, нет четко сформулированных требований к проектированию, созданию и испытаниям УПЭ, а именно:

- тип поглощения энергии (тип УПЭ) относительно конкретного подвижного состава;

- критерии выбора стали (или другого материала) для изготовления УПЭ и ее механические свойства;

- порядок и теоретическая база для проведения расчетов (в том числе МКЭ) и определения диаграммы деформирования УПЭ в зависимости от выбранного типа поглощения энергии;

- наименее затратный и наиболее информативный метод проведения автономных разрушающих испытаний относительно экспериментального определения диаграммы деформирования УПЭ.

Рассмотрим опыт проектирования и создания устройства поглощения энергии в ООО «Транспортная техника» (г. Москва), а также испытания УПЭ на базе ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники».

Поглощение энергии соударения может быть организовано на основе деформирования трубчатых конструкций методом либо обсадки, либо развальцовки трубы. В качестве устройства поглощения энергии также применяются резцовые системы и крэш-боксы.

На скоростных европейских электропоездах чаще используются комбинированные схемы: крэш-элементы на основе развальцовки труб и крэш-боксы или группы крэш-боксов. На рис. 1 приведены примеры крэш-элементов, на рис. 2 — крэш-элементов различного типа деформации.

Процесс создания устройства поглощения энергии можно условно разделить на следующие этапы:

- определение необходимых параметров УПЭ для соответствующего подвижного состава и расчет в соответствии с ГОСТ 32410–2013;
- разработка нескольких вариантов конструкции;
- расчетное определение силовых

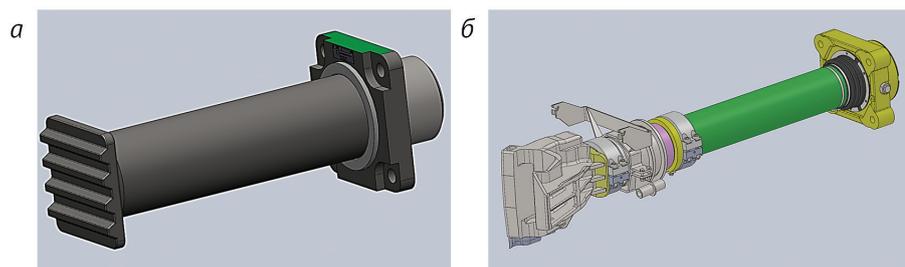


Рис. 1. Примеры крэш-элементов: а — крэш-буфер, б — крэш-элемент в составе головной сцепки

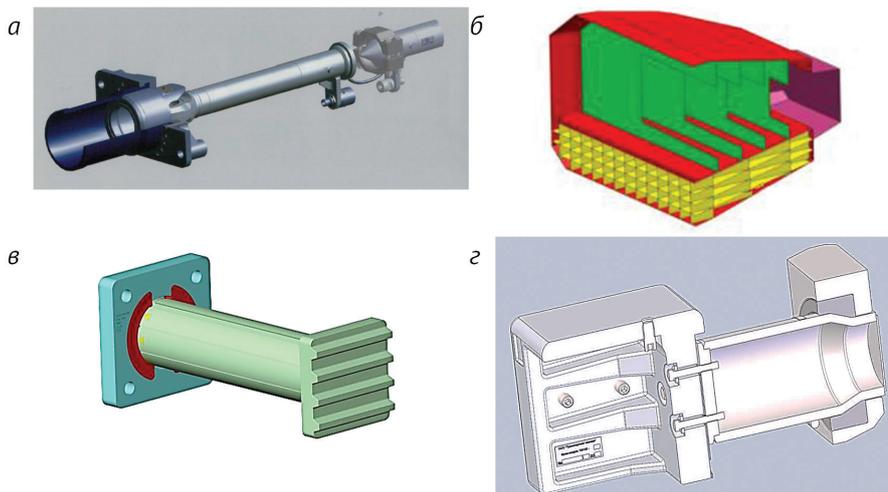


Рис. 2. Примеры различных типов деформации крэш-элементов: а – крэш-элемент развальцовываемого типа в составе межвагонной сцепки, б – установление крэш-бокса на головной вагон высокоскоростного поезда, в – крэш-буфер резцового типа, г – установление крэш-модуля обсадного типа на межвагонные сцепки

и энергетических параметров УПЭ методом конечных элементов;

- изготовление опытных (неполно-размерных) образцов в нескольких конструктивных вариантах;
- проведение копровых испытаний опытных образцов;
- изготовление натурального (полно-

размерного) образца;

- проведение автономных разрушающих испытаний натурального образца УПЭ.

Создаваемые системы пассивной безопасности должны соответствовать требованиям нормативной документации. Основы расчета и оценки эффек-

тивности работы крэш-системы поезда заложены в ГОСТ 32410–2013, который, как уже отмечалось, является аналогом EN15227–2020.

ГОСТ 32410–2013 рассматривает два сценария аварийного соударения подвижного состава с препятствием. сценарий 1 моделирует аварийное столкновение на железнодорожном переезде с автомобилем, сценарий 2 – аварийное столкновение с грузовым вагоном (без буферов) массой 80 т.

Однако основные факторы, которым должна соответствовать система пассивной безопасности, не зависят от сценария столкновения:

- среднее ускорение замедления вагонов (не более 5g);
- максимальная сила воздействия на раму вагона (зависит от типа подвижного состава);
- остаточная послеаварийная деформация вагона – не более 50 мм на каждые 5 м длины кузова вагона, а изменение линейных размеров по диагоналям дверных и оконных проемов – не более 1 % от исходных размеров.

Предварительная оценка эффективно-

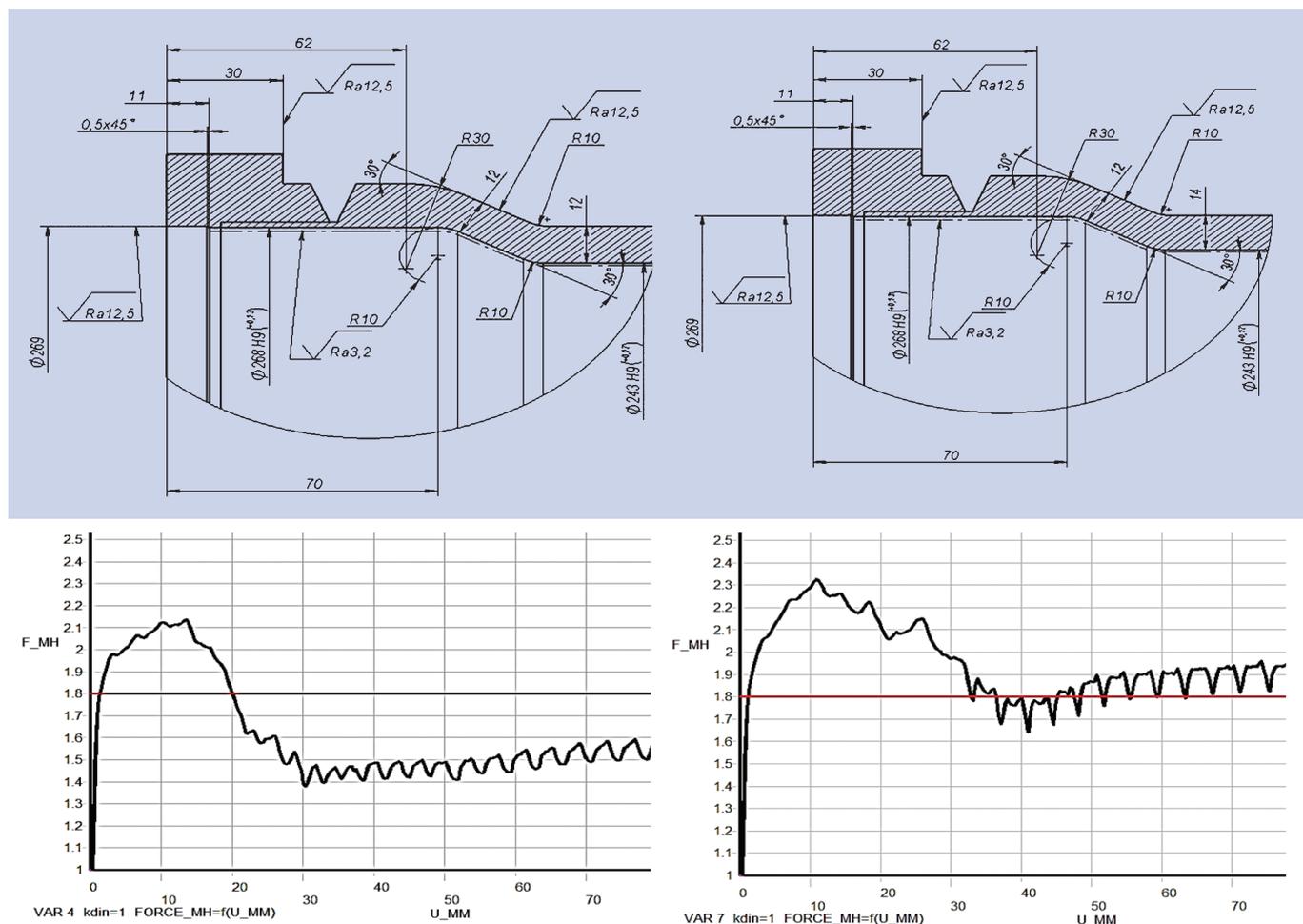


Рис. 3. Примеры вариации конструкций УПЭ и соответствующих им диаграмм деформирования (слева – крэш-элемент с толщиной стенки 12 мм, справа – 14 мм)

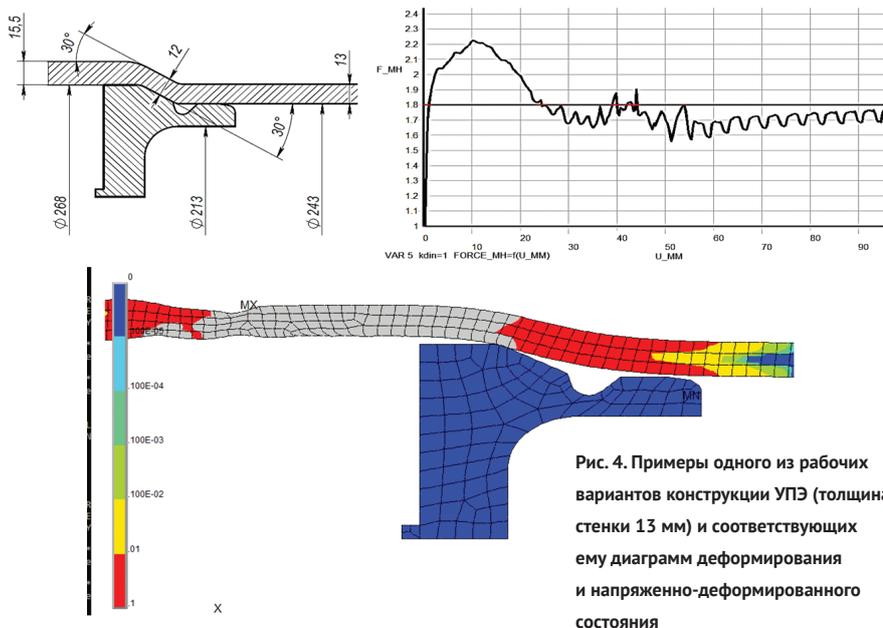


Рис. 4. Примеры одного из рабочих вариантов конструкции УПЭ (толщина стенки 13 мм) и соответствующих ему диаграмм деформирования и напряженно-деформированного состояния

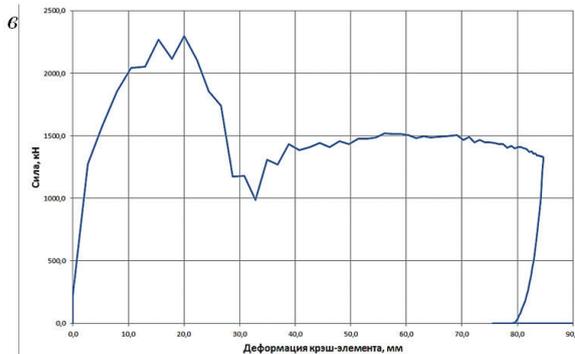
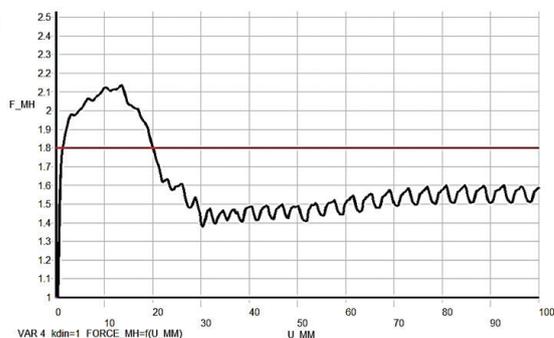


Рис. 5. Пример испытаний образца на вертикальном копре: а – испытанный образец, б – расчетная диаграмма деформации образца, в – экспериментальная диаграмма деформирования образца

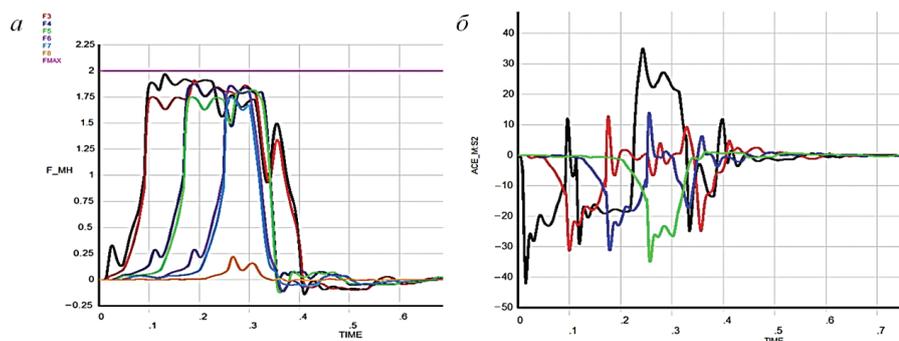


Рис. 6. Примеры расчетных графиков зависимости силы (а) и ускорения (б) от времени при одном из сценариев столкновения

сти работы УПЭ предполагает расчетное исследование процесса соударения вагонов с препятствием на основе модели абсолютно неупругого соударения твердых тел с сохранением величины импульса движения.

Для более точного построения расчетной модели сначала производится расчет деформирования крэш-элементов, предполагаемых к установке на ПС, методом конечных элементов в области пластических деформаций. Характеристики материала крэш-элемента для этого расчета вводятся из диаграммы испытаний реального образца металла на разрывной машине. Результаты такого расчета позволяют получить основу для дальнейшей работы – расчета соударения вагонов по сценариям 1 и 2.

На рис. 3, 4 изображены примеры рабочих частей крэш-элементов, результатов расчета диаграмм деформирования и расчета напряженно-деформированного состояния.

Далее изготавливаются неполноразмерные (ограниченной длины) образцы УПЭ. Для определения технологического усилия, которое будет впоследствии задаваться для получения стабильных характеристик крэш-элемента, образцы нагружались на гидравлическом прессе.

После этого проводятся промежуточные испытания на вертикальном копре АО «ВНИИЖТ» (рис. 5). По результатам копровых испытаний выбирается лучшая конструкция образца, по которой впоследствии производится окончательный расчет по сценариям 1 и 2, а также изготавливается полноразмерный образец для автономных разрушающих испытаний.

Завершающим этапом расчетных исследований является подтверждение расчетных диаграмм силы по времени для всех устройств поглощения энергии.

Полученные диаграммы всех УПЭ закладываются в расчет соударения вагонов и далее получаем характеристики течения силы, ускорения и скоростей подвижного состава по времени, на основе которых делается вывод об эффективности принятых конструктивных решений. На рис. 6 приведены графики зависимости силы и ускорения от времени при одном из сценариев столкновения.

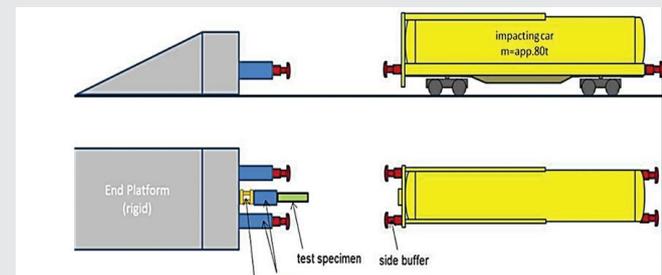
Метод проведения автономных разрушающих испытаний УПЭ предлагается рассмотреть в сравнительной таблице.

Опыт проведения автономных разрушающих испытаний позволяет сделать вывод о необходимости внесения изменений в ГОСТ 32410–2013.

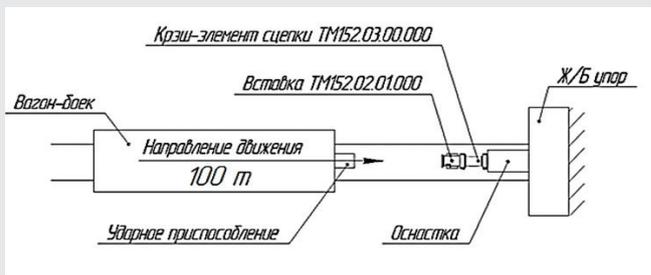
Сравнительный анализ метода проведения автономных разрушающих испытаний УПЭ

Испытания УПЭ TÜV SÜD Rail GmbH – Rolling Stock Test Center в г. Гёрлиц (Германия)	Испытания УПЭ ООО «ТИЦ ЖТ» в г. Тихвин (Россия)
--	---

Схема проведения испытаний в обоих случаях использована одинаковая – вагон-бойек накатывается с заданной скоростью на испытуемый крэш-элемент, далее происходит поглощение кинетической энергии вагона за счет деформации УПЭ



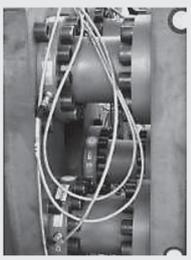
Конструкция вагона бойка отличается от типового грузового вагона наличием ударной торцевой стены (приводит к смещению центра масс вагона) и возможностью установить на ней необходимое ударное приспособление. Масса вагона-бойка 80 т, максимальная скорость соударения 25 км/ч



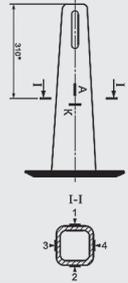
Конструкция вагона бойка является типовой для грузового вагона, имеется возможность испытания как с поглощающим аппаратом заданного класса, так и с металлическим имитатором. Масса вагона-бойка 100 т, максимальная скорость соударения 15 км/ч



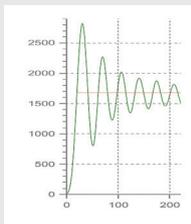
Силоизмерительный блок представлен в виде четырех тензOMETрических датчиков силы и, как следствие измеряемый ударный импульс является расчетным (сигнал суммируется по показаниям четырех датчиков), а также содержит информацию не только о входном сигнале, но и о комплексном коэффициенте передачи УПЭ, что вносит дополнительную погрешность в определяемую величину силы



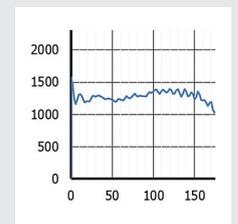
Силоизмерительный блок представлен в виде автосцепки с плоской ударной частью. На хвостовике устанавливаются тензорезисторы и соединяются в измерительную схему. Схема тарируется испытательным сжимающим усилием 3,5 МН



Изменение линейных размеров УПЭ во время испытаний определяется тросовым датчиком, что вносит искажение в реальный сигнал из-за колебательного движения тросика. Ниже приведен пример части диаграммы с фильтром нижних частот (Баттерворта 4-го порядка) 180 Гц



Изменение линейных размеров УПЭ во время испытаний определяется лазерным датчиком, искажение сигнала отсутствует. Ниже приведен пример части диаграммы с фильтром нижних частот (Баттерворта 4-го порядка) 180 Гц



Ниже приведена фотография процесса проведения автономных разрушающих испытаний



- Ввести термин «усилие срабатывания УПЭ» — сила, при которой происходит начало деформации. Величина усилия срабатывания УПЭ как правило значительно отличается в большую сторону от средней силы, а значит вносит значительный вклад в величину ускорения подвижного состава.

- Ввести требование производить расчет сценариев соударения с учетом наличия поглощающего аппарата на грузовом вагоне (сценарий 2), а также указать приближенные к эксплуатационным (на путях железных дорог РФ) массово-жесткостные характеристики объектов соударения (автомобиль и грузовой вагон без буферов).

- Указать метод обработки диаграммы деформирования УПЭ, например, методом «Трапеций».

- Указать минимальную энергию поглощения УПЭ при испытаниях в процентах от максимально возможной по конструкторской документации.

- Ввести требование проводить автономные разрушающие испытания УПЭ с грузовым вагоном, оборудован-

ным поглощающим аппаратом класса Т1, как наиболее распространенного на сети железных дорог РФ. **Т**

Литература

1. Киселев И. П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс: учеб пособие в 2-х т. / И. П. Киселёв, Л. С. Блажко, М. Я. Брынь, А. Т. Бурков и др.; под ред. И. П. Киселёва // М.: ФГБУ ДПО «Учеб.-методич. центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2014. — Т. 1. — 308 с. — Т. 2 — 397 с.
2. Зверев М. В. Выбор параметров конструкционных амортизаторов аварийных продольных соударений скоростных поездов: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Специальность: 05.22.07 — Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация / М. В. Зверев // СПб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщения (ПГУПС), 2001. — 143 с.
3. Шорохов С. Г. Обоснование конструктивных решений системы пассивной безопасности пассажирских вагонов: дисс. на соискание ученой степени канд. техн.

наук. Специальность: 05.22.07 — Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация / С. Г. Шорохов // Брянск: Брянский технический ун-т, 2015. — 147 с.

4. Барышников А. В. Разработка системы пассивной безопасности пассажирского вагона от аварийных столкновений на основе применения буферов с жертвенными элементами: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Специальность: 05.22.07 — Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация / А. В. Барышников // М.: ФГАОУ ВО «Российский ун-т транспорта» (МИИТ), 2019. — 121 с.
5. ГОСТ 32410–2013. Краш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля. — М.: Стандартинформ, 2019. — 12 с.
6. EN15227–2020. Railway applications. Crashworthiness requirements for rail vehicles. — Brussels, Belgium: European Committee for Standardization (CEN), 2020. — 62 p.

ТРАНСПОРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОРТАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Портал **ROSTRANSPORT.COM** — это информационная площадка для встречи специалистов транспорта.

Пишите, и Ваше мнение узнает вся транспортная Россия.

Цифровой двойник инфраструктуры железнодорожной автоматике и телемеханики



Д. В. Зув,
канд. техн. наук,
генеральный директор
ОАО «Синтез-АТ»



С. В. Бочкарев,
канд. техн. наук,
технический директор
ОАО «Синтез-АТ»

Принцип работы информационно-аналитической платформы, представленной в виде цифрового двойника, для поддержки принятия решений по содержанию и обслуживанию средств железнодорожной автоматике и телемеханики основан на систематизации и структуризации данных от разных смежных АСУ. Цифровой двойник, синхронизированный с данными о фактическом состоянии инфраструктуры, является инструментом для повышения безопасности движения поездов и сокращения расходов в ОАО «РЖД».

Цифровизация хозяйства автоматике и телемеханики

В связи с развитием в стране скоростного и высокоскоростного движения, увеличением объемов перевозок, а также решением задачи оптимизации работы ОАО «РЖД», возникает задача цифровизации объектов железнодорожной инфраструктуры.

Ключевыми цифровыми технологиями XXI века, применяемыми в хозяйстве железнодорожной автоматике и телемеханики (ЖАТ), являются:

- мобильные рабочие места электро-механика (ЕК АСУИ МРМ-Ш) [1] — единая информационная модель для управления содержанием инфраструктуры хозяйства ЖАТ;
- интернет вещей [2, 3] — система передачи данных между физическими объектами, оснащенными датчиками сбора информации, по сети Интернет;
- универсальный измерительный комплекс «Эталон Ш» [4] — прибор, предназначенный для проведения электрических измерений в хозяйстве ЖАТ на базе мобильного устройства и передачи выполненных результатов измерений в информационную среду ЕК АСУИ МРМ-Ш с привязкой к конкретным устройствам;
- искусственный интеллект и машинное обучение [5, 6] — способы автоматизированной обработки больших объемов данных для выявления неисправностей и предотказных состояний исследуемых объектов;
- виртуальная реальность (VR) [7, 8] — технология, позволяющая погрузить пользователя в виртуальный мир исследуемых объектов при применении специального оборудования;

- цифровой двойник [9] — детальное моделирование конфигураций физических объектов и динамическое моделирование изменений данных о них, их технического состояния и остаточного ресурса в процессе их жизненного цикла.

Существующий регламентный подход по техническому обслуживанию и ремонту технических средств ЖАТ имеет ряд ограничений, связанных с неэффективным использованием их ресурсов (отсутствие максимальной и равномерной выработок ресурса), а также с рисками эксплуатационных отказов технических средств (по причине влияния человеческого фактора).

Таким образом, есть потребность в комплексном цифровом инструменте, который бы помог эффективно организовать процесс технического обслуживания и ремонта технических средств ЖАТ в зависимости от состояния конструкций и объектов, в том числе в рамках применения инструментов имитационного моделирования.

Масштабность, технологическая сложность и интенсивность использования железнодорожной инфраструктуры хозяйства автоматике и телемеханики требуют своевременного технического обслуживания и ремонта, ее качественного содержания для поддержания бесперебойной работы систем электрической централизации и блокировки.

Техническая оснащенность объектов инфраструктуры хозяйства автоматике и телемеханики отражена в технической документации: схематические, двухниточные планы станций, путевые планы перегонов, схемы кабельных трасс, принципиальные схемы. Техническая доку-

ментация является аналоговой моделью систем и устройств ЖАТ. Проекты модернизации и реконструкции объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» прежде всего отражаются в технической документации и в существующих информационных системах.

С помощью представления цифрового двойника инфраструктуры хозяйства автоматики и телемеханики можно обнаружить аномалии в процессах технического обслуживания и достичь различных функциональных целей, таких как: управление в режиме реального времени, аналитика в автономном режиме, проверка работоспособности и предиктивное обслуживание технических средств ЖАТ, анализ большого объема эксплуатационных данных и т. д.

В целевом состоянии цифровой двойник устройств ЖАТ — форма представления реальных напольных устройств в виде 3D-модели с детализацией на уровне конструкторской документации, моделирование технических характеристик устройств и их поведения в условиях воздействия помех и окружающей среды с привязкой к железнодорожной системе координат. Например, стрелочный электропривод: 3D-модель привода со всеми составными узлами (электродвигатель, автопереключатель), размещение его на модели путевого развития в соответствии с реальными координатами, моделирование его нормальной работы, оценка поведения на основе его диагностических параметров (например, графики тока/усилия перевода стрелки).

Под цифровыми двойниками напольных статических устройств ЖАТ (релейный шкаф, муфта и т. п.) подразумеваются представления реальных устройств в виде 3D-модели с детализацией на уровне конструкторской документации, моделирование технических характеристик с привязкой к железнодорожной системе координат. В частности, кабельная муфта: 3D-модель муфты с клеммными панелями внутри, размещенная на модели путевого развития в соответствии с реальными координатами.

Назначением цифрового двойника является моделирование работы технических средств ЖАТ для выявления отклонений в их работе и оценки влияния изменений требований, сценариев использования, условий окружающей среды и других переменных на работоспособность инфраструктуры хозяйства ЖАТ.

Переход существующих бизнес-процессов содержания и технического об-

служивания технических средств на технологию цифровых двойников позволит получать в режиме реального времени данные (технические и эксплуатационные параметры) о технических средствах, информацию об их активности и поможет справиться со сложностью оперативных препятствий.

С помощью применения технологии цифрового двойника хозяйство автоматики и телемеханики может:

- оценить работу инфраструктуры при заданных параметрах и выявить узкие места;
- исследовать различные способы более экономичного технического обслуживания объектов инфраструктуры (изменение режимов обслуживания, стратегии планирования, пропускной способности) в безопасной цифровой среде;
- сравнить различные сценарии, оценить их ключевые показатели эффективности и принять обоснованные решения.

Проекты хозяйства автоматики и телемеханики в ОАО «РЖД» в рамках внедрения технологии цифрового двойника

В настоящее время в хозяйстве автоматики и телемеханики определены следующие проекты, направленные на цифровизацию и формирование целевого состояния цифрового двойника хозяйства:

- технология управления жизненным циклом аппаратуры ЖАТ [10, 11];
- технология повышения надежности кабельных сетей ЖАТ [12];
- автоматизация технического обслуживания устройств ЖАТ с применением «Эталона Ш» [4].

Технология управления жизненным циклом аппаратуры ЖАТ

В настоящее время на станции Обухово эксплуатируется технология расчета количества срабатываний аппаратуры ЖАТ. Она базируется на данных поездного положения, получаемых в режиме онлайн из систем технической диагностики и мониторинга (ТДМ).

Данные поездного положения обрабатываются в части определения начала и конца маршрута (светофор и его показания, по которым были заданы маршруты; секции, участвующие в маршруте), состояний элементов системы ЖАТ по индикации аппарата управления (отмена маршрута, искусственное размыкание и т. д.).

Набор данных, полученный в результате обработки информации от систем ТДМ, сопоставляется с алгоритмом (правилами) работы системы ЖАТ, эксплуатируемой на станции. По результатам сравнения формируется перечень «виртуальных» реле, отражающий порядок работы системы ЖАТ. Он сопоставляется с реальными реле на объекте (станции/перегоне), полученными из модуля технической оснащенности АСУ-Ш2 или загруженными ручным способом.

Аппаратуру из списка «виртуальных», которая не сопоставляется с реальной аппаратурой, требует ручного редактирования для приведения «виртуального» списка в соответствие с реальной технической оснащенностью объекта. После выполнения всех настроек системы учета работы приборов для подсчета количества срабатываний реле за заданный период времени необходима загрузка логов унифицированных состояний устройств ЖАТ/архив систем ТДМ, автоматический анализ которых формирует отчет о срабатывании со следующими полями: наименование, марка, монтажный адрес, количество включений/выключений, итого переключений.

Результаты пилотирования технологии подсчета числа срабатываний аппаратуры на станции Обухово показали, что аппаратура с высокой интенсивностью эксплуатации быстрее вырабатывает нормативное количество срабатываний (гарантированное количество срабатывания с вероятностью безотказной работы 0,8–0,9), указанное в технических условиях к аппаратуре.

Оборудование с высокой интенсивностью эксплуатации требует замены раньше регламентного срока, а аппаратуру с низкой интенсивностью эксплуатации можно заменять гораздо реже. В настоящее время горизонт планирования замены аппаратуры составляет один год и требуется определить оптимальный период.

Данные количества срабатываний аппаратуры позволяют установить фактический срок замены аппаратуры на основе трех параметров: регламентный срок по инструкции технического обслуживания устройств ЖАТ, средняя наработка до отказа, расчетный срок замены. Это приведет к равномерной и максимальной выработке ресурса со снижением рисков эксплуатационных и деградационных отказов аппаратуры ЖАТ.



Рис. 1. Технология управления жизненным циклом аппаратуры

Концепция технологии управления жизненным циклом аппаратуры заключается в следующих действиях (рис. 1):

- прием данных системой ремонтно-технологического участка по отгруженным для РЖД приборам с параметрами заводских испытаний от заводских изготовителей;
- прием цифровым двойником ЖАТ данных о поездном положении от систем ТДМ (системы отображения поездного положения) и их обработка с целью получения информации о реализованных маршрутах и происходящих событиях на аппарате управления (отмена маршрута, перегорание предохранителей и т. д.);
- прием цифровым двойником ЖАТ данных о технической оснащённости станции/перегона по релейной аппаратуре из системы ремонтно-технологического участка;
- подсчет фактического числа срабатываний релейной аппаратуры, расчет сроков замены реле;
- оценка того, как быстро будет выработан ресурс аппаратуры и в какую электрическую цепь рассматриваемой станции (или на какую станцию) мож-

но ее переставить для продления срока службы;

- передача полученных данных от цифрового двойника ЖАТ в систему ремонтно-технологического участка для планирования замены и ремонта аппаратуры.

Эффект будет достигаться по следующим показателям:

- 1) сокращение трудозатрат на замену и ремонт той аппаратуры, которая работает с низкой интенсивностью, и имеют высокий показатель гарантийного количества срабатываний;
- 2) сокращение количества рисков отказов аппаратуры за счет уменьшения сроков замены аппаратуры.

Технология повышения надежности кабельных сетей ЖАТ

Кабельное хозяйство ЖАТ является наиболее уязвимым местом для внешних повреждений. Кабельные групповые муфты, путевые коробки, в которых разделяется кабель, расположенные в междупутьях станции, подвержены повреждениям при работе снегоочистителей и путевых машин.

Повреждение кабелей СЦБ также

происходит при производстве земляных работ на станции разными сторонними организациями — подрядчиками с применением тяжелой техники.

К способам снижения рисков повреждения кабельных сетей и их элементов относятся формирование и ведение схем исполненных кабельных трасс станций. Их предоставление руководителям различных работ позволит повысить надежность кабельных сетей и их элементов [12].

Для формирования исполненной кабельной трассы на схематическом или двухниточном плане станций на основе данных трассоискателей требуется перевод географической системы координат в плоскую прямоугольную систему координат, которая используется в редакторе ЕКП ТД.

Концепция формирования схемы исполненной кабельной трассы основана на следующих действиях (рис. 2):

- получение трека с трассоискателя о трассе укладки кабеля с параметрами: широта и долгота точки (в десятичном формате), глубина залегания кабеля (в метрах);
- перевод полученных географических координат из десятичного формата в формат плоских прямоугольных координат;
- масштабирование полученных плоских прямоугольных координат в рамках двухниточного плана станции в электронном виде в формате СТО РЖД 19.008–2020 «Формат графических файлов технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики в электронном виде. Технические требования».

Использование исполненной кабельной трассы эксплуатационным персоналом дистанций пути и СЦБ позволит сократить количество обрывов кабеля при проведении земляных и снегоуборочных работ и обеспечит оперативное восстановление работоспособности устройств ЖАТ при обрыве кабеля.

Автоматизация технического обслуживания устройств ЖАТ с применением прибора «Эталон Ш»

Одним из направлений повышения и поддержания уровня надежности работы средств ЖАТ является контроль их технического состояния, в частности, измерение диагностических параметров устройств СЦБ, согласно графику технического обслуживания.

Для его выполнения требуется значи-

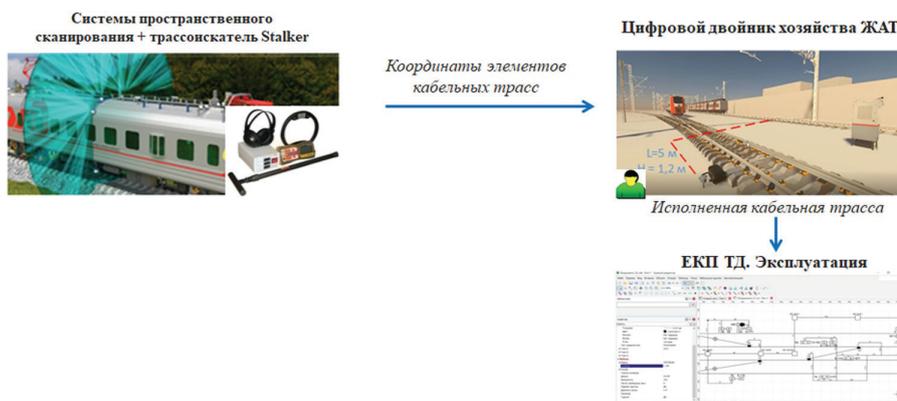


Рис. 2. Технология формирования исполненной кабельной трассы

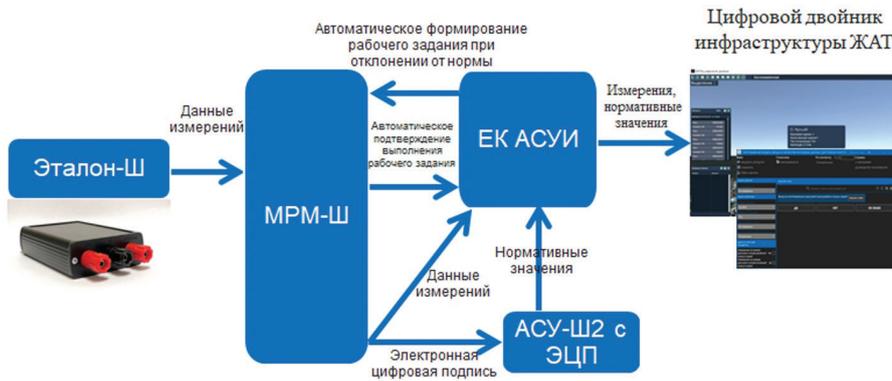


Рис. 3. Техническое обслуживание устройств ЖАТ с применением прибора «Эталон Ш»

тельное приборное обеспечение. Для определения состояния устройств и систем ЖАТ в ОАО «РЖД» используют различные системы ТДМ. Однако в настоящее время они покрывают не всю сеть и автоматизируют не все измерения, указанные в технологических картах технического обслуживания.

Указанный недостаток влияет не только на надежность работы устройств и систем ЖАТ, но и на производительность эксплуатационного персонала.

Решение проблемы возможно за счет внедрения универсального измерительного прибора «Эталон-Ш», который предназначен для проведения электрических измерений в хозяйстве автоматики и телемеханики на базе мобильного устройства.

Передача выполненных результатов измерений в информационную среду ЕК АСУИ МРМ-Ш с привязкой к конкретным устройствам ЖАТ обеспечивает их систематизацию и оперативный доступ к ним на всех уровнях хозяйства для решения эксплуатационных задач.

Концепция технического обслуживания устройств СЦБ на основе использования МРМ и измерительного прибора «Эталон Ш» (рис. 3) заключается в следующем:

- электромеханик СЦБ выполняет измерения посредством прибора «Эталон-Ш»;
- полученные результаты измерений по Bluetooth передаются на МРМ-Ш;
- далее они направляются в АСУ-Ш2 для заполнения электронных журналов с использованием ЭЦП и в ЕК АСУИ, где производится сравнение полученных измерений с нормативными значениями, загруженными от АСУ-Ш2;
- в случае выявления отклонения от нормы в ЕК АСУИ автоматически формируется рабочее задание, которое передается на МРМ-Ш;
- электромеханик выполняет вос-

становительные работы и контрольные измерения посредством прибора «Эталон Ш». В случае успешного устранения отклонения с МРМ-Ш автоматически передается в ЕК АСУИ подтверждение выполнения рабочего задания.

Использование технологии технического обслуживания с применением прибора «Эталон Ш» позволяет:

- автоматизировать фиксации выполненных измерений, т. е. исключить ручной ввод данных в журналы измерений;
- сократить в эксплуатации большое количество измерительных приборов;
- уменьшить время поиска неисправностей устройств и систем ЖАТ за счет автоматизации поиска отказов с учетом измерений системой «Эталон Ш» и применения МРМ-Ш ЕК АСУИ для устройств ЖАТ.

Заключение

Реализация технологии цифрового двойника ЖАТ дает возможность принципиально изменить подходы к планированию, содержанию и работе инфраструктуры, а также к оценке влияния изменений и требований, сценариев использования, условий окружающей среды и других переменных, влияющих на ключевые показатели работы. В том числе это позволит проводить тестирование и апробацию новых решений и технологий на платформе цифрового двойника.

Литература

1. Кленов, А. В. Новые возможности с МРМ / А. В. Кленов // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). – 2022. – № 2. – С. 41–42.
2. Козлов, А. В. Транспортные киберфизические системы как результат развития технологии интернета вещей / А. В. Козлов // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – № 1. – С. 11–21.

3. Суконников, Г. В. Применение технологии «интернет вещей» в ОАО «РЖД» / Г. В. Суконников. – URL: <http://www.rzd-expo.ru/innovation/novosti/1.pdf> (дата обращения: 17 мая 2022 г.)
4. Сиделев, П. С. Автоматизация измерения электрических параметров устройств ЖАТ / П. С. Сиделев // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). – 2021. – № 10. – С. 32–34.
5. Бочкарев, С. В. Совершенствование методов диагностирования стрелочного переводного устройства / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков, Д. С. Марков // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1.
6. Зуев, Д. В. Исследование методов анализа диагностической информации для выявления неисправностей стрелочного электропривода / Д. В. Зуев, С. В. Бочкарев, С. В. Белоусов, М. К. Селезнева // Транспортные интеллектуальные системы: сб. материалов I международной научно-практической конференции «Транспортные интеллектуальные системы – 2017» (TIS-2017). Санкт-Петербург, 16–17 февраля 2017 г. / под ред. Вал. В. Сапожникова, Д. В. Ефанова. – СПб.: ФГБОУ ВО Петерб. гос. ун-т путей сообщения. – 2017. – С. 101–109.
7. Симулятор действительности. – Вып. 14. – 29 января 2020. – URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1491668> (дата обращения: 17 мая 2022 г.)
8. Бочкарев, С. В. Обучение в виртуальной реальности / С. В. Бочкарев // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). – 2022. – № 8. – С. 33–35.
9. Юханов С. С. Преимущества технологии цифрового двойника инфраструктуры / С. С. Юханов, Д. В. Зуев, С. В. Бочкарев, А. А. Федоров // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). – 2021. – № 4. – С. 18–21.
10. Седых, Д. В. Учет работы приборов с помощью АРМ-УРП / Д. В. Седых // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). – 2007. – № 3. – С. 7–8.
11. Сиделев, П. С. Технология управления жизненным циклом аппаратуры ЖАТ в рамках цифрового двойника / П. С. Сиделев // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). – 2021. – № 11. – С. 2–4.
12. Зуев, Д. В. Методология формирования исполненной кабельной трассы / Д. В. Зуев, С. В. Бочкарев, А. А. Федоров // Автоматика. Связь. Информатика (АСИ). – 2022. – № 15. – С. 21–24.

Оценка инновационности новых грузовых вагонов



Титова Т. С.,
д-р техн. наук, профессор,
первый проректор — про-
ректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Петербургский
государственный универ-
ситет путей сообщения
Императора Александр-
ра I» (ПГУПС)



Бороненко Ю. П.,
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой «Ва-
гоны и вагонное хозяйст-
во» ПГУПС



Покровская О. Д.,
д-р техн. наук, доцент,
исполняющий обязанности
заведующего кафедрой
«Управление эксплуата-
ционной работой» ПГУПС

В настоящее время общий парк грузовых вагонов принадлежности Российской Федерации насчитывает 1,2 млн единиц, из них около 16 % — подвижной состав с осевой нагрузкой 25 т. Эти вагоны изначально стали считаться инновационными. Однако проблема критериев инновационности подвижного состава остается весьма актуальной.

Введение

Как известно, не все вагоны с нагрузкой 25 т [1] признаются инновационными с позиций Федеральной антимонопольной службы России (ФАС) и ОАО «РЖД». Только некоторым моделям производства АО «Тихвинский вагоностроительный завод», АО «НПК «Уралвагонзавод» и АО «Алтайвагон» в настоящее время предоставляются скидки в тарифе. При этом в предыдущие годы государством проводилось субсидирование приобретения грузовых вагонов, признанных инновационными Министерством транспорта России [2].

Потому вопрос, является ли вагон инновационным или нет, вызывает споры как у ОАО «РЖД», так и у производителей и операторов вагонов. Обоснованность предоставления тарифных скидок отдельным моделям даже рассматривалась ФАС [3].

Об актуальности теоретических вопросов оценки инновационности свидетельствует внимание отраслевых объединений НП «СОЖТ», НП «ОПЖТ», Союз «ОВС», а также отраслевой прессы и ряда транспортных научно-периодических изданий [4–7]. Заинтересованность операторского сообщества в подвижном составе нового поколения увеличивается. Так, например, только за 2021 г. компании-операторы заменили порядка 30 % вагонов выбывающего парка на подвижной состав с нагрузкой на ось 25 т.

Учитывая тенденции реализации стратегии научно-технического развития ОАО «РЖД» («Белая книга») [8] в части роста производительности вагонов, можно говорить о соразмерном рыночному спросу увеличении производства вагонов с повышенной осевой нагрузкой. В свою очередь, рост доли инновационного подвижного состава на рынке и спроса на его использование, а также повышенное внимание к ключевым характеристикам эффективности определяют насущную необходимость в оценке инновационности

как фактора успешности эксплуатации подвижного состава и адекватного технико-экономического анализа необходимости его применения.

Изложенное выше определило основную цель данного исследования — разработку методики оценки инновационности нового грузового вагона в ответ на имеющиеся недостатки применяемых систем измерений инновационности.

Проблематика оценки инновационности нового грузового вагона

В соответствии с п. 4 ст. 4 Федерального закона от 18 июля 2011 г. № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» критерии отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупки такой продукции устанавливаются федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими функции по нормативно-правовому регулированию в установленной сфере деятельности с учетом утвержденных Президентом РФ приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечнем критических технологий РФ.

В настоящее время такие критерии приняты восемью органами исполнительной власти, в том числе Министерством транспорта РФ. Так, его Приказ от 25 августа 2015 г. № 261 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупки такой продукции» утвердил 5 критериев.

Первые два из них характеризуют научно-техническую новизну, но не имеют количественной оценки. Новые вагоны можно отнести к технологии «Создание транспортной техники нового поколения».

Третий критерий характеризует внедрение инновации, что выполняется для всех грузовых вагонов, находящихся в рабочем парке.

Четвертый относится к экономическому эффекту от инновации. Экономический эффект от использования для собственника вагонов или оператора рассчитывается в сравнении с вагоном-аналогом, и новые вагоны дают определенный эффект.

Гораздо сложнее определить экономический эффект для владельца инфраструктуры. Его главная экономия — сокращение затрат на развитие пропускных способностей наиболее загруженных участков сети — в оценке эффекта не используется в силу сложности учета всех факторов. Расчет экономического эффекта производится посредством оценки текущих затрат владельца инфраструктуры железнодорожного транспорта от эксплуатации грузового вагона с улучшенными техническими характеристиками в сравнении с вагоном-аналогом в соответствии с «Методикой оценки экономической эффективности эксплуатации грузовых инновационных вагонов на железнодорожной инфраструктуре российских железных дорог» [8].

Методика предусматривает экспериментальное определение показателей, влияющих на изменение затрат владельца инфраструктуры, путем проведения испытаний поездов из грузовых инновационных вагонов в сравнении с поездами из вагонов-аналогов. На основе полученных данных определяется экономический эффект, связанный со снижением расходов владельца инфраструктуры.

Использование этой методики для подтверждения инновационности пока осуществлено только на нескольких типах вагонов из-за высокой стоимости испытаний по определению сопротивления движению и воздействия на путь.

Пятый критерий представляет требование к наукоемкости создаваемой продукции, которое определяется через результаты интеллектуальной деятельности, подлежащие правовой охране в виде новых технических или технологических решений.

Этот критерий выполняется для большинства вагонов. Используемые в вагонах, проходящих постановку на производство, новые технические решения защищаются по крайней мере патентами на полезные модели. Таким образом рассматриваемый Приказ Министерства транспорта РФ № 261 дает широкую воз-

можность толкования инновационности. Фактически каждый вагон, приносящий экономический эффект и имеющий элемент конструкции, который защищен патентом, может считаться инновационным.

Другим направлением оценки инновационности является детальная конкретизация требований, в том числе и уже реализованных в эксплуатируемых вагонах.

В Постановлении Правительства РФ от 19.11.2014 г. № 1223 [9] были определены конкретные критерии инновационности.

Для грузовых вагонов в целом:

- восприятие осевой нагрузки — от 25 тс и более;
- пробег от постройки до первого деповского ремонта — не менее 500 тыс. км (либо не менее 4 лет);
- межремонтный пробег между плановыми видами ремонта — не менее 250 тыс. км (либо не менее 2 лет);
- климатическое исполнение УХЛ категория 1 (все комплектующие, узлы и составные части имеют климатическое исполнение УХЛ категория 1) по ГОСТ 15150–69.

Для грузовых вагонов для перевозки автомобилей были определены следующие показатели инновационности:

- масса тары с балластом — не более 46 т;
- скорость — до 120 км/ч;
- длина вагона — от 24260 мм;
- минимальный радиус кривых проходимости по 2-й группе грузовых вагонов — не более 90 м;
- габарит вписывания 1-Т;
- количество ярусов — 2 шт.;
- высота проема первого яруса — от 1820 мм;
- высота проема второго яруса — от 1850 мм;
- климатическое исполнение УХЛ категория 1 (все комплектующие, узлы и составные части имеют климатическое исполнение УХЛ категория 1) по ГОСТ 15150–69.

Отраслевой стандарт ОАО «РЖД» [10] дает технические критерии инновационности, значительная часть которых уже достигнута на эксплуатируемом подвижном составе:

- 1) погонная нагрузка — не более 8,2 т/м (для четырехосных вагонов);
- 2) кузов вагона, имеющий коэффициент тары, — не более 0,36 (для универсальных полувагонов, для грузовых вагонов остальных типов рассчитывают отдельно);
- 3) коэффициент вертикальной динамики обрессоренных частей кузова в по-

рожном состоянии не более 0,65 и в груженом состоянии не более 0,55 (критерии должны быть обеспечены как для нового вагона, так и для имеющего максимально допустимые в эксплуатации износы при условии выполнения п. 5);

4) рамные силы в долях от осевой нагрузки в порожнем состоянии не более 0,3 и в груженом — не более 0,25 (критерии должны быть обеспечены как для нового вагона, так и для имеющего максимально допустимые в эксплуатации износы при условии выполнения п. 5);

5) допускаемая скорость движения груженых и порожних вагонов на прямых участках пути и кривых большого и среднего радиуса (650 м и более) с рельсами Р65 по условиям воздействия на путь, устойчивости вагона от схода с рельсов не менее 90 км/ч;

6) климатическое исполнение УХЛ категория 1 (включая все комплектующие, узлы и составные части) по ГОСТ 15150;

7) пробег от постройки и капитального ремонта до деповского ремонта не менее 500 тыс. км (не менее 6 лет). Учет выполненной работы вагона с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками (инновационного) для их подтверждения осуществляют по пробегу;

8) межремонтный пробег между деповскими ремонтами не менее 250 тыс. км (не менее 4 лет). Учет выполненной работы вагона с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками (инновационного) для их подтверждения осуществляют по пробегу;

9) вероятность безотказной работы в эксплуатации не менее 0,98. Учет выполненной работы вагона с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками (инновационного) для их подтверждения осуществляют по пробегу;

10) кассетный подшипник должен обеспечивать среднюю наработку на отказ не менее 800 тыс. км;

11) колесо должно обеспечивать среднюю наработку на отказ не менее 1,0 млн км за весь срок службы;

12) техническое обслуживание вагонов маршрутной отправки на станции формирования с проведением следующего технического осмотра вагонов на станции назначения (с проследованием транзитом) не менее чем через 3500 км, но не более 6000 км;

13) не превышение допустимых значений критериев прочности элементов верхнего и нижнего строения пути;

14) отсутствие накопления расстройств пути в период подконтрольной эксплу-

Таблица 1. Требования к инновационности вагонов, сформулированные Союзом «Объединение вагоностроителей»

№ п/п	Стандарт	Требования
1.	ГОСТ «Полувагоны. Общие технические условия»	— Климатическое исполнение УХЛ 1 по ГОСТ 15150–69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»; — Применение тележки, обеспечивающей восприятие осевой нагрузки от 25 тс и более; — Пробег от постройки до первого депо-ского ремонта — не менее 500 тыс. км либо не менее 6 лет.
2.	пересмотр ГОСТ 10935 «Вагоны грузовые крытые. Общие технические условия»	
3.	ГОСТ «Вагоны-самосвалы. Общие технические условия»	
4.	ГОСТ «Вагоны-платформы. Общие технические условия»	
5.	ГОСТ «Вагоны-цистерны. Общие технические условия»	
6.	ГОСТ «Вагоны рефрижераторные автономные. Общие технические условия»	— способность эксплуатации в автономном режиме с обеспечением сохранности перевозимых грузов в заданном интервале времени; — степень изоляции грузового отделения: а) с нормальной изоляцией, имеющий коэффициент K , не превышающий $0,70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; б) с усиленной изоляцией, имеющий коэффициент K , не превышающий $0,40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

атации на участках, перечень которых предварительно согласовывает владелец инфраструктуры (при условии, что перечисленные критерии не должны противоречить Постановлению № 1223 [9]).

Еще большее количество конкретных критериев инновационности по каждому виду грузовых вагонов предложено СОЖТ [11].

Анализ приведенных признаков инновационности показывает, что они представляют жестко устанавливаемые критерии, не учитывающие развитие техники. Многие из указанных в перечисленных документах критерии, повторяющие действующие требования Норм и ГОСТов, в настоящее время достигнуты, превышены и нуждаются в обновлении.

В июле 2022 г. вопрос определения инновационности вагонов вновь рассматривался Союзом «Объединение вагоностроителей» в связи с необходимостью реализации подпункта «в» п. 2 поручений Президента РФ от 05.06.2021 г. № Пр-950: «Проработать вопрос о разработке и внедрении стандартов, обеспечивающих поэтапный переход к использованию отечественных инновационных вагонов и тяги с улучшенными технико-экономическими характеристиками, в том числе отвечающих международным экологическим требованиям». В результате обсуждения был сформулирован перечень требований, повторяющий уже достигнутые показатели (табл. 1), изложенные в [9].

Неясно, в чем здесь состоит инноваци-

онность предлагаемых требований — ведь все грузовые вагоны давно выпускаются в исполнение УХЛ1, восприятие осевой нагрузки 25 тс имеется почти у 20 % вагонного парка страны, а межремонтный пробег уже достигает 1 млн км у полувагонов ОВК.

Таким образом, недостатками существующих систем измерений являются их несбалансированность, разобщенность, относительная односторонность, отсутствие комплексности оценочного подхода и неполный перечень оцениваемых критериев. Можно заключить, что проблема выработки единой и адекватной системы оценки инновационности грузового вагона до сих пор не решена.

Выбор системы измерений инноваций — эффективный способ установления реальных ориентиров дальнейшего развития. Достоверная оценка инновационности, на наш взгляд, определяется не только коммерческой составляющей результата внедрения, но прежде всего технической новизной в сравнении с конкурентами и признанными эталонами.

Каким образом можно оценить инновационность вагона без проведения дорогостоящих поездных испытаний, а основываясь на его технико-экономических характеристиках и результатах уже проведенных сертификационных и приемочных испытаниях и подконтрольной эксплуатации?

В данной работе предпринята попытка ответить на этот вопрос.

Общие сведения о предлагаемой методике оценки инновационности новых грузовых вагонов

Понятие «инновация» происходит от латинского слова *innovate* — обновление, улучшение. Существует множество определений инновационной продукции. В частности, инновации разделяют на прорывные и улучшающие. Очевидно, что инновации грузовых вагонов являются улучшающими. Но насколько нужно улучшить показатели, чтобы вагон стал инновационным, никто количественного определения не дает.

Второй вопрос — срок жизни инновации. По истечению какого-то времени после ее внедрения продукт утрачивает свой инновационный статус, становясь повседневной реальностью. Другими словами, статус инновации сохраняется после завершения внедренческих работ в течение 3–5 лет, пока инновация органично не войдет в существующую технологию, а персонал к ней привыкнет. Поэтому в дальнейшем инновационность вагона предлагается определять как сравнение технико-экономических и энергетических характеристик с достигнутыми в последние 3 года.

В новой методике излагается подход к оценке инновационности, непосредственно не связанный с экономическим эффектом. Подразумевается, что все новые вагоны дают экономический эффект и его определяет их собственник, принимая решение о приобретении подвижного состава.

Оценка инновационности по предлагаемой методике ориентирована на диалектический подход к учету изменений технико-экономических параметров, показателей надежности, безопасности и энергоэффективности в сравнении с эксплуатируемыми аналогами и представляет собой задачу с многими критериями.

Оценку инновационности грузового вагона будем проводить путем деления каждой характеристики вагона, претендующего на инновационность, на такую же среднюю характеристику вагонов аналогичного назначения, выпущенных промышленностью в последние 3 года и дальнейшего их суммирования для получения одного оценочного показателя. Период в 3 года выбран с учетом срока жизни инноваций.

Суммирование возможно, поскольку все характеристики при делении приводятся к безразмерному виду, а учет влияния важности характеристики производятся путем введения коэффициентов значимости (весовых коэффициентов). Количество характеристик для сравне-

Таблица 2. Средние значения основных показателей грузовых вагонов по годам внесения в СМГР

№ п.п.	Тип вагона	Годы внесения в СМГР	Грузоподъемность, т	Тара максимальная, т	Объем, площадь, м³/м²	Срок службы, лет	КР* после постройки, лет	ДР** после постройки, рем. по пробегу, лет
1	Полувагон	2004–2006	69,83871	24,12258	82,87419	22,38709	11,161290	3,12903
2	Полувагон	2014–2016	74,42308	24,49231	90,65385	30,46154	15,00	6,00
3	Платформа	2012–2014	70,4375	23,075	–	32	16	3,00
4	Хоппер	2016–2019	74,08	23,52	108,2	28,4	12,7	52,00

* КР — капитальный ремонт; ** ДР — деповский ремонт

ния не ограничено. Полученную сумму предлагается именовать показателем инновационности:

$$P_{инн} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\gamma_i \cdot P_{i\text{ нов}}}{P_{i\text{ стар}}} + \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \frac{\gamma_j \cdot C_{j\text{ стар}}}{C_{j\text{ нов}}} \geq [P_{инн}], \tag{1}$$

$$[P_{инн}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\gamma_i \cdot P_{i\text{ стар}}}{P_{i\text{ стар}}} + \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \frac{\gamma_j \cdot C_{j\text{ стар}}}{C_{j\text{ стар}}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i + \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \gamma_j, \tag{2}$$

где $P_{инн}$ — показатель инновационности грузового вагона;

$[P_{инн}]$ — показатель технического уровня продукции, выпущенной в последние 3 года, нормативное значение показателя, при повышении которого вагон относится к инновационным (показатель зависит только от весовых коэффициентов и, если их принять, будет постоянной величиной — базой для сравнения);

$P_{нов}$ — значение улучшаемой характеристики нового вагона путем ее увеличения;

$C_{нов}$ — значение улучшаемой характеристики нового вагона путем ее уменьшения;

$P_{стар}, C_{стар}$ — соответственно среднее значение улучшаемой характеристики вагонов-аналогов за последние 3 года путем ее увеличения или снижения;

γ_i, γ_j — весовые коэффициенты улучшаемых характеристик;

N — количество характеристик, улучшающих вагон путем их увеличения;

K — количество показателей, улучшающих вагон путем их уменьшения.

В качестве улучшаемой характеристики могут быть выбраны любые параметры, определяющие производительность, надежность, безопасность, энерго- и материалоемкость.

Весовые коэффициенты предлагается вводить в зависимости от того, когда возникает эффект. Если сразу, то весовой коэффициент равен 1. Если эффект будет наблюдаться через несколько лет, то методика его определения близка к опреде-

лению коэффициента дисконтирования. Эффект, который будет получен в будущем, имеет меньший весовой коэффициент. Он снижается по мере удаления времени получения эффекта от начала эксплуатации вагона.

В общем виде весовой коэффициент определяется по формуле

$$\gamma = \frac{1}{(1 + \Delta)^{t-1}},$$

в которой t — год, в котором будет эффект;

Δ — коэффициент отдаления получения эффекта (аналог коэффициента дисконтирования).

В этом случае весовой коэффициент определяется стандартизированным способом.

Величина коэффициента отдаления получения эффекта может быть принята от 0,05 до 0,15. По нашему мнению, ее можно принять 0,1. Это означает, что значимость получаемого эффекта по мере его удаления от начала эксплуатации снижается на 10 % каждый год (предложено авторами на основе [12–14]).

Верификация методики оценки инновационности нового грузового вагона

В качестве проверки предлагаемой методики оценки инновационности новых вагонов приведены 4 примера расчета показателя инновационности на базе технико-экономических параметров вагонов и данных о системе ремонтов, приведенных в Справочнике моделей грузовых вагонов (СМГР), который ведет Информационный вычислительный центр железнодорожных администраций — структурное подразделение ГВЦ ОАО «РЖД».

Внесение в СМГР означает, что вагон имеет сертификат и вносимые данные подтверждены. СМГР представляет собой EXEL-таблицу, и данные из нее могут быть импортированы в расчет показателя инновационности.

Рассмотрим первую иллюстрацию расчета.

Пример 1. Расчет показателя инновационности полувагона модели 12–9853

в 2007 г.

Для расчета были взяты 6 наиболее важных характеристик полувагонов из СМГР и подсчитаны их средние значения. В таблицу вошли все полувагоны, внесенные в СМГР с годами выпуска 2004–2006 гг. (табл. 2, строка 1).

В табл. 3 приведены показатели полувагона модели 12–9853 на 2007 г. и результаты вычисления весовых коэффициентов и показателя инновационности.

Для пояснения ниже представлен расчет показателя технического уровня и показателей инновационности в виде счета по формулам (1) и (2).

Базовый показатель технического уровня рассматриваемых характеристик полувагонов, внесенных в СМГР в 2004–2006 гг., определяется следующим образом:

$$[P_{инн}] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \gamma_i + \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \gamma_j = \frac{1}{5} (1 + 1 + 0,13 + 0,82 + 0,38) + 1 = 1,665;$$

показатель инновационности — так:

$$P_{инн} = \frac{1}{5} \left[\frac{75}{169,83} \cdot 1 + \frac{88}{82,87} \cdot 1 + \frac{32}{22,38} \cdot 0,13 + \frac{8}{3,12} \cdot 0,82 + \frac{16}{11,16} \cdot 0,38 \right] + \frac{24,12}{25,00} = \frac{1}{5} [1,074 + 1,062 + 0,172 + 1,89 + 0,49] + 0,965 = 1,957$$

Показатель инновационности существенно больше показателя технического уровня полувагонов в 2007 г. Поскольку вагон следует отнести к инновационным.

Отметим, что данный вагон в дальнейшем был действительно признан инновационным. Это подтверждает возможность использования предлагаемых формул для оценки инновационности вагонов.

Пример 2. Расчет показателя инновационности полувагона модели 12–9853–04 в 2017 г.

В 2017 г. в СМГР был внесен полувагон модели 12–9853–04 с характеристиками, близкими к полувагону модели 12–9853. Определение показателя инновационности приведено в табл. 4, средние данные основных характеристик за 2014–2016 гг.

Таблица 3. Расчет показателя инновационности полувагона модели 12–9853 в 2007 г.

№ п. п.	Показатель	Обозначение	Среднее значение за 2004–2006 гг.	Весовой коэффициент	Модель 12–9853
1	Грузоподъемность, т	P_1	69,83	1	75
2	Тара, т	C_1	24,12	1	25
3	Объем кузова, м ³	P_2	82,87	1	88
4	Срок службы, лет	P_3	22,38	0,13	32
5	Срок ДР по пробегу в годах, лет	P_4	3,12	0,82	8
6	Срок КР после постройки, лет	P_5	11,16	0,38	16
7	Показатель технического уровня	$[P_{инн}]$	1,665	–	–
8	Показатель инновационности	$P_{инн}$	–	–	1,957
9	Превышение технического уровня	$P_{инн}/[P_{инн}]$			1,175

Таблица 4. Расчет показателей инновационности полувагона модели 12–9853–04 в 2017 г.

№ п. п.	Показатель	Обозначение	Среднее значение за 2014–2016 гг.	Весовой коэффициент	Модель 12–9853–04
1	Грузоподъемность, т	P_1	74,42	1	75
2	Тара, т	C_1	24,49	1	25
3	Объем кузова, м ³	P_2	90,65	1	92
4	Срок службы, лет	P_3	30,46	0,06	32
5	Срок ДР по пробегу в годах, лет	P_4	6	0,62	8
6	Срок КР после постройки, лет	P_5	15	0,26	16
7	Показатель технического уровня	$[P_{инн}]$	1,59	–	–
8	Показатель инновационности	$P_{инн}$	–	–	1,62

Таблица 5. Расчет показателей инновационности универсальной платформы модели 13–6851 в 2015 г.

№ п. п.	Показатель	Обозначение	Среднее значение за три год	Весовой коэффициент	Модель 13–6851
1	Грузоподъемность, т	P_1	70,43	1	77,5
2	Тара, т	C_1	23,07	1	22,50
3	Площадь пола, м ²	P_2	36,8	1	36,8
4	Срок службы, лет	P_3	32	0,05	40
5	Срок ДР по пробегу в годах, лет	P_4	3	0,83	8
6	Срок КР после постройки, лет	P_5	16	0,24	16
7	Показатель технического уровня	$[P_{инн}]$	1,62	–	–
8	Показатель инновационности	$P_{инн}$	–	–	1,95
9	Превышение технического уровня	$P_{инн}/[P_{инн}]$			1,203

имеются в табл. 2, строка 2.

Показатель инновационности превышает показатель технического уровня всего на 1,9 %. Общий технический уровень полувагонов вырос и теперь вагон вряд ли может считаться инновационным.

Пример 3. Расчет показателя инновационности для универсальной платформы модели 13–6851 в 2015 г.

Исходные данные для расчета взяты из СМГР для универсальных платформ (род модели — 9). Все платформы имеют одинаковую длину, могут перевозить контейнеры. Площадь пола не указана.

Поэтому она принималась равной 36,8 м². Расчет приведен в табл. 5, исходные данные — в табл. 2, строка 3.

Показатель инновационности превышает показатель технического уровня в 1,2 раза. Вагон следовало считать инновационным в 2015 г.

Пример 4. Расчет показателя инновационности для вагона-хoppers для минеральных удобрений модели 19–6722 (учетная спецификация — 23) 2020 г. выпуска.

Расчет приведен в табл. 6, исходные показатели содержатся в табл. 2, стро-

ка 4. В 2017 г. хoppers для минеральных удобрений в СМГР не вносились, поэтому расчетным принят 2016 г.

Показатель инновационности превышает показатель технического уровня в 1,05 раза. На наш взгляд, это минимальное значение для признания вагона инновационным.

Проведение верификации предложенной методики на четырех примерах показало ее применимость в реальных условиях. Расчет показателей инновационности для любого нового вагона можно автоматизировать, используя электронные таблицы СМГР. Это позволит участни-

Таблица 6. Расчет показателя инновационности вагона-хоппера модели 19–6722 в 2020 г.

№ п. п.	Показатель	Обозначение	Среднее значение за три года	Весовой коэффициент	Модель 19–6722
1	Грузоподъемность, т	Π_1	74,08	1	76,70
2	Тара, т	C_1	23,52	1	23,30
3	Объем кузова, м ³	Π_2	108,2	1	107
4	Срок службы, лет	Π_3	28,4	0,07	26
5	Срок ДР по пробегу в годах, лет	Π_4	4	0,75	6
6	Срок КР после постройки, лет	Π_5	12,7	0,38	10
7	Показатель технического уровня	$[\Pi_{инн}]$	1,63	–	–
8	Показатель инновационности	$\Pi_{инн}$	–	–	1,705
9	Превышение технического уровня	$\Pi_{инн}/[\Pi_{инн}]$			1,05

кам транспортно-логистического рынка не только проводить экспресс-оценку инновационности грузового вагона, но и оперативно принимать эффективные бизнес-решения.

Заключение

Выполненные расчеты показывают практическую применимость предлагаемого подхода к оценке инновационности грузовых вагонов. Он не противоречит Приказу Министерства транспорта России от 25 августа 2015 г. № 261 «Об утверждении критериев отнесения товаров, работ, услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции для целей формирования плана закупки такой продукции».

Предлагается проводить оценку инновационности вагонов с помощью показателя инновационности по формулам (1), (2) путем сравнения с техническим уровнем вагонов, поставленных на производство в течение трех предыдущих лет. Вагон признается инновационным, если он превышает достигнутый технический уровень вагонов не менее чем на 5 %.

В качестве сравниваемых характеристик предлагается принять:

1. Технические характеристики:
 - 1.1. Грузоподъемность, т;
 - 1.2. Тара вагона, т;
 - 1.3. Объем кузова (площадь для платформ), м³ (м²);
 - 1.4. Конструкционная скорость, км/ч.
2. Эксплуатационные характеристики:
 - 2.1. Вагонное плечо, тыс. км;
 - 2.2. Срок деповского ремонта, год;
 - 2.3. Срок капитального ремонта, год;
 - 2.4. Назначенный срок службы, лет.
3. Энергетические и экологические характеристики:
 - 3.1. Показатель энергоэффективности перевозки, Мдж/10 тыс. т км нетто;
 - 3.2. Коэффициент теплопередачи кузова (для изотермических и рефрижераторных вагонов), Вт/м² К;

3.3. Индекс энергоэффективности (для рефрижераторных вагонов), %.

Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. – Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. – М.: Росавтодор, 2021. – 285 с.
2. Савчук, В. Б., Обзор рынка грузовых вагонов / В. Б. Савчук // Материалы XI ежегодной конференции «Рынок подвижного состава и операторских услуг». – М. 2021.
3. Решение по делу № 1–15–112/00–03–14 о нарушении антимонопольного законодательства. – М.: ФАС, 2015.
4. Гапанович, В. А. Инновационная деятельность Российских железных дорог / В. А. Гапанович // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2014. – № 5. – С. 4–16.
5. Соколов, А. М. Научные основы создания и оценки эффективности внедрения инновационных вагонов / А. М. Соколов // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 2. – С. 1–13.
6. Филиппов, В. Н. Параметры инновационных вагонов и некоторые проблемы их реализации / В. Н. Филиппов, А. В. Смольянинов, И. В. Козлов, Я. Д. Подлесников // Транспорт Урала. – 2017. – № 1 (52). – С. 25–31.
7. Михеев, В. А. Влияние инновационных вагонов на производительность подвижного состава в грузовом движении / В. А. Михеев // Вестн. Иркутск. гос. техн. ун-та. – 2018. – Т. 22. – № 7. – С. 223–233. – <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-7-223-233>.
8. Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» («Белая книга») до 2025 года и на перспективу до 2030 г. – М.: ОАО «РЖД», 2015. – 69 с.

9. Постановление Правительства Российской Федерации от 19.11.2014 г. № 1223 Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета на возмещение потерь в доходах российских лизинговых организаций при предоставлении скидки при условии приобретения инновационных вагонов с повышенной осевой нагрузкой, а также на возмещение части затрат российским организациям на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях на приобретение инновационных вагонов с повышенной осевой нагрузкой, в рамках подпрограммы «Транспортное машиностроение» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».
10. Приказ Министерства транспорта России от 23.10.2017 г. № 457 Об утверждении методики оценки экономической эффективности эксплуатации грузовых инновационных вагонов на железнодорожной инфраструктуре российских железных дорог.
11. СОЖТ предложил критерии инновационности грузовых вагонов. – URL: http://railsovet.ru/news/partnership_news/ (дата обращения: 14 мая 2022 г.).
12. Отраслевой стандарт СТО РЖД 10.002–2015 Вагоны грузовые инновационные. Правила оценки экономической эффективности, утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 26 апреля 2016 г. № 768р.
13. Бороненко, Ю. П. Инновационный грузовой подвижной состав железных дорог и его высокотехнологичное производство / Ю. П. Бороненко // Наука и транспорт. – 2012. – № 3. – С. 18–20.
14. Титова, Т. С. Экономическая эффективность увеличения грузоподъемности вагонов / Т. С. Титова, Ю. П. Бороненко // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 5. – С. 55–61.

Исследования по совершенствованию метода измерения силового воздействия подвижного состава на путь для мониторинга технического состояния колес



Р. В. Рахимов,
д-р техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Ташкентского государственного транспортного университета (ТГТРУ)



А. В. Третьяков,
д-р техн. наук, профессор
кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)



Я. О. Рузметов,
канд. техн. наук, доцент,
декан факультета электротехники и вычислительной техники ТГТРУ



О. Б. Нигматов,
докторант
ТГТРУ



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

Рассматриваются динамические силы взаимодействия между колесом и рельсом при следовании подвижного состава по железнодорожному пути. Определены пути совершенствования метода измерения силового воздействия подвижного состава на путь для выявления дефектов на поверхности катания колес.

В процессе движения подвижного состава по железнодорожному пути возникают динамические силы взаимодействия между колесом и рельсом [1, 2]. Их измерение позволяет не только оценить воздействие подвижного состава на путь, но и диагностировать состояние колес этого состава в движении [3].

В настоящее время, согласно действующему нормативному документу ГОСТ 34759–2021 [4] измерения вертикальных сил в контакте между колесом и рельсом осуществляются по методу Шлюмпфа и методу матриц влияния, которые являются точечными, и измерения осуществляются только при нахождении колеса над тензорезисторами [5].

В соответствии с методом Шлюмпфа для восстановления вертикальных сил два тензорезистора размещаются симметрично с двух сторон рельса на нейтральную линию вертикального изгиба рельса на расстоянии 81 ± 1 мм от подошвы (рельс Р65). При этом тензорезисторы вместе с двумя компенсационными тензорезисторами соединяются в один измерительный мост.

По методу матриц влияния для измерения сил четыре тензорезистора устанавливаются в вертикальном направлении с двух сторон рельса. Два из них наклеиваются на расстоянии 54 ± 1 мм от подошвы рельса, два других — на расстоянии 110 ± 1 мм. Для восстановления сил по методу матриц влияния используются показате-

ния каждого из тензорезисторов. Следовательно, каждый тензорезистор с тремя компенсационными тензорезисторами соединяются в четыре измерительных моста.

Выполненные в работе [6] исследования по применению точечных методов для мониторинга технического состояния колес подвижного состава в движении с установкой измерительных сечений с шагом 136 мм на длине измерительного участка пути 25 м (по методу Шлюмпфа количество используемых тензорезисторов 360 шт., а по методу матриц влияния — 720 шт.) позволили определить, что после прохождения колесной парой измерительного участка не удается полностью обследовать всю поверхность колеса. При этом «слепые» зоны на поверхности колеса составляют до 90 % в зависимости от его диаметра.

Таким образом установлено, что точечные методы, предусмотренные в ГОСТ 34759–2021, неэффективны для мониторинга технического состояния колес подвижного состава при движении поезда.

В работах [5, 7] теоретически обоснована и экспериментально проверена технология кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил в контакте колесо–рельс по измерению напряжений в двух сечениях рельса (метод двух сечений), которая дает возможность на длине измерительной зоны примерно 200 мм проводить непрерывное измерение вертикального воздействия подвижного состава на железнодорожный путь.

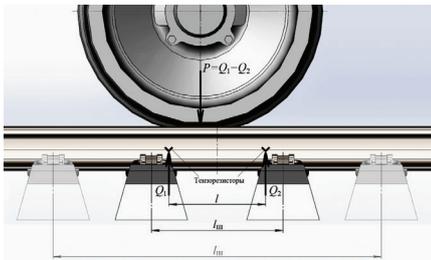


Рис. 1. Расчетная схема рельса при взаимодействии с колесом: P – вертикальная сила от колеса на рельс; Q_1, Q_2 – поперечные силы; l – расстояние между измерительными сечениями с установленными тензорезисторами; $l_{ш}$ – расстояние между центрами шпал

В работе [6] для мониторинга технического состояния подвижного состава на ходу поезда предложена схема измерительного железнодорожного пути длиной 12,5 м (количество используемых тензорезисторов 84 шт.), реализуемая с использованием метода двух сечений, что позволило выявлять дефекты не менее 98 % окружности колеса независимо от его диаметра.

Следовательно, для осуществления технического контроля всей поверхности катания колеса этого расстояния (примерно 200 мм) недостаточно. В этом случае подвижному составу могут потребоваться несколько повторных проходов по измерительному участку, а значит, увеличатся расходы и время проведения измерений.

Сейчас с внедрением на железных дорогах грузовых вагонов с увеличенными осевыми нагрузками важное значение имеют недопущение их в эксплуатацию и своевременное выявление подвижного состава с дефектными колесами. Таким образом, совершенствование метода измерения силового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь, применяемого на измерительных участках пути для мониторинга технического состояния колес и дающего возможность выявлять дефекты полностью на 100 % всей окружности колеса, является актуальным.

Цель настоящих исследований – совершенствование метода измерения силового воздействия подвижного состава на путь, в данном случае кусочно-непрерывного метода измерения вертикальных сил в контакте колесо–рельс по измерению напряжений в двух сечениях рельса для мониторинга технического состояния колес, позволяющего увеличить длину измерительной зоны, сократить количество тензорезисторов и измерительных каналов, а также уменьшить длину измерительного железнодорожного пути.

На первом этапе исследований была разработана расчетная модель железно-

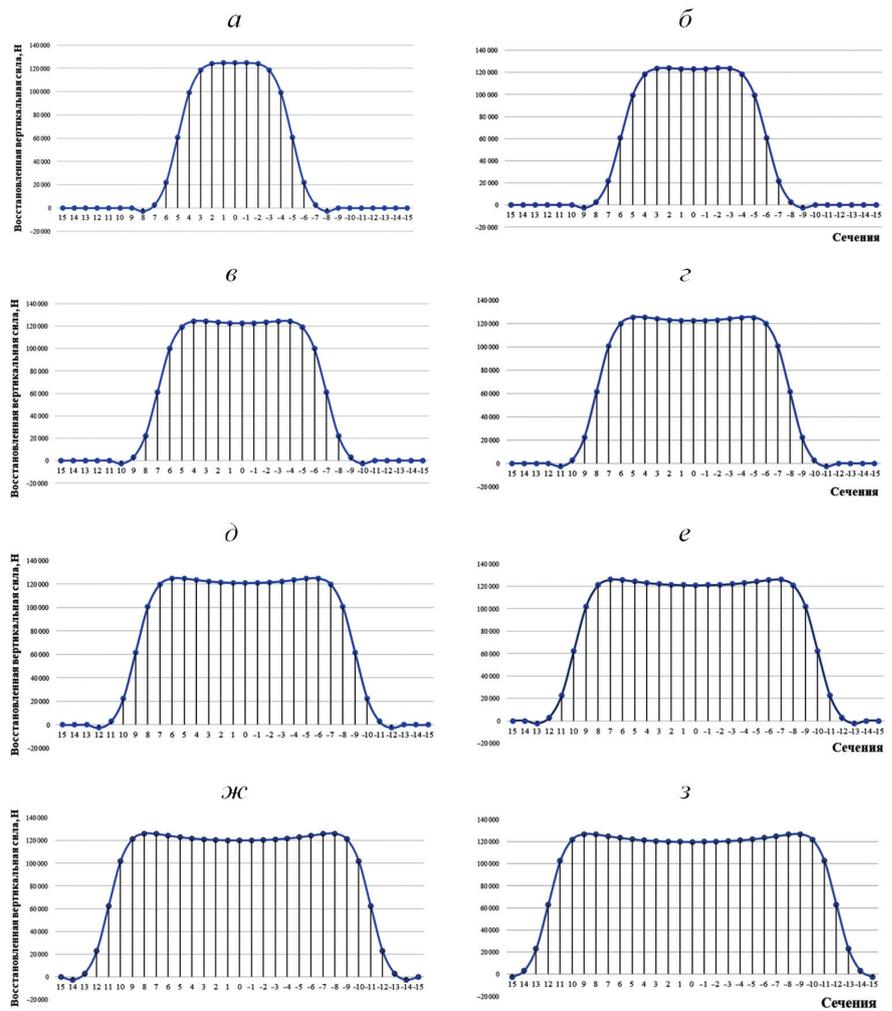


Рис. 2. Значения восстановленных вертикальных сил по методу двух сечений: при расстоянии между шпалами: а – 544 мм, б – 612 мм, в – 680 мм, г – 748 мм, д – 816 мм, е – 884 мм, ж – 952 мм, з – 1020 мм

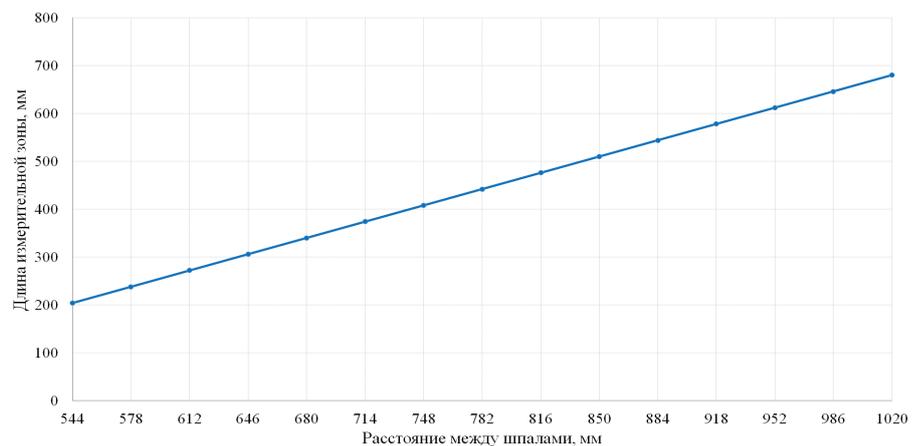


Рис. 3. Зависимость длины измерительной зоны от расстояния между шпалами

рожного пути длиной 4600 мм, представляющая собой рельс типа Р65, уложенный на шпалы. Эта модель позволяет учитывать особенности принятых конструктивных решений верхнего строения железнодорожного пути (рис. 1): увеличение расстояния между центрами шпал от 544 до 1020 мм, изменение модуля упругости рельсового основания, расположение из-

мерительных сечений с установленными тензорезисторами.

При этом характеристика конструкции верхнего строения пути при расчетах была выбрана с учетом анализа главных и станционных путей железных дорог: рельс Р65, уложенный на железобетонные шпалы на щебеночном балласте. Толщина балластного слоя под шпалой принима-

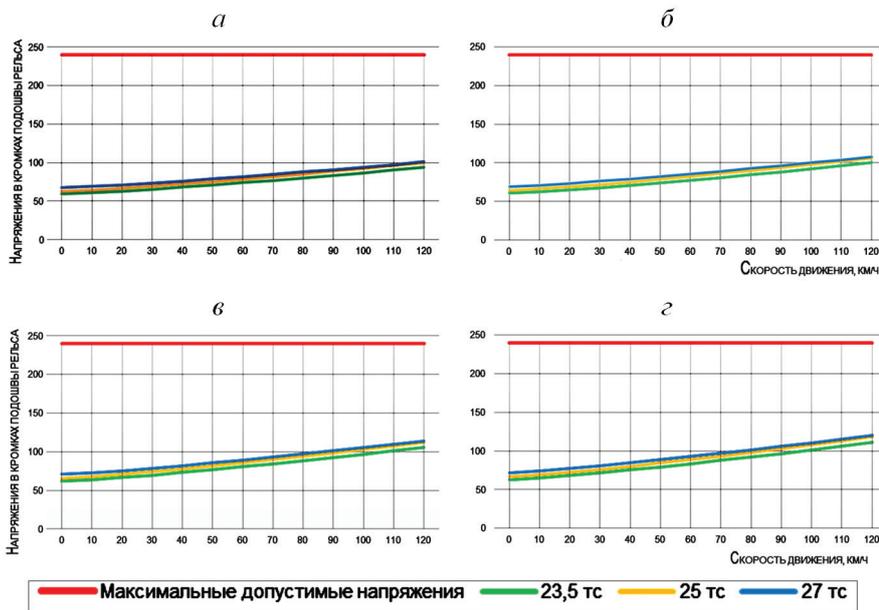


Рис. 4. Зависимость максимальных напряжений, возникающих в кромках подошвы рельса, от скорости движения подвижного состава: при расстоянии между шпалами: а – 612 мм, б – 748 мм, в – 884 мм, г – 1020 мм

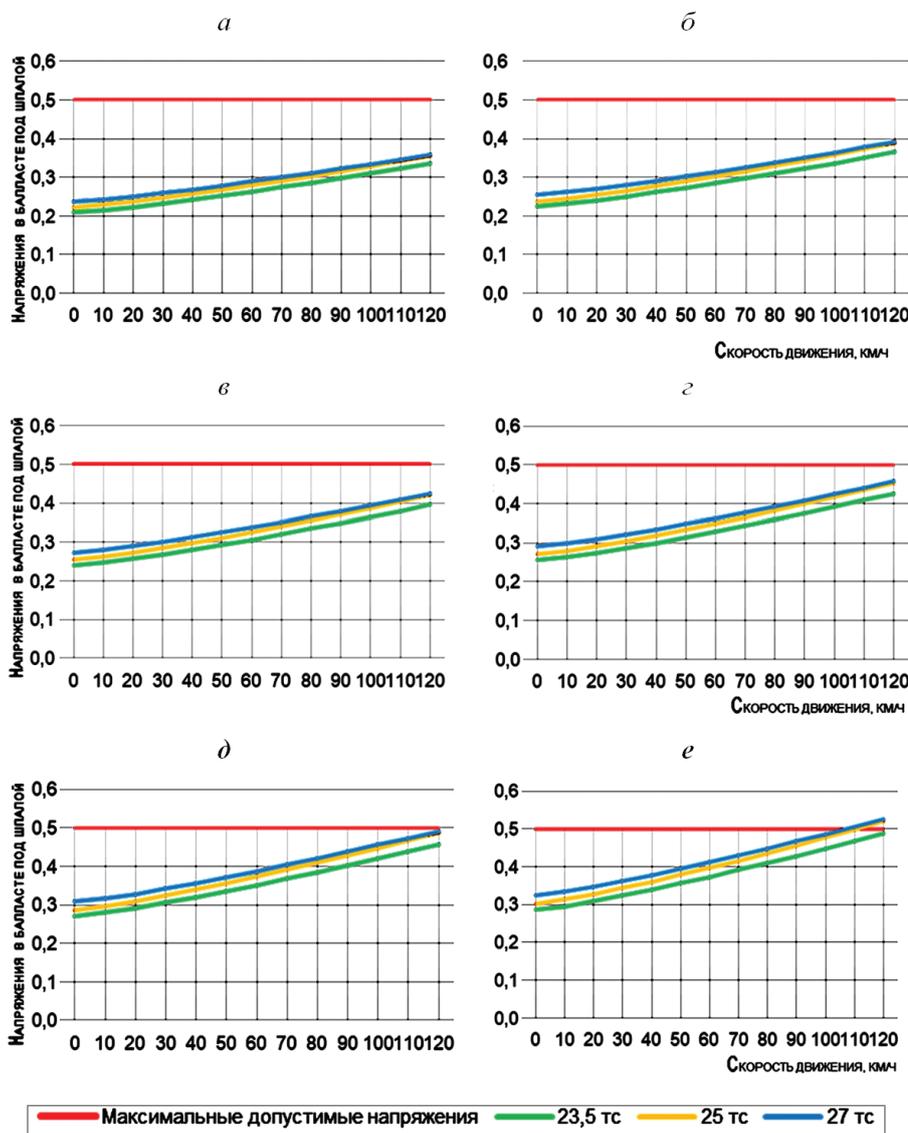


Рис. 5. Зависимость максимальных напряжений, возникающих в балласте под шпалой, от скорости движения подвижного состава: при расстоянии между шпалами: а – 680 мм, б – 748 мм, в – 816 мм, г – 884 мм, д – 952 мм, е – 1020 мм

лась 55 см с учетом балластной подушки из песка толщиной 20 см.

Расчетная модель рельса была смоделирована с помощью программы SolidWorks 2021, а расчет по методу конечных элементов выполнен в программном комплексе Ansys Workbench версии 2021.

В результате многовариантных расчетов были определены значения восстановленных вертикальных сил по методу двух сечений (рис. 2). Было установлено, что одним из наилучших вариантов увеличения длины измерительной зоны при использовании этого метода является увеличение расстояния между шпалами. При этом найдено, что зависимость длины измерительной зоны от расстояния между шпалами носит линейный характер (рис. 3).

Таким образом, в результате выполненных теоретических исследований с применением расчетной конечно-элементной модели рельса со шпалами, позволяющей изменять расстояние между шпалами, модуль упругости рельсового основания и расположения измерительных сечений с установленными тензорезисторами, определено, что увеличения длины измерительной зоны на рельсе при использовании метода двух сечений можно достичь увеличением расстояния между шпалами. Однако при этом возрастает воздействие подвижного состава на элементы верхнего строения пути: на рельс, шпалу, балласт под шпалой и на основную площадку земляного полотна.

На следующем этапе исследований были выполнены расчеты по определению нагруженности элементов конструкции верхнего строения железнодорожного пути. При этом для полноты исследования они производились, учитывая различные нагрузки на ось подвижного состава.

Выполненные многовариантные расчеты согласно требованиям «Методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности» [8], при различных расстояниях между шпалами позволили определить нагруженность элементов конструкции верхнего строения пути, результаты которых представлены на рис. 4–6.

Основываясь на значениях максимальных напряжений, возникающих в элементах верхнего строения пути, были определены предельные допустимые скорости движения подвижного состава на измерительном участке железнодорожного пути (таблица).

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Рекомендуемые допускаемые скорости движения подвижного состава (км/ч) при различных расстояниях между шпалами

Расстояние между шпалами, мм	Нагрузка на ось		
	23,5 тс	25 тс	27 тс
544	105	90	85
612	100	85	80
680	90	75	70
748	80	70	60
816	75	60	50
884	65	50	40
952	55	40	30
1020	45	30	20

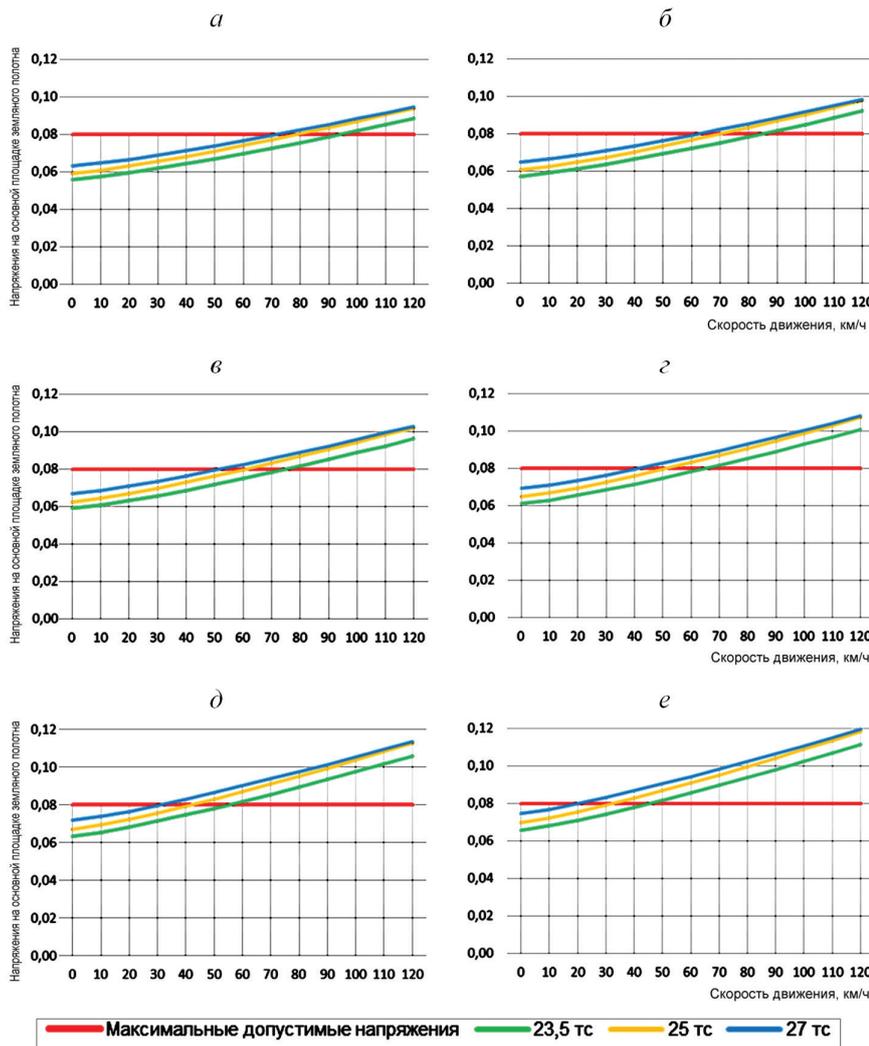


Рис. 6. Зависимость максимальных напряжений, возникающих на основной площадке земляного полотна, от скорости движения подвижного состава: при расстоянии между шпалами: а – 680 мм, б – 748 мм, в – 816 мм, г – 884 мм, д – 952 мм, е – 1020 мм

1. В результате выполненных теоретических исследований с использованием расчетной конечно-элементной модели рельса со шпалами, позволяющей увеличить расстояния между шпалами и измерительными сечениями с установленными тензорезисторами, обоснована возможность увеличения длины измерительной зоны на рельсе. Однако при

этом возрастает воздействие подвижного состава на элементы верхнего строения железнодорожного пути.

2. Выполненные теоретические исследования нагруженности элементов конструкции верхнего строения пути дают возможность обоснованно выбрать длину измерительной зоны и параметры межшпального промежутка

при разработке измерительного участка железнодорожного пути для мониторинга технического состояния подвижного состава в движении. При этом скорость движения подвижного состава на измерительном участке железнодорожного пути не должна превышать рекомендуемые допускаемые скорости, определенные при различных расстояниях между шпалами с учетом осевой нагрузки эксплуатируемого подвижного состава.

3. На основе результатов теоретических исследований определены пути совершенствования кусочно-непрерывного метода измерения вертикальных сил в контакте колесо-рельс по измерению напряжений в двух сечениях рельса для выявления дефектов на поверхности катания колес, что позволит увеличить длину измерительной зоны, сократить количество тензорезисторов и измерительных каналов, а также уменьшить длину измерительного железнодорожного пути.

Литература

1. Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
2. Коган, А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А. Я. Коган. – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.
3. Бороненко, Ю. П. Анализ методов измерений силового воздействия подвижного состава на путь и систем технического контроля колес при движении поезда / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, Р. Ю. Григорьев, В. В. Попов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17. – Вып. 3. – С. 324–344. – <http://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-3-324-344>
4. ГОСТ 34759–2021. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. – М.: Росинт-стандартизации, 2021. – 33 с.
5. Бороненко, Ю. П. Кусочно-непрерывное измерение сил между колесом и рельсом по касательным напряжениям в двух сечениях рельса / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, А. А. Петров // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 3 (76). – С. 58–64.
6. Бороненко, Ю. П. Выбор схемы установки датчиков на железнодорожном пути для выявления дефектов колес / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, Ю. Б. Житков, Г. А. Поволоцкая // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 3 (82). – С. 55–59.
7. Рахимов, Р. В. Проверка точности восстановления вертикальных нагрузок от колеса на рельс по напряжениям в двух сечениях рельса на стенде / Р. В. Рахимов, А. А. Петров // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 4 (77). – С. 55–58.
8. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности. – Утв. МПС РФ № ЦПТ-52/14 от 16 июня 2000 г. – М.: МПС РФ, 2000. – 40 с.

Применение дискретной модели пути в задачах динамики рельсовых экипажей



А. Н. Савоськин,
д-р техн. наук, профессор
кафедры «Электропоезда
и локомотивы»
ФГАОУ ВО «Российский
университет транспор-
та» (РУТ (МИИТ))



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



Г. П. Бурчак,
канд. техн. наук,
профессор кафедры
«Теоретическая
механика»,
РУТ МИИТ

Обычно в задачах динамики рельсовых экипажей применяют одну из трех моделей пути: абсолютно жесткий путь, непрерывную или комбинированную. Проводится анализ использования каждой из них. Выявляются преимущества и недостатки рассматриваемых моделей.

Модель «абсолютно жесткий путь» применяют в задачах выбора параметров рессорного подвешивания [1, 2], поскольку частотный диапазон исследуемых процессов колебаний кузова, тележек и колесных пар (при их извилистом движении) лежит в пределах от 0,1 до 10 Гц.

Модель непрерывного пути, в которой рельс изучается как балка с распределенными параметрами, лежащая на сплошном упругом основании, используют для анализа высокочастотных процессов [3–5].

Более совершенной является комбинированная модель, в которой путь рассматривается как периодическая структура, состоящая из рельсов как элементов с распределенными параметрами, дискретно через упругодиссипативные связи соединенных со шпалами как элементами с сосредоточенными параметрами [6–9]. Эта модель уточняет высокочастотные составляющие отклика пути до диапазона в несколько килогерц.

Вторую и третью модели целесообразно применять в задачах по прогнозированию динамических свойств пути.

Вместе с тем в задачах динамики грузовых вагонов, а также локомотивов при исследовании крутильных колебаний в тяговых передачах возникает необходимость моделирования процессов в частотном диапазоне от 10 до 100 Гц. Это может быть выполнено с помощью непрерывной или комбинированной модели пути, однако, ведет к существенному усложнению модели. В связи с этим целесообразно разработать более простую модель пути, позволяющую уточнить динамические свойства системы «экипаж — путь» в данном диапазоне частот.

В качестве таковой предлагается использовать дискретную модель пути, в соответствии с которой путь можно предста-

вить в виде сосредоточенной массы m_n , перемещающейся вертикально вместе с колеблющейся колесной парой и опирающейся на основание через пружину жп с параллельно включенным гидравлическим гасителем β_n (рис. 1).

Кроме того, на поверхности пути имеется геометрическая неровность η ($x = vt$) [10–16]. Отметим также, что параметры этой модели m_n , β_n и $ж_n$ определяются на основе эксперимента и составляют (для летних условий): $m_n = 300–800$ кг, $ж_n = 35–85$ МН/м, $\beta_n = 0,2–0,8$ МН · с/м. Для зимних условий их необходимо увеличить в 1,5 раза. Приведенные величины соответствуют стыковому пути с рельсами Р55 и деревянными шпалами. Для бесстыкового пути и пути с железобетонными шпалами данные параметры следует определить заново.

Будем рассматривать линейчатую одноосную модель, соответствующую четырехосному экипажу. Согласно расчетной схеме (рис. 1) колесная пара массой m_1 безотрывно катится по неровности рельсового пути η ($x = vt$), вместе с массой пути m_n совершая вертикальные колебания, перемещаясь на величину z_1 . В отличие от этого масса пути перемещается на колебания

$$z_n = z_1 - \eta(x = vt). \quad (1)$$

Масса m_2 соответствует половине массы тележки, приходящейся на одну колесную пару, и совершает колебания z_2 , масса m_3 — одной четверти массы кузова, которая также приходится на одну колесную пару, и совершает колебания z_3 . Число степеней свободы такой системы равно трем: $k = 3$. Обобщенными координатами системы являются: $q_1 = z_1$ — подпрыгивание колесной пары вместе с эквивалентной массой пути, $q_2 = z_2$ — подпрыгивание тележки и $q_3 = z_3$ — подпрыгивание кузова.

Кинетическая энергия рассматриваемой системы определяется четырьмя слагаемыми:

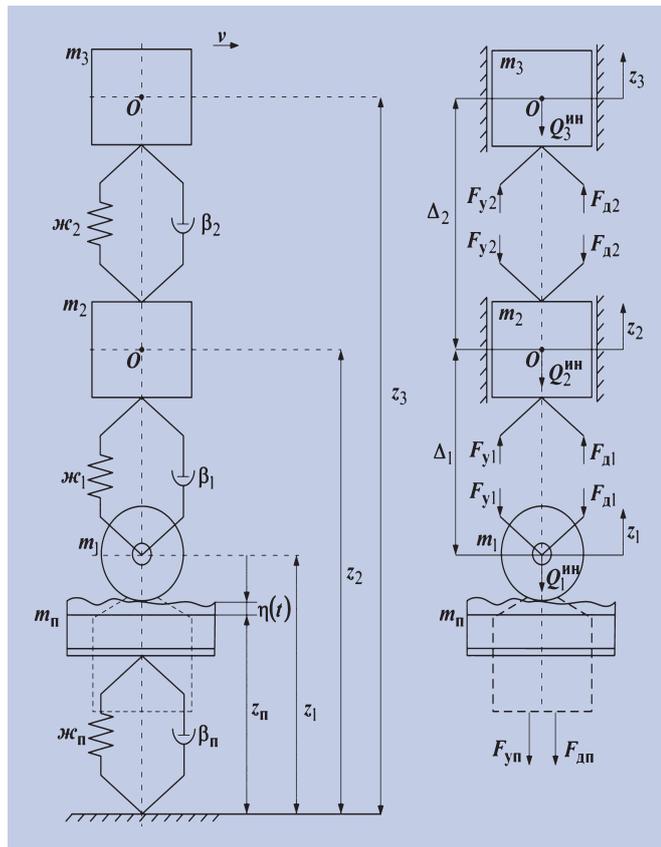


Рис. 1. Модель (а) и схема сил (б) для исследования колебаний подпрыгивания колесной пары, тележки и кузова экипажа при движении по дискретному пути

$$T = \sum_{i=1}^3 \frac{m_i \dot{q}_i^2}{2} = \frac{m_n \dot{z}_n^2}{2} + \frac{m_1 \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_2 \dot{z}_2^2}{2} + \frac{m_3 \dot{z}_3^2}{2}. \quad (2)$$

в первом слагаемом выражения (2) z_n в соответствие с (1), получим

$$T = \frac{m_n (\dot{z}_1 - \dot{\eta})^2}{2} + \frac{m_1 \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_2 \dot{z}_2^2}{2} + \frac{m_3 \dot{z}_3^2}{2}.$$

Тогда для обобщенных сил инерции находим:

для колесной пары $Q_1^{ин} = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_1} \right) = -m_1 \dot{z}_1 - m_n (\ddot{z}_1 - \ddot{\eta}_1); \quad (3)$

для тележки $Q_2^{ин} = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_2} \right) = -m_2 \dot{z}_2; \quad (4)$

для кузова $Q_3^{ин} = -\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}_3} \right) = -m_3 \dot{z}_3. \quad (5)$

Для определения обобщенной силы, соответствующей первой обобщенной координате, закрепляем массу m_2 , т. е. считаем, что $z_3 = z_2 = \text{const}$ и $\dot{z}_2^* = 0$. Выделяем массу $m_1 + m_n$ и задаем возможную скорость $\dot{z}_1^* > 0$. Тогда возможная мощность всех активных сил, действующих на эту массу, будет равна

$${}_1N_a^* = -\mathcal{K}_1 \Delta_1 \dot{z}_1^* - \beta_1 \dot{\Delta}_1 \dot{z}_1^* + \mathcal{K}_n z_n \dot{z}_1^* + \beta_n \dot{z}_n \dot{z}_1^*, \quad (6)$$

где Δ_1 и $\dot{\Delta}_1$ – деформация и скорость деформации буксового рессорного комплекта: $\Delta_1 = z_1 - z_2$, $\dot{\Delta}_1 = \dot{z}_1 - \dot{z}_2$.

Подставим выражения для z_n , Δ_1 и $\dot{\Delta}_1$ в (6). Тогда

$${}_1N_a^* = -\mathcal{K}_1 (z_1 - z_2) \dot{z}_1^* - \beta_1 (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) \dot{z}_1^* + \mathcal{K}_n (z_1 - \eta) \dot{z}_1^* + \beta_n (\dot{z}_1 - \dot{\eta}) \dot{z}_1^*,$$

и первая обобщенная сила будет равна

$$Q_1^a = {}_1N_a^* / z_1^* = -(\mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_n) z_1 - (\beta_1 + \beta_n) \dot{z}_1 + \mathcal{K}_n z_2 + \beta_1 \dot{z}_2 - \mathcal{K}_n \eta - \beta_n \dot{\eta}. \quad (7)$$

Аналогичным образом, фиксируя z_1 и задавая $\dot{z}_2^* > 0$, а также фиксируя z_1, z_2 и задавая $\dot{z}_3^* > 0$, можно найти вторую и третью обобщенные активные силы:

$$Q_2^a = {}_2N_a^* / z_2^* = -\mathcal{K}_1 (z_2 - z_1) - \beta_1 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1), \quad (8)$$

$$Q_3^a = {}_3N_a^* / z_3^* = -\mathcal{K}_2 (z_3 - z_2) - \beta_2 (\dot{z}_3 - \dot{z}_2). \quad (9)$$

Используя выражения (3)–(9), составим систему дифференциальных уравнений малых колебаний рассматриваемой модели

$$\begin{aligned} (m_1 + m_n) \ddot{z}_1 + (\beta_1 + \beta_n) \dot{z}_1 + (\mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_n) z_1 - \beta_1 \dot{z}_2 - \mathcal{K}_1 z_2 &= m_n \ddot{\eta} + \beta_n \dot{\eta} + \mathcal{K}_n \eta, \\ -\beta_1 \dot{z}_1 - \mathcal{K}_1 z_1 + m_2 \ddot{z}_2 + (\beta_1 + \beta_2) \dot{z}_2 + (\mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_2) z_2 - \beta_2 \dot{z}_3 - \mathcal{K}_2 z_3 &= 0, \\ -\beta_2 \dot{z}_2 - \mathcal{K}_2 z_2 + m_3 \ddot{z}_3 + \beta_2 \dot{z}_3 + \mathcal{K}_2 z_3 &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Определим частотные характеристики, связывающие колебания масс m_2 и m_1 с неровностью $\eta(j\omega)$, записав уравнения (10) в частотной области:

$$\begin{aligned} z_1(j\omega) &= W_{1-\eta}^*(j\omega) \eta(j\omega) + W_{1-2}(j\omega) z_2(j\omega), \\ z_2(j\omega) &= W_{2-1}^*(j\omega) z_1(j\omega) + W_{2-3}(j\omega) z_3(j\omega), \\ z_3(j\omega) &= W_{3-2}^*(j\omega) z_2(j\omega). \end{aligned} \quad (11)$$

Найдем отсюда парциальные частотные характеристики $W_{1-\eta}^*(j\omega)$, $W_{1-2}(j\omega)$, $W_{2-1}^*(j\omega)$, $W_{2-3}(j\omega)$ и $W_{3-2}^*(j\omega)$:

$$W_{1-\eta}^*(j\omega) = \frac{\mathcal{K}_n - m_n \omega^2 + j\omega \beta_n}{\mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_n - (m_1 + m_n) \omega^2 + j\omega (\beta_1 + \beta_n)},$$

$$W_{1-2}(j\omega) = \frac{\mathcal{K}_1 + j\omega \beta_1}{\mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_n - (m_1 + m_n) \omega^2 + j\omega (\beta_1 + \beta_n)},$$

$$W_{2-1}^*(j\omega) = \frac{\mathcal{K}_1 + j\omega \beta_1}{\mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_2 - m_2 \omega^2 + j\omega (\beta_1 + \beta_2)},$$

$$W_{2-3}(j\omega) = \frac{\mathcal{K}_2 + j\omega \beta_2}{\mathcal{K}_1 + \mathcal{K}_2 - m_2 \omega^2 + j\omega (\beta_1 + \beta_2)},$$

$$W_{3-2}^*(j\omega) = \frac{\mathcal{K}_2 + j\omega \beta_2}{\mathcal{K}_2 - m_3 \omega^2 + j\omega \beta_2}.$$

Для получения окончательного вида частотных характеристик решим эту систему уравнений относительно обобщенных координат. Подставим третье уравнение из (11) во второе, тогда

$$z_2(j\omega) = W_{2-1}^*(j\omega) z_1(j\omega) + W_{2-3}(j\omega) W_{3-2}^*(j\omega) z_2(j\omega),$$

$$[1 - W_{2-3}(j\omega) W_{3-2}^*(j\omega)] z_2(j\omega) = W_{2-1}^*(j\omega) z_1(j\omega),$$

$$z_2(j\omega) = \frac{W_{2-1}^*(j\omega)}{1 - W_{2-3}(j\omega) W_{3-2}^*(j\omega)} z_1(j\omega).$$

Подставим $z_2(j\omega)$ из этого выражения в первое уравнение системы (11):

$$z_1(j\omega) = W_{1-\eta}^*(j\omega) \eta(j\omega) + \frac{W_{1-2}(j\omega) W_{2-1}^*(j\omega)}{1 - W_{2-3}(j\omega) W_{3-2}^*(j\omega)} z_1(j\omega),$$

$$\left[1 - \frac{W_{1-2}(j\omega) W_{2-1}^*(j\omega)}{1 - W_{2-3}(j\omega) W_{3-2}^*(j\omega)} \right] z_1(j\omega) = W_{1-\eta}^*(j\omega) \eta(j\omega),$$

$$z_1(j\omega) = \frac{W_{1-\eta}^*(j\omega)\eta(j\omega)}{1 - \frac{W_{1-2}^*(j\omega)W_{2-1}^*(j\omega)}{1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega)}}$$

Тогда окончательно имеем

$$z_1(j\omega) = \frac{[1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega)]W_{1-\eta}^*(j\omega)\eta(j\omega)}{1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega) - W_{1-2}^*(j\omega)W_{2-1}^*(j\omega)} \quad (12)$$

Подставив выражение (12) для $z_1(j\omega)$ в ранее определенное для $z_2(j\omega)$, окончательно получим

$$z_2(j\omega) = \frac{W_{2-1}^*(j\omega)W_{1-\eta}^*(j\omega)\eta(j\omega)}{1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega) - W_{1-2}^*(j\omega)W_{2-1}^*(j\omega)} \quad (13)$$

Подставим (13) для $z_2(j\omega)$ в третью формулу системы (11) для $z_3(j\omega)$, находим, что

$$z_3(j\omega) = \frac{W_{2-1}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega)W_{1-\eta}^*(j\omega)\eta(j\omega)}{1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega) - W_{1-2}^*(j\omega)W_{2-1}^*(j\omega)} \quad (14)$$

Тогда частотные характеристики, связывающие колебания подпрыгивания колесной пары, тележки и кузова с возмущением $\eta(j\omega)$, определяются следующим образом:

$$W_{1-\eta}(j\omega) = \frac{[1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega)]W_{1-\eta}^*(j\omega)}{1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega) - W_{1-2}^*(j\omega)W_{2-1}^*(j\omega)} \quad (15)$$

$$W_{2-\eta}(j\omega) = \frac{W_{2-1}^*(j\omega)W_{1-\eta}^*(j\omega)}{1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega) - W_{1-2}^*(j\omega)W_{2-1}^*(j\omega)} \quad (16)$$

$$W_{3-\eta}(j\omega) = \frac{W_{2-1}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega)W_{1-\eta}^*(j\omega)}{1 - W_{2-3}^*(j\omega)W_{3-2}^*(j\omega) - W_{1-2}^*(j\omega)W_{2-1}^*(j\omega)} \quad (17)$$

Таким образом, получены формулы, связывающие возмущение $\eta(j\omega)$ с колебаниями $z_1(j\omega)$, $z_2(j\omega)$ и $z_3(j\omega)$ через исходные частотные характеристики системы (см. (12)–(14)). Графики амплитудных (АЧХ) и фазовых (ФЧХ) частотных характеристик колебаний колесной пары $A_{1-\eta}(f)$, $\Phi_{1-\eta}(f)$, тележки $A_{2-\eta}(f)$, $\Phi_{2-\eta}(f)$ и кузова $A_{3-\eta}(f)$, $\Phi_{3-\eta}(f)$ (рис. 2) были построены по выражениям (15)–(17) при следующих значениях параметров системы, соответствующих электровозу ВЛ10:

- масса $m_3 = 13,65$ т включает четверть массы кузова;
- масса $m_2 = 5,6$ т включает половину подрессоренной массы тележки с половиной массы тягового двигателя и четверть массы кузова;
- масса $m_1 = 5,75$ т состоит из массы колесной пары с половиной массы тягового двигателя;
- статический прогиб кузовной ступени рессорного подвешивания $f_2 = 0,077$ м;
- статический прогиб буксовой ступени рессорного подвешивания $f_1 = 0,121$ м;
- жесткость кузовной ступени на четверть массы кузова

$$j_2 = m_3 g / f_2 = 1739 \text{ кН/м};$$

- жесткость буксовой ступени на одну колесную пару

$$j_1 = (m_2 + m_3) g / f_1 = 1567 \text{ кН/м};$$

- коэффициент демпфирования в кузовной ступени при $n_2 = 0,2$

$$\beta_2 = 2 \cdot 0,2 \sqrt{m_3 j_2} = 61,63 \text{ кН} \cdot \text{с/м};$$

- коэффициент демпфирования в буксовой ступени при $n_1 = 0,3$

$$\beta_1 = 2 \cdot 0,3 \sqrt{m_2 (j_1 + j_2)} - 2 \cdot 0,2 \sqrt{m_3 j_2} = 20,01 \text{ кН} \cdot \text{с/м};$$

- масса пути в расчете на одну колесную пару $m_n = 0,3$ т;
- жесткость пути в расчете на одну колесную пару $j_{пн} = 85\,000$ кН/м;
- диссипация в пути в расчете на одну колесную пару $\beta_n = 500$ кН · с/м.

В АЧХ $A_{1-\eta}(f)$ колебаний колесной пары трехмассовой системы (рис. 2, а) имеется один максимум на частоте 17,03 Гц, соответствующей частоте колебаний колесной пары на жесткости пути.

Отметим, что в этой АЧХ, так же как и в АЧХ $A_{3-\eta}(f)$ колебаний кузова (рис. 2, в), отсутствует максимум на частоте колебаний тележки. Затухание графика $A_{1-\eta}(f)$ происходит весьма медленно и к частоте 100 Гц значение $A_{1-\eta}(100) = 0,14$, что свидетельствует о достаточно широкой полосе пропускания частот по координате $z_1(t)$. АЧХ $A_{2-\eta}(f)$ также имеет два максимума на частотах 1,16 и 3,82 Гц, причем максимум $A_{2-\eta}(3,82) = 0,6$, т. е. весьма мал из-за достаточно большой диссипации.

Таким образом, использование дискретной модели пути вызывает появление колебаний на частотах, превышающих 10 Гц, что существенно при исследовании колебаний грузовых вагонов, не имеющих буксовой ступени подвешивания, а также при изучении крутильных колебаний в тяговых передачах локомотивов. В таких задачах следует задаваться спектром возмущения $\eta(j\omega)$, соответствующим диапазону частот 10 до 100 Гц, аналитическое выражение и параметры которого регламентированы в [17].

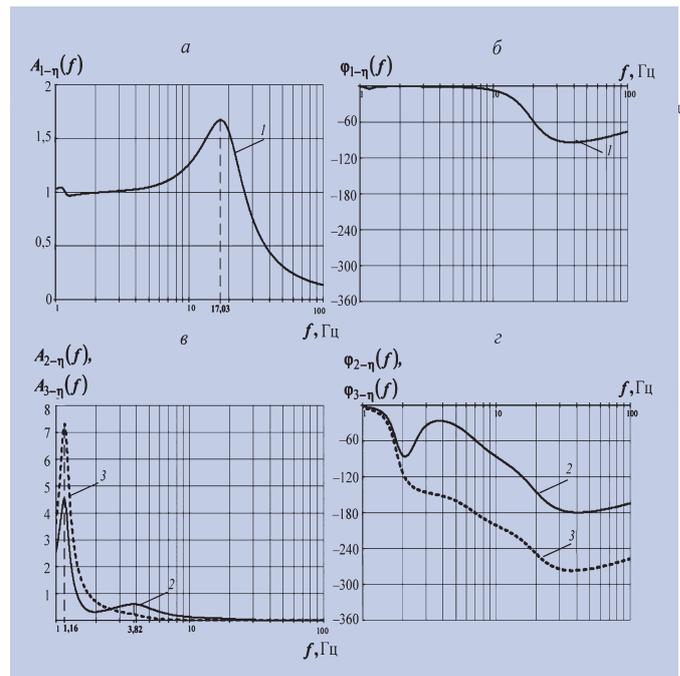


Рис. 2. АЧХ (а, в) и ФЧХ (б, г) колебаний трехмассовой системы для координат: колесной пары (1), тележки (2), кузова (3)



Литература

- Бирюков, И. В. Механическая часть тягового подвижного состава: учебник для вузов ж.-д. транспорта / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак и др.; под ред. И. В. Бирюкова // — М.: Транспорт, 1992. — 440 с. Репринт. воспроизв. — М.: Альянс, 2013. — 440 с.
- Savoskin, A. N. Mechano-mathematical models of railway rolling stock spring suspension elastic-friction elements / A. N. Savoskin, A. P. Vasilev // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering. ICIE2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering / eds: A. A. Radionov, V. R. Gasiyarov. — Cham: Springer, 2020. — P. 703–710. — http://doi.org/10.1007/978-3-030-54814-8_81
- Вериго, М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. — М.: Транспорт, 1986. — 559 с.
- Коган, А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А. Я. Коган. — М.: Транспорт, 1997. — 326 с.
- Коган, А. Я. Случайные процессы взаимодействия пути и подвижного состава / А. Я. Коган, Э. Д. Загитов, И. В. Полещук // Вестник ВНИИЖТ. — 2016. — Т. 75. — № 4. — С. 195–200. — <http://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-195-200>
- Belotserkovsky, P. M. High-frequency vibrations due to interaction between wheel-sets via corrugated rails / P. M. Belotserkovsky // Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics. EURO DYN 2011 / eds: G. De Roeck, G. Degrande, G. Lombaert, G. Muller. — Leuven, Belgium, 2011. — URL: <https://bwk.kuleuven.be/apps/bwm/eurodyn2011/papers/MS04-986.pdf> (дата обращения 14 марта 2022 г.)
- Belotserkovsky, P. M. Interaction between a railway track and uniformly moving tandem wheels / P. M. Belotserkovsky // Journal of Sound and Vibration. — 2006. — Vol. 298. — N4–5. — P. 855–876. — <http://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.03.054>
- Mikheev, G. Methods of Simulation of Railway Wheelset Dynamics taking into account Elasticity / G. Mikheev, D. Pogorelov, A. Rodikov // Proceedings of First International Conference on Rail Transportation, July 10–12, 2017. — Chengdu, China. — URL: <https://pdfslide.net/documents/methods-of-simulation-of-railway-wheelset-dynamics-of-simulation-of-railway> (дата обращения 16 июня 2022 г.)
- Rodikov, A. Computer simulation of train-track-bridge interaction / A. Rodikov, D. Pogorelov, G. Mikheev, R. Kovalev, Q. Lei, Y. Wang // Proceedings of International conference on railway excellence (CORE2016: Maintaining the Momentum). — Melbourne, Australia, 2016. — 348 p.
- Sheng, X. Simulations of roughness initiation and growth on railway rails / X. Sheng, D. J. Thompson, C. J. C. Jones, G. Xie, S. D. Iwnicki, P. Allen, S. S. Hsu // Journal of Sound and Vibration. — 2006. — Vol. 293. — Iss. 3–5. — P. 819–829. — <http://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.08.050>
- Jin, X. S. Three-dimensional train-track model for study of rail corrugation / X. S. Jin, Z. F. Wen, K. Y. Wang, Z. R. Zhou, Q. Y. Liu, C. H. Li // Journal of Sound and Vibration. — 2006. — Vol. 293. — Iss. 3–5. P. 830–855. — <http://doi.org/10.1016/JJSV.2005.12.013>
- Xiaolong, Liu. An indirect method for rail corrugation measurement based on numerical models and wavelet packet decomposition / Liu Xiaolong, Han Jian, Xu Hanwen, Xiao Xinbiao, Wen Zefeng, Liang Shulin // Measurement. Elsevier. — 2022. — <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110726>
- Xiaogang, Liu. Investigation of the generation mechanism of rail corrugation based on friction induced torsional vibration / Liu Xiaogang, Wang Peng // Wear. — 2021. — Vol. 468–469. — <http://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203593>
- Chaozhi, Ma. The dynamic resonance under multiple flexible wheelset-rail interactions and its influence on rail corrugation for high-speed railway / Ma Chaozhi, Gao Liang, Xin Tao, Cai Xiaopei, Nadakatti Mahantesh M., Wang Pu // Journal of Sound and Vibration. — 2021. — Vol. 498. — <http://doi.org/10.1016/j.jsv.2021.115968>
- Xiaolu, Cui. Field investigation and numerical study of the rail corrugation caused by frictional self-excited vibration / Cui Xiaolu, Chen Guangxiong, Zhao Jiangwei, Yan Wenyi, Ouyang Huajiang, Zhu Minhao // Wear. — 2017. — Vol. 376–377. — Pt B. P. 1919–1929. — <http://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.089>
- Певзнер, В. О. Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного процесса / В. О. Певзнер, А. И. Чечельницкий, К. В. Шапетько, Е. А. Сидорова, А. Ю. Сластенин // Вестник ВНИИЖТ. — 2020. — Т. 79. — № 5. — С. 271–275. — <http://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>
- Руководящий документ ПР 32.68–96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. — Указание № А-11у об утверждении и введении в действие. — М.: Министерство путей сообщения Российской Федерации, 1997 г. — 21 с.

Метод оценки энергоэффективности грузовых вагонов



Ю. П. Бороненко,
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС),
генеральный директор
АО «НВЦ «Вагоны»

Как известно, на транспортировку подвижного состава затрачивается определенная энергия. Однако какова ее реальная величина при перемещении одного конкретного вагона в составе поезда, пока никто не знает. В то же время нельзя экономить то, что не учтено и не рассчитывается.

Вопросы энергосбережения и декарбонизации экономики являются приоритетными во всем мире. В России действует Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической энергоэффективности» [1]. Заказчики обязаны осуществлять закупки товаров, работ и услуг в соответствии с требованиями энергетической эффективности. Потребители, покупающие такую продукцию, получают преференции от государства. За приобретение продукции, имеющей высокую энергетическую эффективность, предприятия в течение трех лет освобождаются от налога на энергоэффективное имущество, и к нему применяется ускоренная амортизация. Производители техники обязаны информировать потребителей об энергетической эффективности своей продукции.

С 2020 г. в России для автомобилей введен новый документ (этикетка энергоэффективности), который информирует потребителей об объеме топлива, потребляемого машиной, и выделяемых газах. Для ряда объектов бытовой техники и зданий установлены классы энергоэффективности от А до G в порядке убывания.

На железнодорожном транспорте в целом пока этого нет, но для локомотивов уже введены индикаторы энергетической эффективности (ИЭЭФ) [2]. В качестве ИЭЭФ принят расход 10 кг условного топлива для электровозов и 40 кг для тепловозов на 10 тыс. т-км брутто. Это соответствует в Международной системе единиц удельному расходу энергии 293 МДж/10 тыс. т-км для электровозов и 1172 МДж/10 тыс. т-км для тепловозов.

Что же касается вагонов, то здесь сопротивление движению разных моделей может отличаться на 20–40 % [3, 4]. При этом инновационные модели, поставленные на производство в последние годы, обеспечивают существенное уменьшение сопротивления движению [5].

С одной стороны Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (ТР ТС 001/2011) в п. 5 ст. 4 предусматривает, что железнодорожный подвижной состав и его составные части должны обеспечивать «соответствие требованиям энергетической эффективности» [6]. Но эти требования пока не установлены, и подтверждение, а также их выполнение при сертификации вагонов проверяются формально.

С другой стороны, ГОСТ Р 56828.29–2017 [2] дает следующее определение: «Показатель энергоэффективности — абсолютная, удельная или относительная величина потерь энергетических ресурсов для продукции любого назначения или технологического процесса». Этой дефиниции соответствует такой показатель как удельный расход энергии на совершение вагоном перевозочной работы в 10 тыс. т-км нетто. Формулы для расчета показателя энергоэффективности вагона выводятся следующим образом.

Пусть A — полезная работа по перемещению груза в тонно-километрах нетто

$$A = m_r L, \quad (1)$$

где m_r — масса груза;

L — расстояние транспортировки.

Расход энергии определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \int_0^L (m_r + m_t) w''(v) dl = \\ &= (m_r + m_t) \int_0^L w''(v) dl, \end{aligned} \quad (2)$$

здесь m_t — масса тары вагона,

$w''(v)$ — основное удельное сопротивление движению вагона в поезде.

Поставив выражение (1) в формулу (2), для определения показателя энергоэффективности вагона получаем

$$\Pi_{\mathcal{E}} = (m_r + m_t) \int_0^L \frac{A}{m_r} w''(v) dl.$$

Показатели энергоэффективности грузовых вагонов

№ п.п.	Наименование	Показатель (индикатор) энергоэффективности, МДж/10 тыс. т-км нетто	Класс энергоэффективности
1	 Полувагон 2004–2006 гг. (23,5 тс)	172 (расчет по Правилам тяговых расчетов)	С (нормальный)
2	 Полувагон 12-132 (23,5 тс)	157 (динамометрические испытания АО «ВНИИЖТ»)	В (высокий)
3	 Полувагон 12-196-01 (25 тс)	120 (динамометрические испытания АО «ВНИИЖТ»)	А (наивысший)
4	 Полувагон 12-9843 (25 тс)	122 (динамометрические испытания АО «ВНИИЖТ»)	А (наивысший)
5	 Полувагон 12-9548-01 (27 тс)	117 (динамометрические испытания АО «ВНИИЖТ»)	А (наивысший)

Величина w основного удельного сопротивления зависит от скорости. Используя теорему о среднем значении интегрального исчисления и зная среднюю скорость, выражение упрощаем и получаем приближенную формулу

$$P_3 = \frac{m_r + m_t}{m_r} w''(v_{cp}) A = (1 + k_r) w''(v_{cp}) A, \quad (3)$$

в которой $k_r = \frac{m_t}{m_r}$ — коэффициент тары вагона, v_{cp} — средняя скорость движения, $w''(v_{cp}) = a + bv_{cp} + cv_{cp}^2$ — основное удельное сопротивление вагона на средней скорости движения.

Таким образом, энергоэффективность вагона зависит от коэффициента тары подвижного состава, его удельного сопротивления и средней скорости транспортных средств.

Коэффициент тары для вагонов известен, он входит в техническую характеристику. Основное удельное сопротивление вагона необходимо определять для каждой модели. Это можно делать динамометрическим методом [7] и бросковым расчетно-экспериментальным методом, предложенным в [8, 9].

Формула (3) позволяет получить

только приближенную оценку энергоэффективности вагона и не учитывает распределение скоростей движения поезда. Более точную оценку можно найти, учитывая распределение скоростей вагонов в эксплуатации в соответствии с ГОСТ 33211–2014 [10], которая дает вероятности движения вагона β_i со скоростью v_i . Продолжая представлять зависимость основного сопротивления вагона в виде квадратичной параболы

$$w'_0(v) = a + bv + cv^2,$$

можно записать интеграл в выражение (2) следующим образом:

$$I = \int_0^L w''(v) dl = \sum_{i=1}^n \int_{l_i}^{l_{i+1}} w''(v_i) dl = \sum_{i=1}^n \int_{l_i}^{l_{i+1}} (a + bv_i + cv_i^2) dl. \quad (4)$$

В (4) n — число скоростных диапазонов, v_i — длина участка движения со скоростью v_i , β_i — вероятность движения со скоростью v_i .

Вычислив длины участков через среднюю скорость v_{cp} и проинтегрировав данное выражение, получаем, что

$$I = \frac{L}{v_{cp}} \left(a \sum_{i=1}^n \beta_i v_i + b \sum_{i=1}^n \beta_i v_i^2 + c \sum_{i=1}^n \beta_i v_i^3 \right),$$

где β_i — вероятность движения со скоростью v_i .

В итоге имеем уточненную формулу для показателя энергоэффективности нетягового подвижного состава

$$P_3 = (1 + k_r) \frac{1}{v_{cp,n}} \times \left(a \sum_{i=1}^n \beta_i v_i + b \sum_{i=1}^n \beta_i v_i^2 + c \sum_{i=1}^n \beta_i v_i^3 \right) A. \quad (5)$$

В качестве примера в таблице 1 приведены результаты расчета предлагаемого показателя энергоэффективности, рассчитанного по формуле (3) для средней скорости движения 60 км/ч. В последнем столбце таблицы приведены буквенные обозначения, согласно международному классификатору энергоэффективности.

Выполненные расчеты показывают практическую применимость предлагаемого подхода к определению показателя энергоэффективности вагонов. Основную трудность составляет определение основного удельного сопротивления движению.

Экспериментальные данные об удельном сопротивлении имеются только для ограниченного числа инновационных вагонов. Это связано с высокой стоимостью испытаний по оценке сопротивления движению путем проведения динамометрических испытаний поезда из 65 вагонов.

ПГУПС и АО «НВЦ «Вагоны» разрабатывают более дешевый метод бросковых испытаний. Возможно, на наш взгляд, и усовершенствование динамометрического метода путем сокращения длины поезда. Поэтому для внедрения в практику вагоностроения показателя энергоэффективности необходима в первую очередь разработка предварительного национального стандарта Российской Федерации «Определение показателя энергетической эффективности грузовых вагонов».

Эффекты от введения показателя энергоэффективности:

- для Российской Федерации:
- сокращение затрат на производство валового продукта,
- уменьшение выбросов парниковых газов;
- для вагоностроителей:
- выполнение требований ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»,
- увеличение цены на высокоэнергетические вагоны;
- для собственников вагонов:
- освобождение от налога на приобретенное имущество в течение 3 лет



за приобретение продукции, имеющей высокую энергоэффективность,

- ускоренная амортизация;
- для ОАО «РЖД»:
- сокращение расходов на тягу поездов,
- выполнение задач «Энергетической стратегии ОАО «РЖД»»;
- для испытательных центров;
- появление новой работы по определению энергоэффективности при сертификации подвижного состава по ТР ТС 001.

Таким образом, предлагается:

- для оценки энергоэффективности грузовых вагонов ввести показатель энергоэффективности, определяющий расход энергии при выполнении перевозочной работы в 10 тыс. т км нетто. Данный показатель находить при постановке вагонов на производство и информировать об его значении потребителей и ОАО «РЖД»;
- расчет показателя энергоэффективности производить по формулам (3) и (5) на основе данных экспериментов по определению основного удельного сопротивления динамометрическим или бросковым методом. ■

Литература

1. Федеральный Закон от 23 ноября 2009 г. № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30163> (Дата обращения 12 июня 2022 г.).
2. ГОСТ 56828.29–2017. Наилучшие доступные технологии энегосбережения. Порядок определения показателей (индикаторов) энергоэффективности. – М.: Стандартинформ, 2017. – 19 с.
3. Комарова, А. Н. Сравнительная оценка сопротивления движению грузовых вагонов на тележках различных типов / А. Н. Комарова, Ю. П. Бороненко // Транспорт Российской Федерации. – 2014. – № 3 (52). – С. 69–72.
4. Захаров, А. Н. Оценка сопротивления движению грузовых вагонов в зависимости от положения осей колесных пар в тележках и состояния пути / А. Н. Захаров, Ю. С. Ромен, В. О. Певзнер // Вестник ВНИИЖТ. – 1996. – № 2. – С. 33–36.
5. Соколов, А. М. Осевая нагрузка 27 тс – новая веха развития вагоностроения / А. М. Соколов, А. М. Орлова // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – № 3 (47). – С. 5–7.
6. Технический регламент ТС. О безопасности железнодорожного подвижного состава. ТР ТС 001/2011.
7. Астахов, П. Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава / П. Н. Астахов // М.: Транспорт, 1966. – 179 с. (Труды ВНИИЖТ, вып. 311.)
8. Крон, И. Р. Расчетно-экспериментальный метод определения основного сопротивления движению подвижного состава с применением цифровых моделей / И. Р. Крон, Б. О. Поляков // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 4(95). – С. 50–53.
9. Бороненко, Ю. П. Расчетно-экспериментальный метод определения энергоэффективности грузовых вагонов с применением цифровых моделей / Ю. П. Бороненко, Б. О. Поляков, И. Р. Крон, Т. М. Белгородцева // Транспорт Российской Федерации. – 2022. – № 1–2 (98–99). – С. 41–43.
10. ГОСТ 33788–2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. – М.: Стандартинформ, 2016. – 41 с.

Перспективы применения направляемого легкого транспорта в российских городах



А. А. Воробьев,
д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)



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



В. Г. Кондратенко,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы» ПГУПС

В 50-е годы XX века в Европе проходила бурная автомобилизация, сопровождаемая большими пробками. В рамках борьбы с ними власти пошли на ликвидацию трамвайных и троллейбусных систем в большинстве городов. Однако в 90-х годах начался процесс восстановления общественного электрического транспорта. Ведущие производители подвижного состава решили разработать его новые виды, и в результате был создан так называемый трамвай на шинах.

Трамвай на шинах (фр. *tramway sur pneus, tram sur pneus*) или направляемый легкий транспорт — вид городского общественного транспорта, совмещающий свойства троллейбуса, автобуса и трамвая. В отличие от традиционного трамвая он не нуждается в классическом рельсовом пути, однако является направляемым видом транспорта [1–10].

Для этого используется проложенный в середине предназначенной трамвайной полосы направляющий рельс. При сохранении преимуществ направляемого движения трамвай на шинах так же хорошо вписывается в городскую среду, как и рельсовые системы.

Концепция нового транспорта была широко разрекламирована разработчиками. Утверждалось, что трамвай на шинах сохраняет все преимущества традиционного трамвая (экологичность, высокая провозная способность), но лишен его недостатков. Прокладка выделенной полосы трамвая на шинах стоит дешевле строительства трамвайной линии такой же длины. Однако «детские болезни» нового вида транспорта пока не преодолены.

Существуют две несовместимые системы, использующие физические направляющие: Guided Light Transit (англ. GLT, Guided Light Transit, направляемый легкий транспорт), разработанная и произведенная компанией Bombardier Transportation, и Translohr от компании Lohr Industrie (в настоящее время производится Alstom и FSI). По бокам нет направляющих, но есть центральная, конструкция которой в разных системах различается.

Подвижной состав системы Bombardier (GLT) оборудован электрическими тяговыми двигателями, получающими питание либо

от внешней сети, либо от двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Он имеет рулевое управление и управляемые колеса и может работать и с направляющим рельсом, и независимо от него, так же, как троллейбус или автобус при следовании в депо.

Подвижной состав Bombardier по закону считается автобусом, имеет зеркала заднего вида, фонари и номерные знаки, педали, как у обычных автобусов. Рулевое управление не используется при движении по направляющей. В системе GLT одиночное колесо с двойным фланцем между резиновыми шинами следует по направляющему рельсу (рис. 1, а).

Система Translohr всегда работает с направляемым рельсом, как стандартный трамвай, и не может двигаться без него, не имеет ДВС, поэтому она не классифицируется как автобус и не оснащается номерными знаками. Направляемый рельс обхватывается парой металлических направляющих колес, установленных под углом 45° к дороге и под углом 90° друг к другу (рис. 1, б).

В обоих случаях вес транспортного средства воспринимается резиновыми шинами. К ним прикреплены направляющие колеса, которые контактируют с дорогой на бетонных направляющих, предназначенных для минимизации ударов по земле. Электроэнергия обычно подается на тяговые электродвигатели



Рис. 1. Схемы направляющих систем:
а — Bombardier: направляющий рельс (зеленый) и направляющее колесо (красный); б — Translohr: направляющий рельс (зеленый) и направляющие колеса трамвая (красный)



Рис. 2. Нанси (Франция) – Avenue du General Leclerc. Bombardier GLT/TVR (участок линии, оборудованный направляющим рельсом, на обособленном полотне (30.06.2008 г.))

от воздушных линий, аккумуляторных батарей или ДВС, где нет воздушных проводов.

Эти системы больше похожи на трамвай или легкорельсовый транспорт и обладают некоторыми преимуществами перед трамваем на стальных колесах, например способностью преодолевать более крутые уклоны (до 13 %) и тише проезжать стрелочные переводы. Установка инфраструктуры может быть менее сложной, чем полной трамвайной линии на существующей улице. Такие системы можно сравнить с трамвайным эквивалентом метро на резиновых шинах, и они менее эффективны, чем легкорельсовый транспорт на стальных колесах. Нет никаких доказательств, подтверждающих преимущество конкретной системы направления подвижного состава. Подвижной состав Bombardier, и система Translohr имела сходы с рельса во время эксплуатации.

Система Bombardier GLT (Transport sur Voie Réservée, или TVR)

Данная система была построена и эксплуатировалась только в двух французских городах: Нанси (население 410,5 тыс. чел) с 2000 г. и Кан (110 тыс. чел.) с 2002 г.

В Нанси транспортные средства питаются от двухпроводной контактной сети, аналогичной троллейбусной, направляющий рельс не может быть использован как токоноситель. При этом применяются сдвоенные штанги для сбора и возврата электроэнергии, чтобы можно было задействовать существующие провода, построенные для движения троллейбуса.

Длина единственной линии, связывающей северо-восток и юго-запад города, составляет 11,4 км, из которых отрезки, оборудованные направляющим рельсом, достигают 6,9 км (в двукратном исчислении) — около 60 % системы (рис. 2);

оставшиеся 40 % — это работа в режиме обычного троллейбуса (рис. 3).

На предприятии имеются 25 трехсекционных вагонов с 95 % низкопольностью, поставленных к открытию сети в 2000 г. Для поддержания заявленного расписания достаточно 18 вагонов. Система была впервые введена в эксплуатацию для обслуживания пассажиров в феврале 2001 г. Вскоре после пуска в эксплуатацию первой коммерческой линии трамвая на шинах с рельсовой направляющей имели место несколько случаев схода с рельсов (при этом даже были пострадавшие).

Работа системы была приостановлена с марта 2001 г. по март 2002 г., пока компания Bombardier проводила модернизацию транспортных средств, но даже после ее завершения работа вызывала нарекания.

Эта система имеет ряд неустраняемых недостатков:

- сильный неравномерный износ дорожного полотна, приводящий к образованию колеи;
- чувствительность к дефектам дороги, из-за чего возможен сход с направляющего рельса;
- обледенение, снег и посторонние предметы в желобе направляющего рельса могут сделать прохождение по данному участку вагона невозможным. Для традиционного трамвая подобные проблемы актуальны в гораздо меньшей степени;
- ограниченная длина транспортно-го средства;
- сложность возвращения на путь вагона, сошедшего с направляющего рельса;



Рис. 3. Нанси (Франция) – Avenue du General Leclerc / Avenue Foch. Bombardier GLT/TVR (шинный трамвай, работающий в режиме стандартного троллейбуса (30.06.2008 г.))

- необходимость специально оборудованного порта из-за присоединения к направляющему рельсу;
- плохая управляемость транспортного средства в ненаправляемом режиме.

Подвижной состав GLT обладает рулевым управлением, которое не применяется при движении по выделенной полосе движения с направляющим рельсом. Система Bombardier допускает движение и в ненаправляемом режиме. Эта возможность используется в Нанси, где на окраине города, а также в депо вагоны движутся так же, как обычный троллейбус, и, лишь въезжая в стесненный центр города, переходят в направляемый режим.

На линии GLT в Нанси более одной трети маршрута (10 км) не имела направляющей, и на этих участках подвижной состав полностью управлялся водителем. Систему GLT в Нанси эксплуатирует компания Société de Transports de l'Agglomération Nancienne (STAN).



Рис. 4. Avenue Jean Vilar. Bombardier GLT/TVR (маршрут А заканчивается в микрорайоне города-спутника lfs, расположенного к югу от Кана (10.05.2009 г.))



Рис. 5. Кан (Франция) – Boulevard Henri Becquerel / Rue Leon Foucault Bombardier GLT/TVR (вагон GLT следует на дизельной тяге выезжает из депо и направляется на маршрут, пантограф на средней секции опущен (10.05.2009 г.)



Рис. 6. Кан, трамвай мод. Alstom Citadis 305 № 1003, заменивший закрытую систему шинного трамвая. Avenue du 6 Juin (27.07.2019 г.)

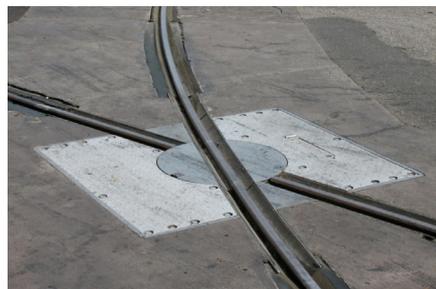


Рис. 7. Перекресток транспортной системы Translohr

У подвижного состава GLT/TVR два сочленения (является трехзвенным), он спроектирован как однонаправленный трамвай, его полная длина составляла 24,5 м. Вагоны GLT короче, чем большинство современных трамваев, но длиннее по сравнению с обычными автобусами (троллейбусами).

Подвижной состав имеет автобусные зеркала заднего вида. У них стопроцентно низкий пол, 40 сидячих мест и 105 мест для проезда стоя. Привод – электромотор, который питается от контактной сети или в случае ее отсутствия от ДВС, которым оборудован весь подвижной состав этой системы. Скорость – 50–70 км/ч.

В Кане подвижной состав GLT начал работу в ноябре 2002 г., в его конструкции уже были учтены изменения, внесенные в вагоны в Нанси во время модернизации.

Все 24 трехсекционных вагона с 95 %-ной низкопольностью были поставлены к открытию сети в 2002 г.

Центральный направляющий рельс был установлен на всех участках маршрута, транспортные средства получали энергию от пантографа, возвращая его через центральный направляющий рельс.

Хотя вагоны управлялись центральной направляющей, они двигались на резиновых шинах, а не на рельсах (рис. 4). Использовать свой дизельный двигатель и рулевое управление подвижной состав мог только при поездках в депо и обратно (рис. 5).

Эффективное использование пантографа требует применения системы наведения по поверхности так, чтобы транспортное средство оставалось приблизительно по центру под контактным проводом. Таким образом, транспортные средства Кана не могли двигаться в сторону от контактного провода за исключением случаев, когда они работали в дизельном режиме (как обычные автобусы).

Сеть GLT в Кане, строго говоря, являлась интерурбаном, так как маршрутные линии были проложены за пределы административных границ города и обслуживали города-спутники Herouville Saint-Clair и Iffs к северу и югу от Кана соответственно.

Длина линий – 15,7 км в двупутном исчислении, количество маршрутов – 2, количества остановок – 34, средняя эксплуатационная скорость – 18,5 км/ч, количество вагонов – 24, количество перевозимых пассажиров – 46 тыс. чел. ежедневно.

Компания Bombardier прекратила выпуск вагонов для систем GLT в 2006 г. В сентябре 2011 г., после 9 лет эксплуатации, в Кане было принято решение закрыть сеть GLT в связи с многочисленными техническими проблемами, связанными с данной технологией. На заседании городского совета в декабре 2011 г. было решено заменить сеть GLT классическим трамваем к 2018 г. Система эксплуатировалась компанией Compagnie des Transports de l'Agglomération Caennaise под названием Twisto до 2017 г., когда была остановлена. Она была закрыта и перестроена в обычный трамвай только к 2019 г. (рис. 6).

По состоянию на 2021 г. работала только система в Нанси. Ее предполагается закрыть и заменить обычным трамваем к началу 2023 г.

Таким образом, система GLT из-за возникших проблем в настоящее время

заменена на обычный трамвай в Кане, но продолжает работать в Нанси. В 2021 г. железнодорожное отделение компании Bombardier Transportation было поглощено компанией Alstom.

Translohr

Translohr – трамвай на шинах, использующий усовершенствованное крепление к единственному рельсу (рис. 7), был разработан французской компанией «Lohr Industrie». В 2012 г. технология была продана компании Alstom, чтобы избежать банкротства.

Система всегда имеет питание от одного провода (через пантограф), роль второго провода играет направляющий рельс. При той же провозной способности Translohr имеет следующие достоинства в сравнении с традиционным трамваем:

- несколько меньший минимальный радиус разворотного кольца;
- возможность форсировать подъемы с уклоном до 13 % (традиционный трамвай способен преодолевать подъем с уклоном лишь до 9 %);
- заявлена более низкая стоимость прокладки линии Translohr по сравнению с линией традиционного трамвая;
- заявлен меньшие шум и вибрации при движении;
- благодаря расположению ведущих колес в узлах сочленения, как в трамвае типа ULF, уровень пола в салоне может быть очень низким, а также отсутствуют выступающие колесные арки и «подиумы»;
- меньший риск схода с направляющего рельса в сравнении с трамваем на шинах от Bombardier.

Данная система обладает и некоторыми недостатками:

- эксплуатация Translohr в странах с сезонным снежным покровом сопряжена с техническими трудностями – во время оттепелей и ранней весной талая вода может скапливаться в желобе с направляющим рельсом и замерзать при похолоданиях и, таким образом, сделать колею непроходимой для подвижного состава (традиционный трамвай не имеет такого недостатка);
- путевая инфраструктура Translohr, как и у традиционного трамвая, должна быть проложена на всем протяжении трассы движения;
- очень чувствительна к качеству дороги – неровности в полосе движения, а также посторонние предметы в желобе направляющего рельса могут привести к поломкам подвижного состава



Рис. 8. Вагон STE4 в Клермон-Ферран (Франция)

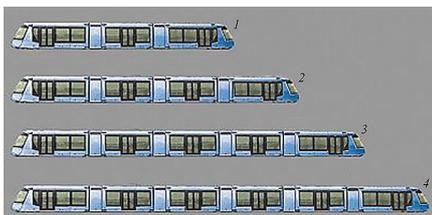


Рис. 9. Типаж подвижного состава системы Translohr: 1 – трехзвенный STE3, длина 25 м; 2 – четырехзвенный STE4, длина 32 м; 3 – пятизвенный STE5, длина 39 м; 4 – шестизвенный STE6, длина 46 м

и даже к сходу (троллейбус менее чувствителен к неровностям используемой дороги, а для традиционного трамвая важно лишь состояние ходовых путей);

- не разработаны способы пересечения линии Translohr с традиционным трамваем и железными дорогами на одном уровне;

- сошедший с направляющего рельса вагон сложно вернуть на путь, для чего демонтируют направляющий ролик на сошедшей с пути оси и буксируют вагон в депо, где уже возвращают тележку в сцепление с направляющим рельсом;

- система является проприетарным видом транспорта, то есть эксплуатирующие организации не имеют возможности заменить подвижной состав вагонами от другого производителя до окончания срока действия патентов.

Система Translohr была реализована в следующих городах:

- Клермон-Ферран, Франция (вагоны типа STE4, с 2006 г.);
- Падуа, Италия (тип STE3, с 2007 г.);
- Тяньцзинь, TEDA (Китай) современный управляемый железнодорожный трамвай (тип STE3, с 2007 г.);
- Местре-Венеция (континентальная часть Венеции), Италия (STE3, с 2010 г.);
- Шанхай, Китай (тип STE3, с 2010 г.);
- Иль-де-Франс (пригород Парижа), линия 5, Франция (STE3, с 2013 г.);

- Иль-де-Франс, линия 6, Франция (STE6, с 2014 г.);

- Медельин, Колумбия, трамвай Аясучо (STE5, с 2015 г.).

Первым городом, построившим линию по технологии Translohr, был Клермон-Ферран (Франция) (рис. 8).

Предполагалось строительство междугородней линии из Местре в Венецию, которая должна была пройти по мосту Свободы, соединяющему Венецию с материковой частью.

17 июля 2014 г. был доставлен первый вагон STE5 в город Медельин (Колумбия), изготовленный компанией NTL в Страсбурге для новой открывающейся системы Translohr. Предлагалось строительство линий в итальянской Л'Акуиле, в Казахстане (Алма-Ате и Нур-Султане), России (Ярославль, 2007 г.), США (Лас-Вегас), Словении и Антананариву (Мадагаскар), но все эти проекты были отменены. Данной системой незадолго до своего банкротства предполагал заниматься Петербургский трамвайно-механический завод (ПТМЗ, Санкт-Петербург).

Типаж подвижного состава системы Translohr имеет широкую номенклатуру и представлен от трехзвенного вагона длиной 25 м до шестизвенного длиной 46 м (рис. 9).

Таким образом, система GLT из-за возникших проблем в настоящее время работает только в Нанси, но предполагается в ближайшее время ее замена обычным трамваем. Системы Translohr продолжают эксплуатироваться в большинстве городов, где они были построены. Подвижной состав системы GLT из-за конструктивных особенностей не может быть любой составности, максимальная длина трехзвенного состава — 24,5 м.

Система Translohr позволяет иметь в настоящее время длину подвижного состава в диапазоне от 25 до 46 м и в состоянии осваивать большие потоки пассажиров, как и обычный трамвай. Из-за конструктивных особенностей направляющего рельса данную систему целесообразно применять в городах с теплым климатом, где нет постоянного намерзания осадков и имеющих холмистый рельеф.

Что касается возможности использования этой системы в городах России, то это, скорее всего, нецелесообразно из-за суровых климатических условий и снежной длинной зимы. В крупных мегаполисах, средних и малых городах РФ в целях решения транспортных проблем целесообразно применять классические

рельсовые системы трамвая и легкорельсового транспорта. ■

Литература

1. Киселев, И. П. История скоростных сухопутных нетрадиционных видов пассажирского транспорта / И. П. Киселев // История науки и техники. — 2006. — № 8. — С. 2–12.
2. Киселев, И. П. Развитие классификаций транспортных систем в СССР и России. Специфика колеинового (направляемого) транспорта / И. П. Киселев. — Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2010. — Вып. 4 (25). — С. 168–178.
3. Фортунатов В. В. История мировых цивилизаций / В. В. Фортунатов. — СПб.: Питер, 2012. — 560 с.
4. Голубев А. А. История транспорта: учеб. пособие / А. А. Голубев, И. П. Киселев, В. И. Голубев, В. В. Фортунатов, В. В. Яробков; под ред. В. В. Фортунатова. — СПб.: ПГУПС, 2013. — 134 с.
5. Годес Я. Г. Этот новый старый трамвай / Я. Г. Годес. — Л.: Лениздат, 1982. — 166 с.
6. Бодня, О. Ю. Современные трамваи: сочлененные, низкопольные, вместительные / О. Ю. Бодня // Грузовик-Пресс. — 2013. — № 9. — С. 64–66.
7. Городской транспорт. — URL: trsnfoto.ru (дата обращения 24.05.2020).
8. Быльцева В. Д. Совершенствование конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге / В. Д. Быльцева, А. М. Будюкин, Е. В. Пакулина // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте железнодорожного подвижного состава: сб. трудов Нац. науч.-технич. конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — СПб.: ПГУПС, 2020. — С. 44–50.
9. Кондратенко, В. Г. Эволюция конструкции подвижного состава легкорельсового транспорта в Санкт-Петербурге / В. Г. Кондратенко, А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, Д. Д. угли Каримов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2020. — Т. 17. — Вып. 1. — С. 62–67.
10. Воробьев А. А. Анализ современных технических решений, применяемых в конструкции низкопольных трамвайных вагонов / А. А. Воробьев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2021. — Т. 18. — Вып. 1. — С. 1–15.

Моделирование трения в цифровых моделях подвижного состава



Ю. С. Ромен,
д-р техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник
Научного центра «Путевая
инфраструктура
и вопросы взаимодействия
колесо–рельс» АО «Научно-
исследовательский инсти-
тут железнодорожного
транспорта» (ВНИИЖТ)



А. Н. Савоськин,
д-р техн. наук, профессор
кафедры «Электропоезда
и локомотивы» ФГАОУ ВО
«Российский университет
транспорта»
(РУТ (МИИТ))



М. В. Криволапов,
канд. техн. наук, техниче-
ский эксперт НЦ «Путевая
инфраструктура и вопро-
сы взаимодействия колесо-
рельс» АО «ВНИИЖТ»



Т. М. Белгородцева,
заведующий научно-ис-
следовательской лабо-
раторией «Динамика
вагонов» кафедры «Вагоны
и вагонное хозяйство»
ФГБОУ ВО «Петербургский
государственный универ-
ситет путей сообщения
Императора Александ-
ра I» (ПГУПС)

Основы сухого трения описываются уравнением Кулона. Зависимость силы сухого трения от скорости скольжения является нелинейной разрывной функцией, что представляет определенные трудности при математическом моделировании динамических процессов колебаний железнодорожных экипажей.

Существуют различные алгоритмы компьютерного моделирования систем с сухим трением, которые отличаются как по точности, так и по быстродействию. В работе приведены два принципиально различающихся метода моделирования разрывной системы, описывающей сухое трение. Первый метод основан на приближенной линеаризации процесса сухого трения, а второй логически реализует разрывный характер системы при условии, что приложение силы трения не может изменить направление смещения контактирующих тел под действием активных сил.

В то время как расчет линейных систем при наличии вязкого демпфирования не представляет принципиальных затруднений, если принимаемая величина демпфирования не превосходит предельных значений, расчеты систем с сухим трением связаны с моделированием разрывных систем, параметры которых точно неизвестны.

Вопросы гашения колебаний вагонов рассматривались в работах таких известных ученых как И. И. Челноков [1, 2], М. М. Соколов [3], П. С. Анисимов [4] и др. Однако при цифровом моделировании возникают определенные трудности с корректным описанием сил трения [5, 6].

Нелинейный характер связи элементов конструкции с сухим трением приводит к необходимости разработки специальных методов математического моделирования систем с разрывными параметрами.

Работа системы с сухим трением описывается в общем виде уравнением Кулона для силы трения вида $F_t = \mu N$, где μ — коэффициент трения, а N — нормальная сила контакта. В реальных механических системах коэффициент трения

иногда принимают одной величины для начала проскальзывания и другой при относительно установившемся взаимном смещении, которые, однако, зависят от большого количества стохастических факторов.

Обычно величину трения записывают с помощью символа Кронекера, где изменение функции происходит скачкообразно с нулевой точкой. Это не соответствует физике процесса, так как при изменении направления взаимного смещения трущихся тел они проходят через некоторую зону очень малого упругого смещения. Поскольку при изменении направления взаимного смещения система вследствие неразрывности процесса колебаний проходит через «зону застоя» (анкилоза), на протяжении нескольких временных шагов расчета сила трения линейно меняется в пределах микронных деформаций от своей максимальной положительной величины до максимальной отрицательной (или наоборот).

При силах, не превышающих величину трения в зоне контакта, взаимное смещение тел отсутствует (вернее оно не превышает, как сказано, чрезвычайно малое значение упругой деформации контактирующих элементов). При превышении действующими активными силами (включая силы инерции) величины силы трения происходит взаимное перемещение (проскальзывание) контактирующих элементов с относительной скоростью смещения Δ' .

В реальной механической системе относительное смещение контактирующих тел в переходный период анкилоза не превосходит упругую деформацию в поверхностных слоях контакта, и поэтому можно считать, что касательная сила взаимодействия в этот переходный период от неподвижности до начала про-

скальзывания увеличивается до величины силы трения проскальзывания, изменяясь по упруговязкому закону.

При цифровых вычислениях на протяжении соответствующих установленных программистом шагов расчета переходного периода это квазиупругое смещение и его скорость пренебрежимо малы. Взаимное проскальзывание контактирующих тел по окончании переходного временного периода наступает, когда силы смещения, обусловленные соотношением масс трущихся тел и сил, действующих на систему, превышают силы упругости в зоне контакта тел.

В математической модели величина сил сопротивления в «зоне застоя» (правильнее говорить об упругой зоне) определяется произведением относительной скорости упругого смещения и специально вводимого в программу множителя α , который, как сказано выше, можно трактовать как коэффициент квазиупругого (гидравлического) сопротивления в переходной период.

При составлении алгоритма расчета выбор величины α обуславливается частотами взаимных колебаний тел в системе и принятым временным шагом расчета в дискретной системе вычислений. Основное значение имеет соотношение частот колебаний системы, которые диктуются жесткостными параметрами связей и размерами принятого временного шага расчета.

В зоне застоя (анкилоза) величина α , являющаяся аналогом коэффициента больших величин вязкого трения сопротивления относительного смещения, в переходный период обуславливает интенсивность изменения силы сухого трения при срывах (в начале) движения и при перемене направления скорости взаимного смещения контактирующих тел.

В работе [2] для иллюстрации различий между существующими алгоритмами расчета систем с сухим трением приводятся результаты моделирования синусоидального смещения подпружиненного груза массой $m = 50$ кг при жесткости пружины $c = 100$ кН/м. Возбуждение создавалось синусоидальным смещением одного конца пружины x_0 с частотой 3 Гц и амплитудой 0,1 м.

Уравнение смещения груза имеет вид $m\ddot{x} + c(x - x_0) + \mu N \text{sign } \dot{x} = 0$.

При моделировании процесса сухого трения величину разрывной функции $\text{sign } \dot{x}$ можно заменить некоторым параметром F с тремя линейными зависимостями силы от скорости относительного

смещения Δ' рассматриваемых тел (рис. 1):

$$\begin{aligned} F &= -1 \text{ при } \Delta' \leq -1/\alpha, \\ F &= \alpha \cdot \Delta' \text{ при } -1/\alpha < \Delta' < 1/\alpha, \\ F &= 1 \text{ при } \Delta' \geq 1/\alpha. \end{aligned}$$

В таком представлении механизма работы трения при смене направления проскальзывания (в интервале времени между двумя направлениями силы трения) проходится переходная зона упругого смещения, которая пренебрежимо мала.

При назначении в программе вычислений маленьких значений α во временных окрестностях «зоны застоя», когда относительная скорость смещения мала, силы сопротивления взаимному смещению тел получаются малой величины. При этом в модели за переходный период происходит проскальзывание с силами сопротивления, существенно меньшими, чем фактическое трение, что не соответствует реальным процессам в системе.

Параметр α должен выбираться таким, чтобы при начале движения или изменении его направления силы сопротивления, определяемые произведением $\alpha \cdot \Delta$, возросли за один шаг расчета до величины, близкой, но не превосходящей значительно предельное значение силы трения. Это объясняется тем, что силы сопротивления смещению, рассчитанные в конце переходного периода расчета, по своей природе направленные в сторону, противоположную направлению скорости смещения, не должны превосходить сумму внешних сил, учитываемая сила инерции.

В случае же выбора величины α такой, что определяемые произведением $\alpha \cdot \Delta'$ силы резко возрастают, получаем в конце первоначального шага расчета сопротивление $F \gg 1$, существенно превышающее силу смещения в процессе работе системы. Такая величина $\alpha \cdot \Delta'$ может привести к возникновению паразитных колебаний в процессе вычислений, так как получаемые расчетные значения силы сопротивления, определяемые параметром F , будут превосходить сумму внешних сил. В этом случае расчетные силы сопротивления в модели будут не замедлять или останавливать движение, а изменять скорость взаимного смещения под действием трения на противоположную, что противоречит физике процесса.

Если ограничение и перерасчет силы сопротивления в используемой цифровой программе при переходе к следующему временному интервалу отсутствует, большая величина силы сопротивления в конце шага расчета может приводить

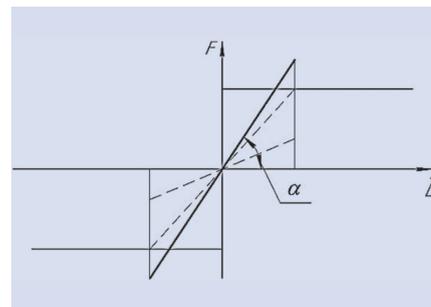


Рис. 1. Влияние принимаемой величины упруговязкого демпфирования α на изменение функции трения на шаге расчета

к изменению направления скорости движения. В результате при больших значениях параметра α получаются паразитные колебания, обусловленные погрешностями численного метода, а не физическими свойствами системы.

Таким образом, при моделировании сил трения в случае назначения малой величины параметра α будем иметь относительное смещение с нереально малым сопротивлением движению, а при выборе параметра α , превосходящего критическое значение в районе «зоны застоя», возникают «паразитные» колебания с частотой, определяемой размерами шага расчета.

В некоторых случаях устранить описываемые погрешности удастся разработкой специальной программы с автоматической коррекцией шага, но в большинстве расчетов эмпирически подбирают величину α для каждой конкретной системы трущихся элементов конструкции.

Поскольку все динамические процессы протекают во времени, то при их моделировании в системах с сухим трением параметр α определяют отношением величины временного интервала и относительного смещения за рассматриваемый промежуток времени, на данном шаге расчета. Этот интервал может составлять 1–3 временных шагов расчета.

На рис. 2 приведены результаты расчетов сил в подвешивании, полученные по трем алгоритмам, используемым в различных программных комплексах [2]. Приведенный пример показывает, как неудачный выбор параметров и метода моделирования (графики 1 и 3) может приводить к появлению паразитных колебаний, искажающих реальный физический процесс.

В соответствии с применяемыми алгоритмами математического моделирования также изменяются значения зависимых функций. На рис. 3 представлены результаты тестирования программных

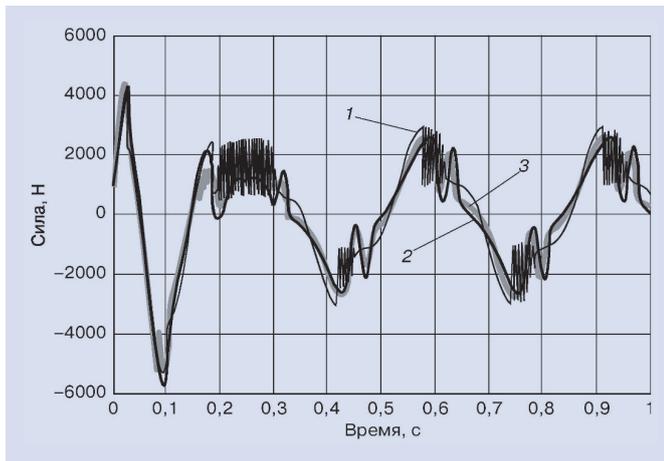


Рис. 2. Фрикционное демпфирование силы, действующей на подпружиненную массу, во времени, рассчитанное по 3 алгоритмам: Боссо и др. (1), Эйсса и Мопю (2), Массинга (3)

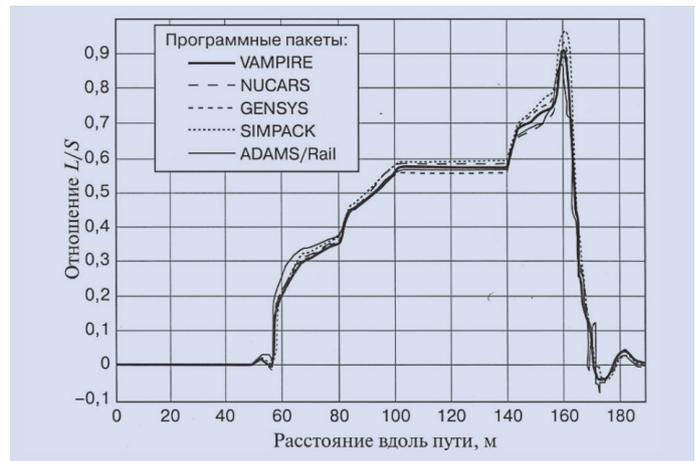


Рис. 3. Соотношение поперечной и вертикальной сил (результаты тестирования программных пакетов моделирования)

пакетов моделирования [2], основанные на разных алгоритмах.

Следует отметить, что подобные паразитные колебания при реализации численных методов могут возникнуть и в линейных системах с гидравлическим демпфированием при выборе в модели необоснованно большой величины вязкого трения или шага расчета, не согласованного с принятым значениям коэффициента демпфирования.

На основании опыта расчетов при моделировании работы клиновой системы рессорного подвешивания грузовых вагонов в функции, реализующей сухое трение, обычно принимается величина параметра, моделирующего работу функции Кронекера $\alpha = 25V$. Наличие множителя V (скорость движения) обусловлено тем, что расчеты динамики подвижного состава в большинстве случаев ведутся по пути, и поэтому шаг расчета зависит от анализируемой скорости движения, которая связывает шаг по пути и по времени.

При динамических расчетах взаимодействия подвижного состава и пути минимальная величина шага расчета обычно принимается равной $\Delta t = 0,0004V$. При дифференцировании по пути при скорости 20 м/с расчет в большинстве работ ведется с шагом $\Delta x = 0,008$ м.

Если считать, что максимальная амплитуда колебаний рессорного подвешивания грузового вагона составляет 0,05 м с длиной волны $L = 5$ м, то при скорости колебаний смещения клиновой системы $\Delta' = 0,05 (2\pi/L) \sin (2\pi x/L)$ максимальная скорость смещения $\max \Delta' = 0,06$ м/м (размерность для скорости обуславливается дифференцированием по пути).

В соответствии с приведенными рекомендациями для скорости движения 20 м/с принимается величина $\alpha = 500$ поскольку, согласно принятому алгоритму $\Delta' = 1/\alpha$, скольжение с максимальной силой трения при выходе из зоны анкилоза наступает при относительной скоро-

сти 0,002 м/м. Эта скорость примерно в 30 раз меньше скорости колебаний рассматриваемой системы подвешивания 0,06 м/м, что позволяет в большинстве случаев избежать появления паразитных колебаний. Следует отметить, что в других элементах конструкции возможно возникновение другой величины сухого трения, что приводит к изменению указанного значения α .

Для моделирования сухого трения можно также применить алгоритм расчета, основанный на использовании условия, что приложение силы трения может уменьшить скорость смещения, но не изменить ее направление.

Поскольку при использовании численных методов шаг расчета много меньше периода колебаний относительного смещения тел, изменение направления скорости перемещения в большинстве случаев сохраняется на протяжении ряда временных шагов. Поэтому, если при решении уравнения колебаний в i -й момент

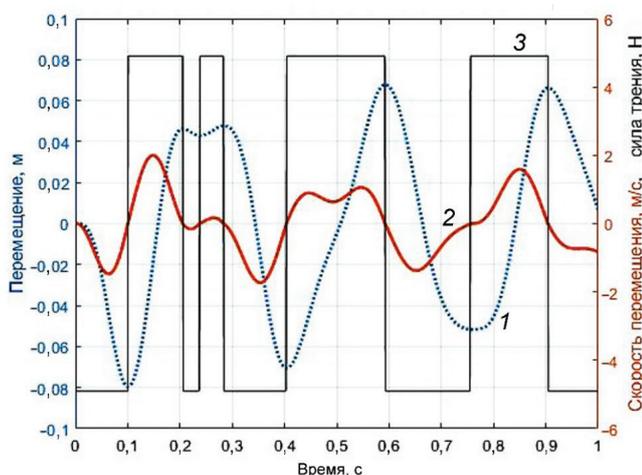
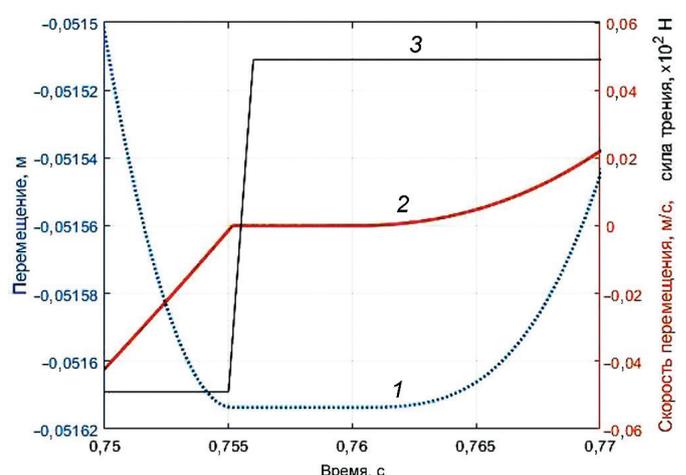


Рис. 4. Результаты расчета колебаний с выделением зоны анкилоза в интервале 0,75–0,77 с. Графики: 1 – перемещения, 2 – скорости, 3 – силы трения





времени были получены значения перемещения $x(i)$ и скорости $x'(i)$, отличные от нуля, то для вычисления перемещения на следующем шаге предварительно можно положить, что направление скорости смещения неизменно ($\text{sign } x'_1(i+1) = \text{sign } x'(i)$), а активные силы, как и в предыдущий момент, превосходят величину силы трения.

Первым шагом расчета для следующего момента $i+1$ в этом случае является решение уравнения

$$mx_1''(i+1) + c[x(i+1) - x_0(i+1)] + \mu N \text{sign } x'(i) = 0.$$

По окончании расчета в момент $i+1$ полученное при приведенном предварительном задании направление скорости $x'_1(i+1)$ рассматриваемого элемента должно быть проверено на соответствие реальности, чтобы убедиться в справедливости первоначального положения.

Если проверка показывает, что направление полученной скорости совпадает с принятым, т. е. $\text{sign } x'_1(i+1) = \text{sign } x'(i)$, то направление действия активных сил в t_{i+1} сохраняется и превосходит действие сил трения. В этом случае результаты расчета $x(i+1) = x_1(i+1)$ и $x'(i+1) = x'_1(i+1)$ соответствуют реальности и являются окончательными. Расчет проводят для следующего момента t_{i+2} с начальными условиями $x(i+1)$ и $x'(i+1)$ и т. д.

Если при проверке предварительных результатов $\text{sign } x'_1(i+1) \neq \text{sign } x'(i)$, то в интервале времени t_{i+1} , t_i направление смещения тел изменилось, что возможно, если действие активных сил изменило направление либо стало меньше сил трения. Для определения причины такого

изменения проводят расчет возможного смещения под действием только активных сил ха без учета силы трения, решая уравнение

$$mx_a''(i+1) + c[x(i+1) - x_0(i+1)] = 0.$$

Если найденная скорость x'_a без учета сил трения совпадает по направлению с заданным предыдущем направлением $\text{sign } x'_a(i+1) = \text{sign } x'(i)$, то полученное изменение направления смещения x'_1 произошло под действием силы трения, что физически невозможно. Следовательно, проскальзывание на данном шаге отсутствует: $x(i+1) = x(i)$ и $x'(i+1) = 0$. На данном шаге система находится в зоне анкилоза.

Если $\text{sign } x'_a(i+1) \neq \text{sign } x'(i)$, то новое направление смещения под действием активных сил с трением и при его отсутствии совпадает и направлено в противоположную сторону. Величина смещения на данном шаге должна быть пересчитана в соответствии с уравнением

$$mx_1''(i+1) + c[x(i+1) - x_0(i+1)] + \mu N \text{sign } x'_a(i+1) = 0,$$

которое равносильно уравнению

$$mx''(i+1) + c[x(i+1) - x_0(i+1)] + \mu N \text{sign } x'(i) = 0.$$

Полученные значения $x(i+1)$ и $x'(i+1)$ являются окончательным результатом решения для t_{i+1} .

На рис. 4 приведены графики расчета по рассмотренной методике с выделением расчетной зоны анкилоза.

Приведенный логический метод, несущественно усложняя программу вычислений, увеличивает время счета на доли процента, позволяя избежать появления паразитных колебаний. ■

Литература

1. Челноков, И. И. Гасители колебаний вагонов / И. И. Челноков, Б. И. Вишняков, В. М. Гарбузов, А. А. Эстлинг. — М.: Трансжелдориздат, 1963. — 200 с.
2. Бороненко, Ю. П. Вклад профессора И. И. Челнокова в создание гасителей колебаний, системы их ремонта и технического обслуживания на отечественных железных дорогах / Ю. П. Бороненко, Т. М. Белгородцева, Г. М. Левит // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. Материалы XIV Междунар. науч.-технич. конференции. Санкт-Петербург, 9–12 июля 2019 г. — СПб.: ФГБОУ ВО Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 2019.
3. Соколов, М. М. Гасители колебаний подвижного состава / М. М. Соколов, В. И. Варавва, Г. М. Левит. — М.: Транспорт, 1985. — 216 с.
4. Анисимов, П. С. Исследование сил трения в клиновом гасителе колебаний тележки ЦНИИ-ХЗ / П. С. Анисимов. — М.: Транспорт, 1974. — 191 с. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. Вып. 519.)
5. Ромен, Ю. С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Метод расчета и испытаний / Ю. С. Ромен. — М.: ВМГ-Принт, 2014. — 210 с.
6. Моделирование системы колесо-рельс // Железные дороги мира: Науч.-технич. журнал / МПС. — М.: ИНТЕКСТ, 2005. — № 2. — С. 45–52. (Iwnicki, S. D. Simulation tools for railway vehicle track systems / S. D. Iwnicki // Glassers Annalen. — 2004. — N4. — P. 140–149.)

Обзор существующих установок автоматизированного бесконтактного измерения геометрических параметров колесных пар



А. С. Ададулов,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)



И. Ю. Савельев,
главный инженер
ООО «ВНИИЖТ-ИНЖИНИРИНГ»

Степень применения на железнодорожном транспорте Российской Федерации электронных приборов для измерения характеристик колесных пар пока не так велика. Анализ преимуществ и недостатков используемых систем поможет развитию отечественного приборостроения в данной сфере.

В XXI в. в большинстве случаев на железных дорогах колеи 1520 мм для контроля за геометрическими параметрами, степенью износа колесных пар локомотивов, вагонов и мотор-вагонного подвижного состава применяют механические ручные средства измерений, такие как шаблоны, скобы, иные средства допускового контроля.

Любые ручные средства измерений способствуют неконтролируемому прогрессированию «человеческого фактора», который в случае оценки взаимодействия в системе «человек–техника» является детерминантом точностных характеристик объекта измерений — колесной пары. Метрологические характеристики механических средств измерений не самые лучшие, что связано с конструктивными особенностями механики самих приборов.

Одна из альтернатив в данной связи — использование электронных приборов, которые способны достигать улучшения точностных метрологических характеристик в несколько раз. Существует ряд приборов и устройств для обеспечения оперативного высокоточного контроля элементов профиля катания колесных пар, а именно для измерения проката, толщины и высоты гребня колеса, толщины бандажа или обода колеса, режы диаметра колесных пар. При этом большинство подобных приборов и устройств имеют индивидуальные конструкционные особенности, которые ограничивают универсальное их применение на разных

типах подвижного состава колеи 1520 мм: локомотивах, вагонах, мотор-вагонном и специальном подвижном составе.

Главным положительным эффектом от применения электронных средств измерений является возможность проведения измерений непосредственно на подвижном составе без выкатки колесных пар, что позволяет сократить время на контроль его технического состояния.

Электронные измерительные приборы обладают и рядом недостатков, например полностью или частично контактным способом измерений, который предполагает предварительную подготовку поверхности катания колеса. Из-за специфики разного подвижного состава также возникают трудности использования контактных измерительных приборов, применение которых в некоторых случаях возможно только на специализированных смотровых канавах ремонтных депо. Данные недостатки электронных приборов, а также их дороговизна не позволяют полностью заменить привычные механические средства измерений и исключить «человеческий фактор» при контроле геометрических параметров колесных пар.

Были проведены исследования с целью выработки обоснованных рекомендаций по конструированию измерительных приборов, обеспечивающих работу с гарантированной точностью измерений [1, 2], которые накладывают существенные ограничения как на размеры проектируемых приборов, так и на способы их применения в реальных условиях эксплуатации. Кроме того, с ноября

2021 г. вступил в силу ГОСТ 34709–2021 «Стационарные средства диагностики железнодорожного подвижного состава на ходу поезда. Общие технические требования» [3], который также определяет требования к проектированию подобного рода систем.

В целом можно сделать вывод о том, что на точность измерений параметров колесной пары при использовании электронных приборов в значительной степени влияет точность изготовления каждого индивидуального устройства, его сборки и настройки.

Существующие возможности электронных измерительных приборов предусматривают длительное хранение в независимой памяти самого устройства измеренных параметров, передачу в базу данных на персональный компьютер посредством использования стандартного последовательного порта. Специализированное программное обеспечение при неоднократном измерении позволяет осуществлять прогнозирование износа колес и формирование пользовательских отчетов.

Известны различные автоматические системы, внедренные на канадских и ряде европейских железных дорогах. Распространение на железных дорогах колеи 1520 мм получил лишь ограниченный ряд подобных разработок.

Широкое распространение на железных дорогах Германии Deutsche Bahn имеют системы Argus (рис. 1). В рамках реализации очередного этапа развития высокоскоростного движения в Российской Федерации (ст. Металлострой) был внедрен Комплекс автоматизированный для диагностики колесных пар на ходу Argus (текущее обозначение (обновленные версии) — Argus2.MM, Hegenscheidt-MFD GmbH, Германия, регистрационный № в ФИФ — 82361–21).

Argus2.MM предназначен для измерений геометрических параметров колесных пар, таких как высоты и толщины гребня, расстояние между внутренними гранями и диаметр колес. Принцип действия основан на бесконтактном измерении линейных размеров лазерными измерительными датчиками.

Результаты измерений, полученные с модулей и датчиков, поступают на персональный компьютер, где осуществляются их математическая обработка, вычисление значений требуемых геометрических параметров, их анализ и вывод на монитор. Конструкция является модульной, что позволяет реализовывать



Рис. 1. Общий вид и основные характеристики системы Argus

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений высоты гребня колес, мм	от 23 до 40
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений высоты гребня колес, мм	± 0,10
Диапазон измерений толщины гребня колес, мм	от 23 до 35
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины гребня колес, мм	± 0,10
Диапазон измерений расстояния между внутренними торцами (гранями) ободьев колес, мм	от 1430 до 1448
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений расстояния между внутренними торцами (гранями) ободьев колес, мм	± 0,10



Рис. 2. Общий вид и основные характеристики системы «Комплекс»

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений толщины гребня, мм	от 20 до 33
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины гребня, мм	± 0,5
Диапазон измерений толщины обода, мм	от 18 до 80
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины обода, мм	± 0,5
Диапазон измерений разности толщин гребней в колесной паре, мм	от 0 до 15
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений разности толщин гребней в колесной паре, мм	± 0,5

функционал комплекса частично.

Такая система применяется исключительно для контроля состояния колесных пар на высокоскоростных электропоездах «Сапсан», располагается в отдельном специально возведенном для данной цели здании, что существенно затрудняет ее тиражирование на других объектах железнодорожной инфраструктуры. При этом большим преимуществом комплекса является высокая точность измеряемых параметров; к недостаткам, по нашему мнению, относятся ограничение скорости контролируемого подвижного состава — не более 10 км/ч, а также ограниченное количество геометрических параметров колесных пар.

Широкое применение около 10 лет назад на сети железных дорог Российской Федерации получили Комплексы автоматического контроля геометрических параметров колесных пар локомотивов «Комплекс-Л» (ООО «Сибирский центр транспортных технологий» ЦТТ, Россия, г. Новосибирск, регистрационный № в ФИФ — 40151–08) и Комплексы автоматизированные диагностические для измерений геометрических параметров колесных пар вагонов «Комплекс» (ООО «Сибирский центр транспортных технологий» ЦТТ, Россия, г. Новосибирск, регистрационный № в ФИФ — 60686–15) [4, 5].

Данные комплексы предназначены

для измерений геометрических параметров колесных пар локомотивов/вагонов, выявления степени их износа и дефектов, регистрации неисправностей. В основе технического решения по контролю геометрических параметров колесной пары положен принцип самосканирования колес с использованием набора активных лазерных дальнометров.

Преимуществом комплексов является заявленная линейная скорость движения подвижного состава при контроле до 60 км/ч. К недостаткам относятся ограничение применения системного программного обеспечения на платформе операционной системы Windows NT, которая уже давно потеряла свою актуальность, а также сложность процедуры проверки при воспроизведении расстояния между внутренними гранями ободьев цельнокатаных колес колесных пар грузовых вагонов.

Известны Комплексы цифровые диагностические для измерений геометрических параметров колесных пар подвижного состава «Комплекс-2» (ООО «ТрансТех», Россия, г. Новосибирск, регистрационный № в ФИФ — 51182–12). Они предназначены для измерений геометрических параметров цельнокатаных колес, выявления степени износа, регистрации неисправностей колесных пар (рис. 2). В основе технического решения по контро-

олю геометрических параметров колесной пары положен принцип самосканирования колес с использованием набора активных измерительных датчиков.

Принцип действия, описание и общий вид практически повторяют ранее обозначенный Комплекс автоматизированный диагностический для измерений геометрических параметров колесных пар вагонов «Комплекс», различия присутствуют лишь в ограниченном наборе измеряемых параметров.

Преимуществом комплексов также является заявленная линейная скорость перемещения колесной пары до 60 км/ч, недостатком — ограничение применения системного программного обеспечения на платформе неактуальных операционных систем Windows, которые уже давно не поддерживаются и не обновляются разработчиком, а новые лицензии данного системного программного обеспечения не поставляются, особенно с учетом мировой ситуации, которая началась в феврале 2022 г.

Существуют и более новые Комплексы цифровые диагностические для измерений геометрических параметров колесных пар подвижного состава «Комплекс-2 КОНЛОК» (ООО «НПП «Когерент», Россия, г. Рязань, регистрационный № в ФИФ — 82914–21). Комплексы предназначены для проведения измерений геометрических параметров цельнокатаных колес бесконтактным способом: толщина гребня и обода [6].

В основе технического решения по измерению геометрических параметров колесной пары в движении лежит принцип бесконтактного измерения линейных размеров прецизионными лазерными датчиками. Конструкция является частично модульной, что позволяет реализовывать различный дополнительный функционал комплекса.

В составе устройства применяются цифровые оптические датчики и датчики синхронизации, измерительная информация от которых в виде аналоговых сигналов поступает на вход плат АЦП электронно-вычислительной машины. После передачи информации в программное обеспечение управляющей электронно-вычислительной машины (ЭВМ) производится вычисление отношения разности сигналов с двух каналов АЦП к их сумме и по известным коэффициентам находится координата контролируемой поверхности в системе отсчета колеса. Затем определяются координаты колеса в системе отсчета самого комплекса.

Далее после параллельной обработки информации со всех датчиков вычисляются необходимые геометрические параметры колеса.

Преимуществом комплексов является заявленная линейная скорость перемещения колесной пары при проведении измерений до 60 км/ч, недостатком — крайне ограниченный набор измеряемых геометрических параметров колесных пар.

Кроме того на рынке представлены обновленные Комплексы цифровые диагностические для измерений геометрических параметров колесных пар подвижного состава «Комплекс-2С» (ООО «ТрансТех», Россия, г. Новосибирск, регистрационный № в ФИФ — 82001–21). Устройства предназначены для измерений геометрических параметров цельнокатаных колес электропоездов, выявления степени износа, регистрации неисправностей колесных пар.

Принцип действия, как и в ранней модели, основан на самосканировании колес с использованием набора активных измерительных датчиков. И принцип действия, и общий вид повторяют раннюю модель производителя и ранее обозначенный Комплекс автоматизированный диагностический для измерений геометрических параметров колесных пар вагонов «Комплекс» (ООО «Сибирский центр транспортных технологий» ЦТТ, Россия, г. Новосибирск, регистрационный № в ФИФ — 60686–15). Различия есть в расширенном наборе измеряемых параметров и изменении средств проверки.

Информация о скорости движения подвижного состава при проведении измерений, а также с применяемой операционной системе в открытых источниках на момент публикации отсутствует. Безусловным преимуществом комплексов является возросшее количество измеряемых параметров. К недостаткам относятся сложность процедуры проверки при воспроизведении расстояния между внутренними гранями цельнокатаных колес, как и в случае с разработкой ООО «Сибирский центр транспортных технологий» (регистрационный № в ФИФ — 60686–150), а также уменьшение диапазонов измеряемых параметров.

Отличительная особенность комплекса — приведение метрологических характеристик для серии из 10 измерений (с доверительной вероятностью 0,95), что может быть реализовано на практике при

измерении геометрических параметров колесных пар на коротких кольцевых маршрутах. Данная особенность комплекса позволяет уменьшить пределы допускаемой абсолютной погрешности серии из 10 измерений от 20 до 60 %.

Последнее из рассматриваемых и самое новое средство измерений — Установка автоматизированного бесконтактного измерения геометрических параметров подвагонного пространства «ГЕПАРД» (ООО НПО «Квант» и ООО «ВНИИЖТ-Инжиниринг», Россия, г. Санкт-Петербург, регистрационный № в ФИФ — 84002–21) [7].

Установка предназначена для проведения бесконтактных измерений геометрических параметров подвагонного пространства, в том числе цельнокатаных колес грузовых и пассажирских вагонов, локомотивов, вагонов электро- и дизель-поездов, специального железнодорожного подвижного состава, а также бандажей локомотивов, вагонов электро- и дизель-поездов, специального подвижного состава, вагонов метрополитена и колесных катаных центров для колесных пар локомотивов в движении в автоматическом режиме, регистрации показаний и отображения результатов измерений и расчетных величин.

Принцип действия установки заключается в следующем: просвет лазером профиля измеряемого объекта подвагонного пространства (колеса), размещенного в момент измерения в рабочей зоне лазерных датчиков установок, передается в аналогово-цифровой преобразователь. Выходные сигналы датчиков преобразуются в цифровые коды с последующим вычислением в управляющей ЭВМ. Результаты измерений обрабатываются, сохраняются и архивируются в управляющей ЭВМ, а также отображаются в интерфейсе автоматизированного рабочего места.

Исходя из описания установки, можно сделать вывод о наиболее широком типе контролируемого подвижного состава. Конструкция установки является модульной и позволяет применять ее как для разного типа подвижного состава, так и с применением различных функциональных особенностей.

Конкурентными преимуществами установки являются заявленная линейная скорость перемещения объекта измерения до 120 км/ч, а также достойные показатели точности измеряемых величин. Кроме того, к ним можно отнести тот факт, что установка проектировалась, учитывая рекоммендации ГОСТ 34709–



Рис. 3. Общий вид и основные характеристики системы «ГЕПАРД»

Контролируемые величины	Значения
1. Расстояния между внутренними поверхностями ободьев колес или граней бандажей, мм	1435-1445
2. Ширина обода колеса или бандажа колесной пары, мм	125-140
3. Уширение колеса или бандажа, мм	0-7
4. Прокат по кругу катания, мм	0-9
5. Кольцевые выработки на поверхности катания у основания гребня, глубина «А», мм	0-3
6. Кольцевые выработки на поверхности катания на конусности 1:3,5, глубина «Б», мм	0-4
7. Кольцевые выработки на поверхности катания, ширина «В», мм	0-20
8. Остроконечный накат на гребне, мм	0-4
9. Вертикальный подрез гребня, мм	0-4
10. Разность толщин гребней в одной колесной паре, мм	0-5
11. Разность диаметров по кругу катания колес или бандажей в одной колесной паре, мм	0-6
12. Разность прокатов по кругу катания в одной колесной паре, мм	0-4

2021. Одновременно к преимуществам и недостаткам установки относится возможность контроля величин большого количества дополнительно заявленных геометрических параметров, которые не являются измеряемыми.

С 2021 г. установка «ГЕПАРД» (рис. 3) эксплуатируется в мотор-вагонном депо Новоалтайск.

Основные параметры, которые фиксируются установкой, — это толщина гребня (на расстоянии 18 или 20 мм от вершины) с погрешностью 20–40 мм \pm 0,2, высота гребня 20–45 мм \pm 0,2, крутизна гребня 1–16 мм \pm 0,2, толщина обода колеса или бандажа 20–100 мм \pm 0,5, диаметр по кругу катания колеса или бандажа 799–1261 мм \pm 0,5.

При монтаже подобных установок обычно допускаются разрезание рельса и размещение лазеров непосредственно под его подошву, как, например, сделано в депо Металлострой при заходе Сапанов. Однако в рассматриваемом случае такой монтаж был невозможен по причине расположения установки непосредственно около стыка двух типов рельсов Р50 и Р65.

Стоит отметить, что на показания, измеряемые установкой, также влияли и факт прогиба рельса в месте стыка, и, естественно, смещение колеса электропоезда, что недопустимо и описано в условиях выбора места для монтажа подобных установок. ГОСТ 34709–2021 на момент введения в эксплуатацию «ГЕПАРДа» не действовал, но специалисты разработчика смогли расположить лазеры нужным образом и дописать математический аппарат, что позволило установке выйти на заданные параметры.

Также интересным моментом при эксплуатации устройства стал тот факт, что сотрудники депо неоднократно производили слив технологической воды в непосредственной близости от уста-

новки. Это, безусловно, говорит о достаточной надежности спроектированных решений. В заключение отметим, что от депо поступило предложение расширить функционал системы «ГЕПАРД» в части поиска дефектов поверхности катания. При этом скорость прохождения поезда через систему не превышает 10 км/ч.

На основании рассмотренных данных можно однозначно увидеть некоторую цикличность в активизации разработок новых систем и устройств автоматического контроля колесных пар на ходу поезда в течение 10 лет. Последний пик новых разработок пришелся на 2021 г., что позволило создать определенную конкуренцию среди производителей подобного измерительного оборудования.

Данная тенденция позволяет судить об актуальности настоящей тематики для железных дорог колеи 1520 мм, а конкурентная среда подталкивает рынок к дальнейшему развитию комплексных измерительных систем с дополнительным функционалом. Стоит отметить также широкую географию производителей систем как в мире, так и на территории пространства железных дорог колеи 1520 мм.

Делая выводы о существующих автоматических бесконтактных системах контроля геометрических параметров колесных пар на ходу поезда, можно с уверенностью отметить отсутствие универсального проверенного временем средства измерений для применения на любом типе подвижного состава с учетом опыта реальной эксплуатации и интерпретации результатов измерений. Основная часть данных систем имеет ограничения как по типу подвижного состава, так и по техническим характеристикам: скорость, количество параметров, диапазоны и погрешность измерений. Такие системы являются сложными опико-электронными измерительными приборами, требующими постоянного

системного метрологического контроля. Устройства выполняют свои функции в тяжелых условиях эксплуатации, что обязывает их владельцев проводить своевременное и полное регламентное техническое обслуживание, а это, в свою очередь, удорожает жизненный цикл самой продукции.

Стоит отметить, что развитие отрасли не стоит на месте, и уже сейчас существуют явные лидеры в необходимых наработках, в том числе среди предприятий РФ. Но для однозначного вывода о целесообразности использования того или иного представленного на рынке технического решения было бы целесообразным проведение подконтрольной эксплуатации в реальных условиях на едином испытательном полигоне различных систем. ■

Литература

- Буйносов, А. П. Новый измерительный прибор / А. П. Буйносов, И. С. Цихалевский, М. Н. Трофимов // Локомотив. — 1998. — № 6. — С. 40–41.
- Буйносов, А. П. Разработка и аппаратная реализация прибора для измерения геометрических параметров бандажей колесных пар / А. П. Буйносов // Транспорт Урала. — 2010. — № 3. — С. 64–68.
- ГОСТ 34709–2021. Стационарные средства диагностики железнодорожного подвижного состава на ходу поезда. Общие технические требования. — М.: Стандартинформ, 2021. — 17 с.
- Репин, М. Ю. Анализ приборов и устройств для контроля геометрических параметров бандажей колесных пар локомотивов / М. Ю. Репин // Научные революции: сущность и роль в развитии науки и техники. Сб. статей Междунар. науч.-практ. конференции. — 2018. — Ч. 2. — С. 107–112.
- Комиссаров, А. Ф. Автоматизированный диагностический комплекс для измерения геометрических параметров колесных пар / А. Ф. Комиссаров // Вагоны и вагонное хозяйство. — 2011. — № 3. — С. 14–15.
- Установка измерения геометрических параметров колес локомотивов в движении «КОНЛОК». — URL: <http://kogerent.ru/konlok> (дата обращения: 13 декабря 2021 г.).
- Разработка, проектирование и производство высокотехнологичных решений для применения в структурах РЖД. — URL: <http://npo-kvant.ru/complex> (17 июня 2022 г.).

Оценка прочности, устойчивости и выносливости балок из высокопрочных материалов



И. О. Морозова,
научный сотрудник
отдела грузовых вагонов
научно-исследовательско-
го бюро АО «НВЦ «Вагоны»

Высокопрочные стали широко применяются при изготовлении различных агрегатов, работающих в тяжелых условиях: грузоподъемных машин и механизмов, горного оборудования, авто- и авиатранспорта. Использование высокопрочных материалов в вагоностроении позволит снизить вес тары вагона, повысить грузоподъемность, сократить расходы на тягу и увеличить погонную нагрузку нетто.

При проектировании вагонов с использованием высокопрочных сталей не удается добиться значительного снижения коэффициента тары, так как основным критерием, определяющим массу тары вагона, является усталостная прочность сварного соединения [1, 2].

При оценке усталостной прочности конструкций из высокопрочных сталей по ГОСТ 33211–2014 [3] величина предела выносливости материала однозначно задана и не зависит от марки материала в отличие от среднего значения предела выносливости гладкого стандартного образца σ_{-1} из материала детали, которые приведены в «Нормах для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [4]. Согласно документу, следует, что в результате зависимости σ_{-1} от прочности основного металла при повышении прочности конструкционной стали предел выносливости тоже должен увеличиваться.

Однако в [5] указывается, что для необработанных сварных соединений конструкционных сталей классов с пределом прочности σ_b от 400 до 900 МПа значение предела выносливости $\sigma_{a,N}$ не зависит от величины σ_b , т. е. для сварной конструкции из малоуглеродистой стали с пределом прочности до 400 МПа и высокопрочной стали сопротивление малоциклового усталости сварных соединений будет примерно одинаковым [6, 7].

В соответствии с «Нормами...» [4] расчетное значение предела выносливости сварного шва балки определяется по формуле

$$\sigma_{a,N} = \frac{\sigma_{-1}}{(\bar{K}_\sigma)_k} \cdot (1 - z_p \cdot v_{\sigma_{a,N}}), \quad (1)$$

где z_p — квантиль распределения, соответствующий односторонней вероятности P , согласно

«Нормам...» [4], $P = 0,95$ и $z_p = 1,645$;

$v_{\sigma_{a,N}}$ — коэффициент вариации предела выносливости детали (для сварных рам и балок из фасонного проката при полуавтоматической и ручной сварках $v_{\sigma_{a,N}} = 0,07$);

σ_{-1} — среднее (медианное) значение предела выносливости гладкого стандартного образца, $\sigma_{-1} \approx 0,50 \cdot \sigma_b = 365$ МПа;

$(K_\sigma)_k$ — среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости сварной балки по отношению к пределу выносливости гладкого стандартного образца принято $(K_\sigma)_k = 2,4$ (для балки, сваренной двусторонними прямыми поперечными стыковыми швами, в зоне сварного шва). Подставив данные в формулу (1), получим $v_{\sigma_{a,N}} = 135$ МПа.

По ГОСТ 33211–2014 [3] предел выносливости по амплитуде $v_{\sigma_{a,N}}$, МПа, для сварных составных частей несущих конструкций расчетным способом определяют по выражению

$$\sigma_{a,N} = \frac{\sigma_m}{K_\sigma}, \quad (2)$$

здесь σ_m — значение предела выносливости базового материала (листа, проката) при базовом числе циклов и $N_0 = 107$ односторонней вероятной вероятности 95 % принимают = 47 МПа для стали;

K_σ — коэффициент снижения предела выносливости, определяемый для различных типов сварных соединений, принят $K_\sigma = 2$ (двусторонний шов с полным проплавлением, без механической обработки поверхности, без неразрушающего контроля). Подставив данные в формулу (2), получим $v_{\sigma_{a,N}} = 23,5$ МПа.

В соответствии с требованиями ГОСТ 25.507–85 [8] для аппроксимации кривой усталости используют двухпараметрическое уравнение

$$\sigma_a^m \cdot N = \text{const}, \quad (3)$$

в котором σ_a — амплитуда напряжений цикла по ГОСТ 23207–78 [9] (наибольшее числовое поло-



Рис. 1. Модельный образец балки из стали 30ХГСА с поперечным сварным швом

жительное значение переменной составляющей цикла напряжений),

N — циклическая долговечность,

m — показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах.

Значения m колеблются в значительных пределах в зависимости от свойств материала, формы детали и коэффициента асимметрии цикла. При коэффициенте асимметрии, равным -1 у гладких образцов, $m = 8-15$; у деталей с концентраторами напряжений $m = 3-8$ [10].

В соответствии с «Нормами...» [4] для вагонных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей для сварных конструкций из проката без упрочняющей обработки швов показатель $m = 4$. По ГОСТ 33211–2014 [3] показатель степени первой ветви кривой выносливости для сварных соединений принимают равным $m = 3$.

С целью уменьшения времени экспериментальной проверки усталостной прочности модельных образцов значение амплитуды напряжений цикла для проведения эксперимента было принято 150 МПа. Подставив данные в формулу (3), получим расчетное число циклов до разрушения:

- по ГОСТ 33211–2014 [3] $N_c = 38453$ цикла (при частоте 5 Гц, время эксперимента составит 2 ч);

- по «Нормам...» [4] $N_c = 6,5 \cdot 10^6$ циклов (при частоте 5 Гц, время эксперимента составит 365 ч (15 суток)).

Модельный образец является широкополым двутавром с тонкой стенкой; у таких балок при наличии больших перерезывающих сил первые пластические

деформации возникают в стенке от действия касательных напряжений. При этом практически сразу вся стенка переходит в предельное состояние, прогибы балки начинают резко расти. Указанную ситуацию следует трактовать как предельную.

Согласно [11], предельное значение перерезывающей силы определяется по формуле

$$N \approx \frac{1}{2} \cdot \sigma_T \cdot F_c, \quad (4)$$

где σ_T — предел текучести стали 30ХГСА,

$\sigma_T = 590$ МПа, принят в соответствии с сертификатом качества на листовую прокат;

F_c — площадь сечения стенки, $F_c = 540$ мм².

Подставив данные в формулу (4), получим предельное значение перерезывающей силы 160 кН.

Для экспериментального подтверждения результатов расчетов были изготовлены модельные образцы балок двутаврового сечения, выполненные из высокопрочной стали 30ХГСА, в двух вариантах исполнения: с поперечным сварным швом и болтовым соединением, с использованием самостопорящихся гаек фирмы Flaig+Hommel.

Необходимо отметить, что модельные образцы являются тонколистовыми конструкциями, и для уменьшения внутренних напряжений сварного соединения был обеспечен предварительный подогрев кромок металла до 250–300 °С, с последующей термообработкой при температуре 300 °С. Чтобы не допустить усадочные деформации и коробление сварного соединения, были применены сварочные кондукторы в количестве 12 шт.

После изготовления модельного образца с поперечным сварным швом была оценена его геометрия с помощью портативной координатно-измерительной машины SimCore 7530. Результаты измерений показали, что максимальные отклонения от плоскостности, перпендикулярности полок и стенки составили не более 4 мм при отсутствии пропеллерности, что свидетельствует об удовлетворительном качестве изготовления модельного образца.

Испытания балок проходили в несколько этапов. На первом оценивалась несущая способность модельных образцов с разными видами соединения на стенде DynaSet-2000. Нагрузка прикладывалась ступенями, максимальная статическая нагрузка до потери несущей способности составила: 30 тс (294 кН) — для модельного образца с болтовым соединением, 27 тс (264 кН) — для модельного образца со сварным соединением. Максимальные напряжения в модельных образцах были зафиксированы на верхней полке: 396 МПа — для образца с болтовым соединением, 565 МПа — для образца со сварным соединением. Полученные напряжения не превысили предел текучести $\sigma_T = 590$ МПа стали 30ХГСА.

По результатам прочностных испытаний до момента потери несущей способности конструкция модельных образцов была дополнена 4 ребрами жесткости в центральной части. На рис. 1 изображен модельный образец с поперечным сварным швом, на рис. 2 — с болтовым соединением с использованием самостопорящихся гаек фирмы Flaig+Hommel.



Рис. 2. Модельный образец балки из стали 30ХГСА с болтовым соединением

На втором этапе проводились испытания на прочность и выносливость модельного образца балки из высокопрочной стали с поперечным сварным швом. На рис. 1 модельный образец установлен в испытательной машине (пульсаторе) НВ-250 (Zwick GmbH & Co.KG). Перед проведением испытаний на выносливость образец был нагружен статической нагрузкой ступенями до 4 тс (40 кН). Максимальные напряжения возникли в нижней части стенки модельного образца и составили 92 МПа.

Далее проводились усталостные испытания с асимметричным циклом, коэффициент асимметрии — 0,1, максимальная нагрузка — 40 кН, минимальная — 4 кН, частота — 5 Гц. Результаты испытаний показали, что число циклов до образования трещины в верхнем поясе балки в месте приложения нагрузки составило $1,9 \cdot 10^6$ циклов, что превышает расчетное количество циклов $N_c = 38453$ в соответствии с требованиями ГОСТ 33211–2014 [3].

После заварки трещины на верхнем поясе модельного образца испытания будут продолжены до возникновения усталостной трещины в сварном шве или до достижения расчетного числа циклов $N_c = 6,5 \cdot 10^6$ в соответствии с требованиями «Норм...» [4]. В дальнейшем планируются проведение испытаний на сопротивление усталости модельного образца с болтовым соединением (рис. 2) и сравнение полученных результатов.

Выводы:

1) применение высокопрочных сталей является перспективным направлением совершенствования вагонов, позволяющим снизить вес их тары;

2) вопросы устойчивости конструкций из тонких листов высокопрочной стали решаются установкой подкрепляющих элементов;

3) основной проблемой, препятствующей применению высокопрочных сталей в вагоностроении, является низкий уровень предела выносливости, назначаемый ГОСТ 33211–2014;

4) проведенные испытания опытного образца балки из высокопрочной стали со сварным соединением показали, что число циклов до его разрушения почти в 50 раз превышает расчетное значение числа циклов до разрушения по ГОСТ 33211–2014;

5) для широкого применения высокопрочных сталей в вагоностроении необходимо провести экспериментальное определение пределов выносливости их сварных соединений на основе натуральных испытаний, что позволит учесть фактические значения механических свойств материалов при проектировании.. ■

Литература

1. Бороненко, Ю. П. Использование высокопрочных сталей в вагоностроении / Ю. П. Бороненко, И. О. Филиппова // Транспорт Российской Федерации. — 2015. — № 3(58). — С. 16–19.
2. Бороненко, Ю. П. Выбор конструктивных решений элементов вагонов с малой массой тары / Ю. П. Бороненко, И. О. Филиппова // Наука та прогрес транспорту. — 2017. — № 3(69). — С. 121–129. — <https://doi.org/10.15802/stp2017/104546>
3. ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. — М.: Стандартинформ, 2016 г. — 54 с.

4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 317 с.

5. Хоббахер, А. Рекомендации IIW по расчету на усталость сварных соединений и компонентов / А. Хоббахер // Бюллетень WRC520. Исследовательский совет по сварке. — Нью-Йорк, 2009.

6. Бороненко, Ю. П. Стратегические задачи вагоностроителей в развитии тяжеловесного движения / Ю. П. Бороненко // Транспорт Российской Федерации. — 2013. — № 5(48). — С. 68–73. — EDN RSSCGN.

7. Лобанов, Л. М. Расчет на усталость сварных соединений несущих элементов тележки грузового вагона / Л. М. Лобанов, О. В. Махненко, Г. Ю. Сапрыкина, А. Д. Пустовой // Автоматическая сварка. — 2014. — № 10(737). — С. 36–42. — EDN TDMVBX.

8. ГОСТ 25.507–85. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы испытания на усталость при эксплуатационных режимах нагружения. — Сб. стандартов. — М.: Стандартинформ, 2005.

9. ГОСТ 23207–78. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения. — М.: Изд-во стандартов, 1981 г. — 48 с.

10. Орлов, П. И. Основы конструирования: справ.-метод. пособие. В 2-х кн. Кн. 1. / П. И. Орлов. — М.: Машиностроение, 1988. — 560 с.

11. Бойцов, Г. В. Справочник по строительной механике корабля. В 3х т. Том 1: Общие понятия. Стержни. Стержневые системы и перекрытия / Г. В. Бойцов, О. М. Палий, В. А. Постнов, В. С. Чувиковский. — Л.: Судостроение, 1982. — 376 с.

Гидрообъемная трансмиссия на основе шестеренных гидромашин



О. В. Ворожцов,
канд. техн. наук, доцент,
исполняющий обязанности
заведующего кафедры «Автомобильный транспорт»
Института инженерных наук
Псковского государственного университета
(ПсковГУ)



Е. А. Селезнев,
старший преподаватель
кафедры «Автомобильный транспорт»
Института инженерных наук ПсковГУ

Гидрообъемная трансмиссия применяется в составе транспортных средств, где механические передачи являются менее рациональными с точки зрения подвода и трансформации потока мощности от двигателя к рабочим органам. Такая трансмиссия широко применяется в составе самоходных строительно-дорожных, сельскохозяйственных и специальных коммунальных машин.

Применение полнопоточных гидрообъемных трансмиссий (ГОТ), где вся мощность двигателя передается к ведущим колесам транспортного средства за счет гидравлической энергии рабочей жидкости, позволяет реализовать регулируемый подвод мощности к каждому колесу независимо от его расстояния до силовой установки и расположения на транспортном средстве. При этом мощность двигателя используется наиболее эффективно, снижается потребление топлива [1]. Вместе с тем, ГОТ в сравнении с механическими передачами более сложны и трудоемки в производстве, имеют более низкий коэффициент полезного действия (КПД), что накладывает определенные ограничения на их применение.

Цель исследования — возможность понижения производственных и эксплуатационных затрат ГОТ транспортных средств за счет использования в их структуре шестеренных гидромашин с сохранением объемного способа регулирования.

Выбор ГОТ для применения в составе трансмиссии транспортного средства основан на следующих утверждениях [1]:

- поток мощности передается от двигателя к ведущим колесам без разрыва, пиков и спадов, что обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик транспортного средства (плавное движение даже на малых скоростях, на мягких грунтах, снижение разрушающего воздействия на почву, удобство управления);

- удобство установки на транспортном средстве (элементы ГОТ не связаны взаимным расположением), небольшие габариты, отсутствие коробки передач и механизма сцепления;

- простота организации любого вида движения (вперед и назад, разворот вплоть до вращения транспортного средства вокруг своей оси), возможность привода усилителя рулевого управления или навесного оборудования от одного источника гидравлической энергии, простота обслуживания в процессе эксплуатации.

Построение классической ГОТ основано на следующем [2]:

- применение замкнутой системы циркуляции рабочей жидкости, что снижает ее объем и обеспечивает подпор на входе в насос, исключая такое явление, как кавитация. Однако возникают сложности с охлаждением рабочей жидкости (оно осуществляется частичным сливом с выходной гидролинии гидромотора) и ее фильтрацией;

- в состав ГОТ включают регулируемые и нерегулируемые аксиально- и радиально-поршневые гидромашин, что повышает требования к качеству и чистоте рабочей жидкости, а также оказывает влияние на стоимость устройства;

- для восполнения рабочей жидкости необходим насос подпитки (как правило, это шестеренный насос с внешним или внутренним зацеплением).

Для транспортных средств, используемых в различных отраслях народного хозяйства, существует множество видов работ, не требующих высоких энергетических показателей, например уборка тротуаров городских улиц и обочин дорог, работы в складских помещениях. Подобные виды работ предъявляют такие требования к транспортным средствам:

- минимальные габариты при сохранении требуемых энергетических показателей, увеличенный радиус поворота;
- возможность реверсивного движе-

ния при сохранении удобства управления и скоростных характеристик;

- наличие гидравлических точек подключения оборудования по периметру транспортного средства как по торцам, так и с боковых сторон для возможности использования навесного оборудования.

Применение в составе ГОТ шестеренных гидромашин позволит значительно снизить требования к качеству рабочей жидкости, приведет к упрощению и уменьшению стоимости устройства. Задачи, которые можно поставить при проектировании ГОТ на основе шестеренных гидромашин, следующие:

- применение разомкнутой схемы циркуляции рабочей жидкости, что упростит ее охлаждение и фильтрацию;
- разработка объемного способа регулирования шестеренных гидромашин, так как дроссельный способ ведет к значительному снижению КПД.

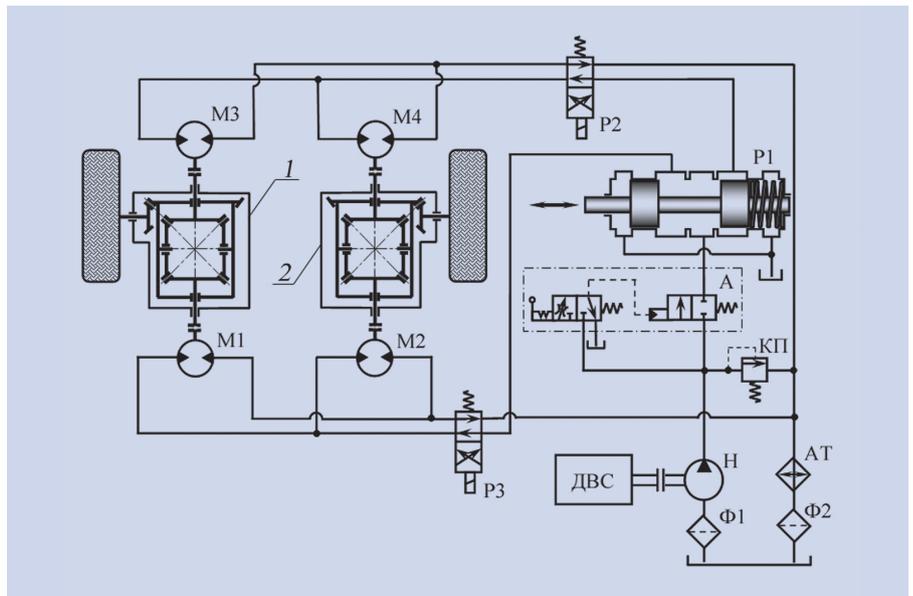
Шестеренные гидромашин не намного уступают поршневым гидромашин, а по ряду параметров превосходят их [3]. Они менее требовательны к таким параметрам как вязкость масла и тонкость фильтрации.

Объемный КПД современных шестеренных насосов достигает 95 %, общий — 90 % (для сравнения: объемный КПД аксиально-поршневых насосов достигает 96 %, общий — 93 %).

В настоящее время давление нагнетания шестеренных насосов достигает 28 МПа [4], ресурс современных шестеренных гидромашин, по утверждению завода-изготовителя, — 10 тыс. моточасов (например, насосы шестеренные «Bellar», серия ВН производства ЗАО «Строймашсервис») [5].

Единственной проблемой, ограничивающей применение шестеренных гидромашин в составе ГОТ, является невозможность объемного регулирования. Для гидропривода с шестеренными гидромашин, рабочий объем которых изменить в процессе работы невозможно, традиционно используют дроссельный способ регулирования, который имеет существенный недостаток — низкий КПД (как правило, не более 40 % [6]). Для применения шестеренных гидромашин, КПД которого будет удовлетворять условиям эксплуатации, необходим объемный способ регулирования. Он возможен, если:

- в составе ГОТ применяются для привода вращения одного ведущего колеса два шестеренных гидромотора с различными по величине рабочими объемами;



Гидравлическая схема гидрообъемной трансмиссии на основе шестеренных гидромашин:

Н — насос; М1, М2 — героторные гидромоторы; М3, М4 — шестеренные гидромоторы с внешним зацеплением; Р1 — пропорциональный распределитель; Р2, Р3 — направляющие распределители;

А — устройство плавного пуска; АТ — охладитель; Ф1, Ф2 — фильтры;

1, 2 — симметричные зубчатые дифференциалы с конической передачей

- рабочая жидкость от шестеренного насоса подается через один пропорциональный распределитель таким образом, что количество рабочей жидкости будет распределено между гидромоторами пропорционально положению золотника распределителя;

- валы гидромоторов соединены соосно с центральными зубчатыми колесами симметричного зубчатого дифференциала, выходной вал которого соосно соединен с ведущим колесом транспортного средства.

На выходном валу дифференциала получим регулирование частоты вращения в пределах от минимальных n_{\min} до максимальных n_{\max} оборотов вала:

$$n_{\min} = \frac{Q_n}{W_{M1} + W_{M2}}, \quad n_{\max} = \frac{Q_n}{W_{M3} + W_{M4}},$$

где Q_n — подача насоса;

W_{M1} , W_{M2} , W_{M3} , W_{M4} — рабочие объемы гидромоторов М1, М2, М3 и М4 соответственно (сумма рабочих объемов гидромоторов М1 и М2 будет больше суммы рабочих объемов гидромоторов М3 и М4).

В этом случае диапазон регулирования от n_{\min} до n_{\max} будет определен разностью рабочих объемов пар шестеренных гидромоторов, установленных на одном дифференциале. Схема ГОТ с шестеренными гидромашин приведена на рисунке.

Основным управляющим элементом гидропривода является распределитель Р1, золотник которого в исходном положении находится в крайнем левом поло-

жении. В этом случае рабочая жидкость от насоса Н при включении устройства плавного пуска А поступает к гидромоторам М1 и М2.

Золотник установлен таким образом, что небольшое проходное сечение в сторону движения жидкости к гидромоторам М3 и М4 необходимо для предотвращения резкого повышения давления при смещении золотника вправо. Направляющие распределители Р2 и Р3 предназначены для создания реверсного вращения гидромоторов.

При включении только распределителя Р3 возникает противовращение валов гидромоторов М1, М2 и М3, М4. Этим достигается возможность малых («ползущих») скоростей транспортного средства при определенном положении золотника распределителя Р1. В данном случае диапазон регулирования будет находиться в пределах от 0 до n_{\min} .

Подача рабочей жидкости Q_n от насоса распределяется пропорциональным распределителем Р1 в зависимости от положения золотника между группами гидромоторов:

$$Q_n = (Q_{M1} + Q_{M2}) + (Q_{M3} + Q_{M4}),$$

где Q_{M1} , Q_{M2} , Q_{M3} , Q_{M4} — количество рабочей жидкости, подводимой к гидромоторам М1, М2, М3 и М4 соответственно.

Количество рабочей жидкости Q_{M1} , подводимой к гидромотору через распределитель Р1, описывается общеизвестным уравнением [7]

$$Q_M = \mu_p S_0 \sqrt{\frac{2(p_H - p_M)}{\rho}}, \quad (1)$$

в котором μ_p — коэффициент расхода ($\mu_p = 0,72-0,74$); S_0 — кольцевая площадь проходного сечения распределителя P1; ρ ,

p_M — давление насоса и давление, подводимое к гидромотору, соответственно;

ρ — плотность рабочей жидкости.

Давление рабочей жидкости на входе в гидромотор определим по выражению

$$p_M = \frac{2\pi M_M}{W_M \eta_{M,M}}$$

Тогда количество рабочей жидкости, подводимой к парам гидромоторов M1 и M2, M3 и M4, с учетом формулы (1), будет рассчитано следующим образом:

$$Q_{M1} + Q_{M2} = \mu_p S_{0(1)} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(p_H - \frac{2\pi(M_{M1} + M_{M2})}{(W_{M1} + W_{M2})\eta_{M,M}} \right)}, \quad (2)$$

$$Q_{M3} + Q_{M4} = \mu_p S_{0(2)} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(p_H - \frac{2\pi(M_{M3} + M_{M4})}{(W_{M3} + W_{M4})\eta_{M,M}} \right)}, \quad (3)$$

В (2) и (3) $S_{0(1)}$ — проходное сечение распределителя P1 при течении рабочей жидкости к гидромоторам M1 и M2; $S_{0(2)}$ — проходное сечение распределителя P1 при течении рабочей жидкости к гидромоторам M3 и M4; M_{M1} , M_{M2} , M_{M3} , M_{M4} — крутящий момент на валах гидромоторов M1, M2, M3 и M4 соответственно; $\eta_{M,M}$ — механический КПД гидромоторов.

Учитывая, что при крайнем левом положении золотника распределителя P1 площадь проходного сечения $S_{0(2)} \approx 0$, расчет гидропривода будет происходить согласно такому положению: подача насоса определяет частоты вращения n_{M1} и n_{M2} валов гидромоторов M1 и M2, а подводимое к гидромоторам давление определяют по величине крутящего момента на валах гидромоторов. При прямолинейном движении транспортного средства

$$n_{M1} = n_{M2} = \frac{0,5Q_H}{W_{M1}} = \frac{0,5Q_H}{W_{M2}},$$

$$p_{M1} = p_{M2} = \frac{2\pi M_{M1}}{W_{M1}\eta_{M,M}} = \frac{2\pi M_{M2}}{W_{M2}\eta_{M,M}},$$

$$M_{M1} = M_{M2} = \frac{M_{к1}}{u_1} = \frac{M_{к2}}{u_2},$$

здесь $M_{к1}$, $M_{к2}$ — крутящий момент на ведущем колесе транспортного средства;

u_1 , u_2 — передаточное отношение конической передачи дифференциала.

Шестеренные гидромоторы с внешним зацеплением обладают низким пусковым моментом (0,3–0,4 от номиналь-

ного) и неустойчивым режимом работы на пониженных оборотах [8]. Поэтому в качестве стартовых гидромоторов M1 и M2 необходимо применить героторные гидромоторы, отличительными характеристиками которых являются:

- высокий стартовый крутящий момент и плавность хода, высокий КПД;
- стабильный крутящий момент даже при малых оборотах;
- за один оборот вала каждая рабочая камера приводит к всасыванию и нагнетанию рабочей жидкости несколько раз, что обеспечивает значительно больший рабочий объем в сравнении с шестеренными гидромоторами с внешним зацеплением.

Подбор шестеренных гидромоторов с внешним зацеплением M3 и M4 будет зависеть от наибольшей скорости V_{max} транспортного средства:

$$V_{max} = \omega_k R_k = \frac{\pi n_{к(max)} R_k}{30} = \frac{\pi n_{д(max)} u_{1(2)} R_k}{30},$$

$$n_{д(max)} = \frac{0,5Q_H}{W_{M3}} = \frac{0,5Q_H}{W_{M4}},$$

где ω_k , R_k — угловая скорость и радиус качения ведущих колес соответственно;

$n_{к(max)}$, $n_{д(max)}$ — наибольшая частота вращения колеса транспортного средства и конического колеса дифференциала соответственно.

Сила тяги транспортного средства определяется следующим выражением [9]:

$$P_k = \frac{M_k}{R_k} = \frac{M_e \omega_e \eta_{ГП}}{\omega_k},$$

в котором M_e , ω_e — крутящий момент и угловая скорость вала приводного двигателя,

$\eta_{ГП}$ — КПД гидрообъемной передачи.

Применение шестеренных гидромашин в составе ГОТ позволяет значительно уменьшить стоимость ГОТ при сохранении энергетических показателей, упрощает ее эксплуатацию. Разомкнутая схема циркуляции рабочей жидкости дает возможность более эффективно поддерживать температурный режим, перераспределение потока рабочей жидкости между двумя гидромоторами обеспечит плавное регулирование энергетических показателей ГОТ.

Пределные энергетические показатели шестеренных гидромашин накладывают определенные ограничения по мощности подобных ГОТ. Наиболее целесообразным является применение шестеренных гидромашин в составе ГОТ для транспортных средств с мощностью двигателя до 40–45 л. с. Подобные транс-

портные средства могут быть использованы в широком спектре работ коммунального и дорожного хозяйства — машины по уборке тротуаров городских улиц, строительная техника с ограничением габаритов и т. п.

Применение гидропривода позволяет обеспечить работу широкого спектра навесного оборудования. Для его работы необходим отдельный насос, устанавливаемый в паре с насосом ГОТ (тандем-насос), что, безусловно, потребует некоторого увеличения мощности приводного двигателя. □

Литература

1. Шухман, С. Б. Теория силового привода колес автомобилей высокой проходимости / С. Б. Шухман, В. И. Соловьев, Е. И. Прчко; под общ. ред. С. Б. Шухмана. — М.: Агробизнесцентр, 2007. — 336 с.
2. Жданко, Д. А. Методические рекомендации по оценке технического состояния агрегатов гидростатических трансмиссий мобильных энергетических средств / Д. А. Жданко, С. А. Карпович, В. Я. Тимошенко, А. В. Новиков, Д. И. Сушко; под общ. ред. Д. А. Жданко. — Минск: БГАТУ, 2019. — 124 с.
3. Vorozhtsov, O. V. Application of gear hydraulic machines in the composition of hydrostatic transmissions / O. V. Vorozhtsov, I. E. Plaksin, A. V. Trifanov // International Scientific and Conference. — Saratov. — 2002. — P. 1-7. — <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012023>
4. Шестеренные насосы и гидромоторы, серии PGP и PGM. — URL: https://www.parker.com/Literature/PMDE/Catalogs/Gear_Units/PGP_PGM/HY30-3300-RU.pdf (дата обращения: 18.04.2022 г.)
5. Насосы шестеренные, гидромоторы шестеренные ЗАО «Строймашсервис», рекламный проспект. — URL: <https://www.sms7.ru/pr10.html#zvm> (дата обращения: 18.04.2022 г.)
6. Галдин, Н. С. Гидравлические элементы мобильных машин: учеб. пособие / Н. С. Галдин, И. А. Семенова. — Омск: СибАДИ, 2016. — 231 с.
7. Ухин, Б. В. Гидравлика: учеб. пособие / Б. В. Ухин. — М.: ИД «ФОРУМ»; ИНФРА-М, 2009. — 464 с.
8. Калекин, А. А. Гидравлические и пневматические приводы сельскохозяйственных машин / А. А. Калекин. — М.: Мир, 2006. — 512 с.
9. Проскурин, А. И. Теория автомобиля. Примеры и задачи: учеб. пособие / А. И. Проскурин. — Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 200 с.

Организация мониторинга технического состояния вагонов в условиях Северного широтного хода



А. В. Третьяков,
д-р техн. наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)



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



Р. В. Рахимов,
д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Ташкентского государственного транспортного университета (ТГТРУ)

Нестабильный климат Крайнего Севера (большое число дней с метелями, снегопадами, туманами, неравномерность выпадения осадков в течение года) диктует необходимость применения безлюдных технологий контроля состояния инфраструктуры и подвижного состава в пути следования, тщательную проработку технологии своевременного выполнения ремонта по данным информационных систем.

Северный широтный ход (СШХ) представляет собой железнодорожную линию, которая должна соединить западную и восточную части автономного округа, Северную железную дорогу — со Свердловской. СШХ пройдет по центральной части Ямало-Ненецкого автономного округа, соединив ст. Обская Северной железной дороги со ст. Коротчаево Свердловской железной дороги. Магистраль будет построена в Арктической зоне и включит в себя несколько железнодорожных участков и объектов (рис. 1) [1].

Стратегия развития железных дорог направлена на внедрение новых информационных технологий [1–5], улучшение систем диагностики подвижного состава,

внедрение комплексных постов контроля его технического состояния и создание так называемой цифровой станции [6]. На ней отцепка неисправных вагонов будет осуществляться за счет показаний автоматизированных систем контроля технического состояния подвижного состава в пути следования.

В России можно выделить пять элементов грузового вагона, контроль которых осуществляется на ходу поезда:

- буксовый узел (нагрев, дефекты, состояние креплений);
- колесные пары (геометрические параметры, дефекты поверхности катания колеса);
- тележка (завышение/занижение клиньев, состояние рессорного подвешива-



Рис. 1. Северный широтный ход



Рис. 2. Обзор систем контроля, применяемых в России

ния, нарушение геометрии);

- кузов (корректность номера, габарит погрузки, коммерческие неисправности);
- автосцепное устройство (разность высот).

Для мониторинга указанных выше узлов используются отдельные автоматизированные системы с разными методами контроля и алгоритмами обработки исходных данных [7–12] (рис. 2).

К достоинствам систем диагностики, применяемых в Швеции, Норвегии и Финляндии, относятся контроль и браковка подвижного состава по уровню динамической силы от колеса на рельс. В России не нормирован уровень динамического воздействия подвижного состава, отцепка вагонов производится на основании наличия дефектов на поверхности катания колеса браковочного размера.

Для железных дорог РФ переход на контроль состояния подвижного состава по уровню динамического воздействия на путь является перспективным, для этого необходимо наработать статистическую базу данных по воздействию и внести соответствующие изменения в нормативную документацию.

В настоящей статье предлагается организация системы мониторинга подвижного состава на ходу поезда в условиях СШХ на примере Цифровой программно-аппаратной платформы «Рубеж». Ее

разработка направлена на осуществление возможности измерения вертикальных динамических сил (в кН), передаваемых от колеса на рельс, улучшение методики выявления дефектов на поверхности катания железнодорожных колес, а также повышение безопасности работы железнодорожного транспорта и сокращение затрат ОАО «РЖД» на содержание пути [7].

Планируется, что платформа «Рубеж» обеспечит 100 %-е выявление дефектов по зарегистрированным динамическим силам. Это позволит уйти от подтверждения дефекта осмотрами подвижного состава и перейти к безлюдным технологиям контроля в пути следования в суровых климатических условиях СШХ.

Материалы и методы

Работа комплекса мониторинга технического состояния подвижного состава базируется на тензометрическом методе кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил, передаваемых от колес подвижного состава на путь [8–9]. Первичным источником информации является тензорезистор, а именно система тензорезисторов, собранных в схемы и образующие каналы выходной информации.

Выстраивание работы комплекса мониторинга было выполнено поэтапно. В 2017–2018 гг. был изготовлен макетный образец системы измерения воздействия подвижного состава на железнодорожный

путь, при этом общая длина измерительного участка пути составляла 12,5 м. Наклейка тензорезисторов осуществлялась в соответствии с ГОСТ Р 55050–2012 [10] и «Методикой измерения воздействия подвижного состава на железнодорожный путь по разработанному методу РЖД-2016» [11].

Проведенные эксплуатационные испытания на действующем пути показали недостаточную точность измерений для обнаружения дефектов на поверхности катания. Измерение вертикальной силы происходит в точке контакта колеса и рельса в месте, оборудованном тензоизмерительными схемами (рис. 3). Такой подход для выявления дефектов на поверхности катания колеса недопустим, даже при условии оборудования тензоизмерительными схемами участка 50–100 м.

Для повышения точности обнаружения дефектов на поверхности катания железнодорожных колес была разработана и внедрена схема наклейки тензорезисторов с реализацией кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил (рис. 4–5), действующих от колеса на рельс. Это позволило на порядок увеличить время измерения сил и повысить достоверность полученных данных.

Был выполнен поиск оптимальной схемы расстановки измерительных зон [12], который заключался в изменении

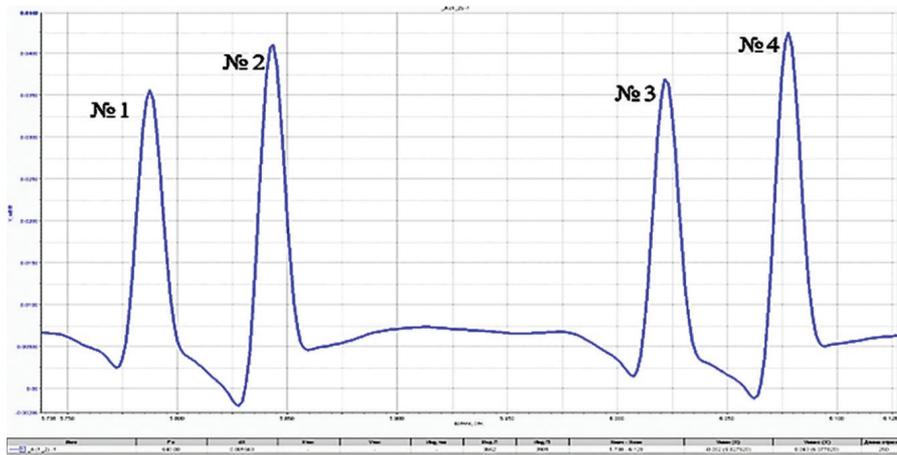


Рис. 3. Пример зарегистрированных вертикальных сил, полученных методом по ГОСТ Р 55050–2012 для колесных пар № 1–4

расстояния межшпального промежутка, где размещались датчики, что вызывало сдвиг фазы и перекрытие слепых зон при обследовании поверхности катания колеса подвижного состава.

Учитывая суровые условия эксплуатации СШХ, вопрос комплектации системы мониторинга и технологии ее изготовления тщательно прорабатывался, начиная от обоснования необходимой длины измерительного участка до выбора тензорезисторов, клея и т. д. Были выполнены исследовательские испытания по проверке стабильности рабочих характеристик тензорезисторов и надежности их клеевой фиксации (клей EB2) под действием климатических нагрузок от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате проведенных испытаний было установлено, что целостность и надежность фиксации тензорезисторов и клеевого состава EB2 обеспечивались во всем диапазоне температур и нагрузок. Наличие трещин и отслоений не наблюдались. С целью выбора надежной защиты мест наклейки тензорезисторов проведены испытания на климатическую устойчивость защитных покрытий. В качестве возможных покрытий были рассмотрены:

- эпоксидная смола NPEL-128 + стеклоткань Э3/200-II + алюминиевая пудра ПАП-2;
- листовая резина толщиной 2 мм ТМКЩ + клей HT-150-2;
- силиконовый герметик Clear RTV SILICONEGASKET MAKER;
- вулканизация (резиновая смесь ИРП-1346).

Исследования состояли из нескольких экспериментов, в каждом из них измерялось сопротивление изоляции. Производилось нагружение растягивающей силой до нанесения на балку с измерительными сечениями покрытий и после нанесения

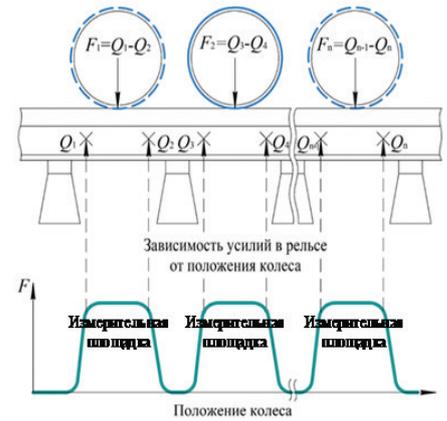


Рис. 4. Схема измерения вертикальных сил, действующих от колеса на рельс, с помощью метода кусочно-непрерывной регистрации

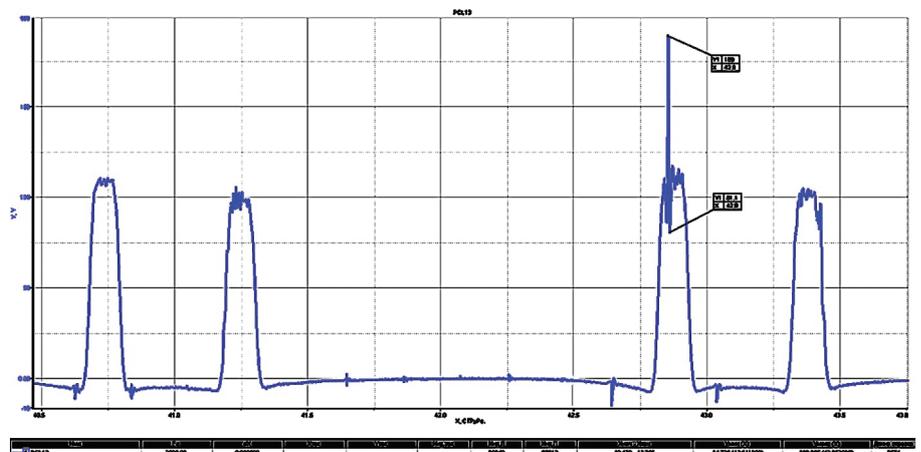


Рис. 5. Пример зарегистрированных вертикальных сил, полученных методом кусочно-непрерывной регистрации, для колеса груженого вагона с ползуном 3 мм



Рис. 6. Фото фрагмента измерительного рельса



Рис. 7. Фото измерительных рельсов с установленными защитными кожухами

защитных покрытий, далее проводились погружение образцов в резервуар с водой и помещение в климатическую камеру с охлаждением образцов до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и на-

греванием до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате рекомендовано применять защитные покрытия № 3–4. При разработке опытного образца принято

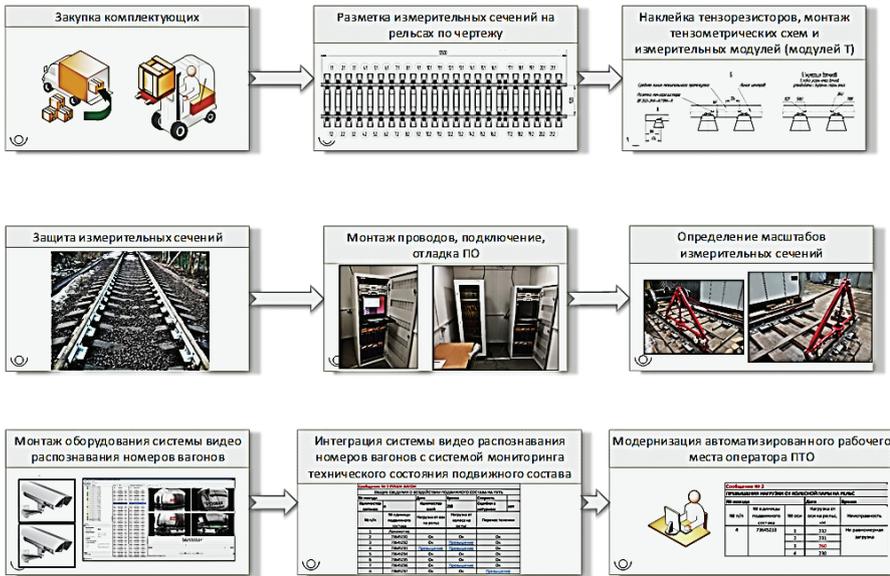


Рис. 7. Технология изготовления и установки оборудования

решение использовать в качестве защитного покрытия «Вулканизацию резины» (рис. 6).

С учетом особенностей выполнения операций по вулканизации для соединения тензорезисторов применяются провода с фторопластовой изоляцией. Для защиты измерительных сечений от механических повреждений разработаны защитные кожухи (рис. 7).

Комплекс мониторинга технического состояния подвижного состава включает:

- тензоизмерительные схемы для регистрации вертикального силового воздействия, действующего от колеса на рельс;
- измерительно-вычислительную систему для формирования первичных данных, полученных от тензоизмерительных схем [13];

- датчики счета осей колесных пар;
- аппаратно-программный комплекс сбора, синхронизации, обработки и предоставления информации об уровнях силового воздействия;
- автоматическую систему видеораспознавания номеров вагонов.

Технология изготовления и установки оборудования представлена на рис. 8.

Измерительный участок представляет собой участок железнодорожного пути длиной 12,5 м с рельсами Р65, железобетонными шпалами эпорой 1840 шт. на 1 км. Всего оборудовано 21 измерительное сечение, в каждом из которых к подошве рельса закреплены модули тензоизмерений.

Модуль тензоизмерений включает в себя шесть каналов и объединяет аппаратно-программные средства, которые

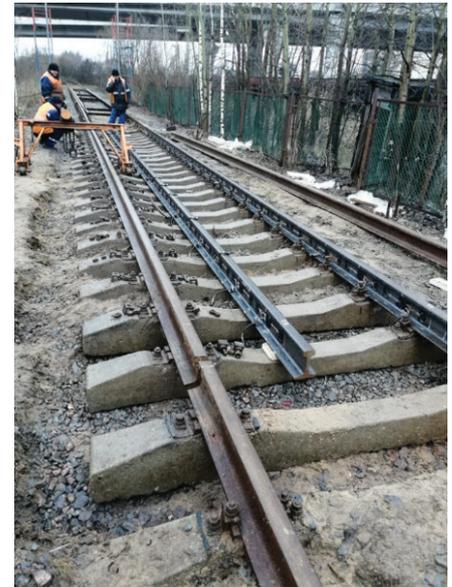


Рис. 9. Процесс установки (врезки) измерительных рельсов

обеспечивают функции приема аналоговых сигналов с тензоизмерительных схем, их оцифровку и предварительную обработку, а также передачу результатов по цифровым каналам связи на верхний уровень Цифровой платформы.

Шестиканальный модуль выполнен в едином конструктиве и представляет собой две независимые электронные платы, каждая из которых обеспечивает подключение трех каналов тензоизмерений.

В целях тестирования прототипа комплекса мониторинга и оценки возможности обнаружения дефектов на поверхности катания колеса за счет повышенных ударных вертикальных сил, регистрируемых Цифровой платформой «Рубеж», изготовленные в заводских условиях измерительные рельсы были установлены

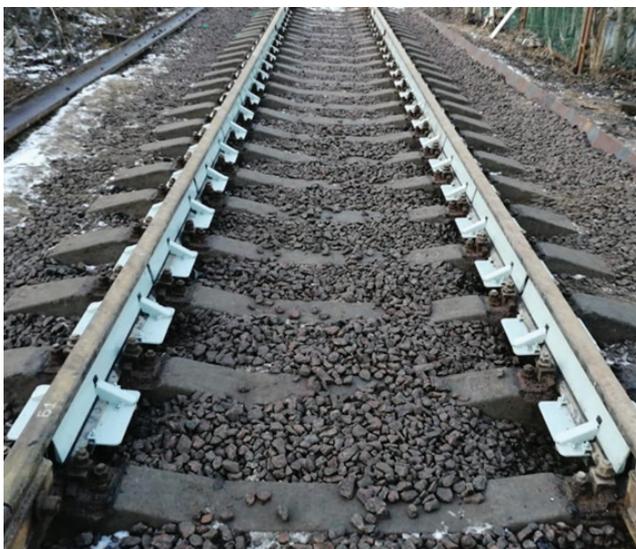


Рис. 10. Фото установленных измерительных рельсов



Рис. 11. Общий вид устройства для приложения эталонных нагрузок в ходе проведения работ по определению масштабов измерения

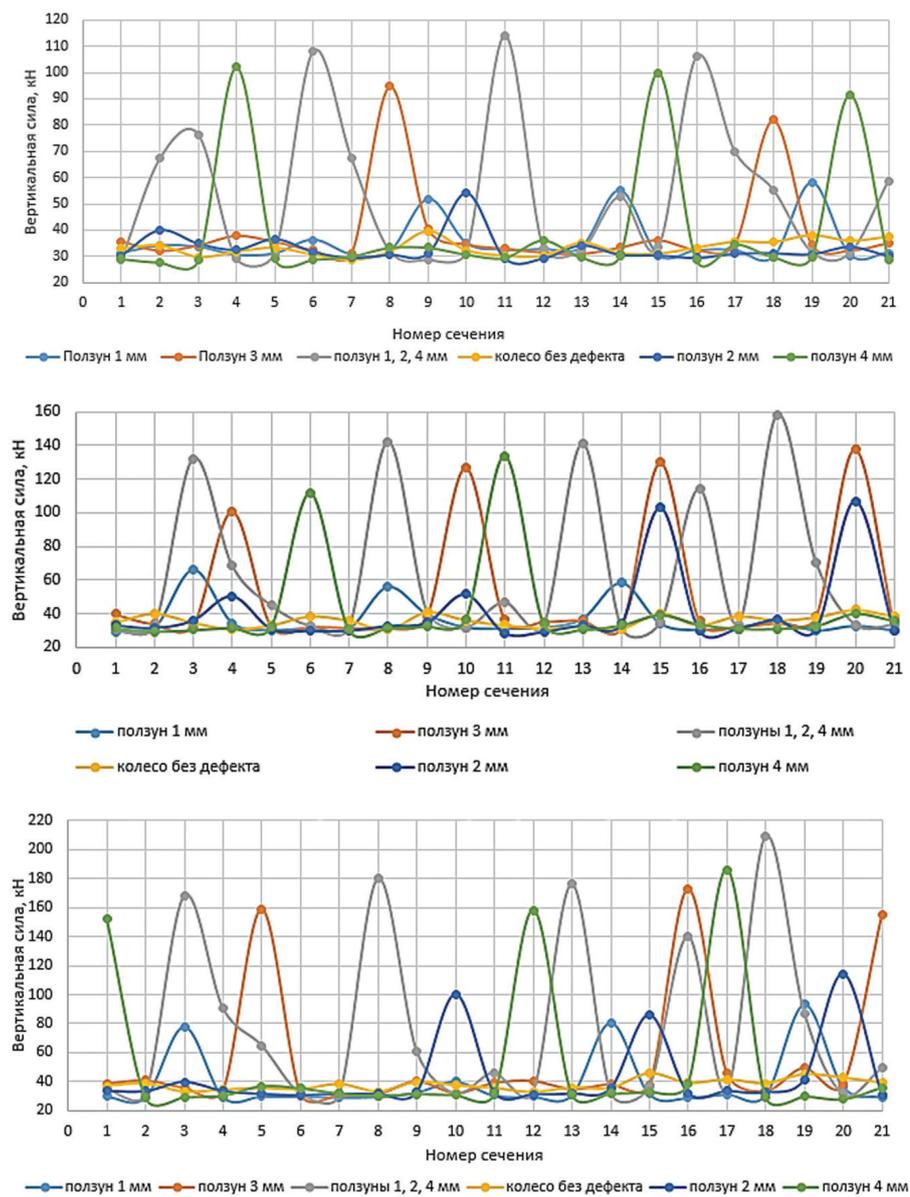


Рис. 12. Вертикальные силы от колесных пар с дефектами и без дефекта, порожний вагон:
а – скорость 6 км/ч, б – скорость 9,7 км/ч, в- скорость 14,79 км/ч

на территории испытательного центра АО «НВЦ «Вагоны» (рис. 9–10).

Для размещения аппаратуры обработки данных и передачи информации на автоматизированное рабочее место принято здание модульного типа (блок контейнер СДВП).

В состав работ по организации системы мониторинга подвижного состава в условиях территории испытательного центра АО «НВЦ «Вагоны» входили:

- врезка двух оборудованных тензометрическими схемами в заводских условиях железнодорожных рельсов на участок железнодорожного пути испытательного центра;
- установка блок контейнера СДВП;
- организация кабельных линий между составляющими Цифровой платформы;

- организация электроснабжения вновь устанавливаемого оборудования от независимых источников.

После проведения работ, связанных с монтажом и запуском цифровой платформы «Рубеж», выполнена тарировка измерительных сечений специализированным нагружающим устройством (рис. 11) [14].

Задачей тестирования являлось определение силовых воздействий на железнодорожный путь от дефектов на поверхности катания колесной пары (ползунов, выщербин и неравномерного проката) на разных скоростях движения подвижного состава и за счет регистрации максимального вертикального воздействия колеса на рельс при движении по измерительному участку.

Для проведения эксперимента использовались грузовые вагоны, колесные пары которых были с браковочными дефектами на поверхности катания и без таковых. Дефекты типа «ползун» были созданы искусственно на имеющихся на территории испытательного центра колесных парах. Колесные пары с дефектами типов «выщербина» и «неравномерный прокат» были получены для проведения испытаний с территории вагонного депо.

При тестировании Цифровой платформы осуществлялись поездки одиночного вагона в порожнем и груженом состояниях по измерительному участку с заранее известным дефектом поверхности катания колес.

Анализ результатов

Зависимости силовых факторов от скорости движения для конкретных объектов испытаний представлены на рис. 12, а–в.

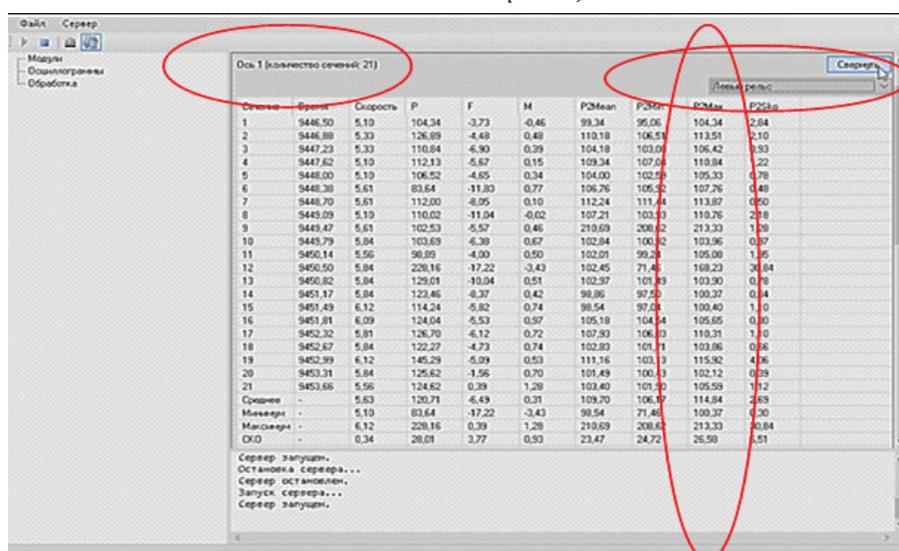


Рис. 13. Скриншот экрана

В ходе анализа полученных данных определено, что при прохождении подвижного состава по измерительному участку фиксировалось повышенное ударное воздействие от дефектного колеса на рельс в 2–3 раза по сравнению с воздействием колеса без дефекта на путь.

Программное обеспечение исправно производит автоматическую привязку силового воздействия к осям и стороне при прохождении сечений (рис. 13).

Для автоматического выявления дефектов на поверхности катания колёсных пар длина измерительной площадки в программном обеспечении принята 220 мм, что обеспечит погрешность измерений максимальной вертикальной силы не более 3 % и увеличит достоверность данных по обнаружению дефекта на поверхности катания колеса.

Программное обеспечение присваивает значения вертикальных сил для каждой оси и каждого колеса. Оно не прекращает свою работу, если один из каналов вышел из строя, а просто исключает его из общей обработки данных. Потери исходных данных при передачи их по каналам связи обнаружены не были.

Заключение

Выполненное тестирование прототипа системы мониторинга для автоматического обнаружения дефектов на поверхности катания колеса на ходу поезда позволяет сформулировать следующие выводы:

- каждый из двух измерительных рельсов имеет 21 измерительную зону с наклеенными тензоизмерительными схемами, реализующими метод кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил, которые передаются от колеса на рельс;
- схема расстановки измерительных зон дает возможность устранить необследованные зоны поверхности катания колеса в движении и выявить ударное воздействие от колеса на рельс при любом диаметре колеса, допустимом в эксплуатации;
- предлагаемая технология приводит к повышению достоверности данных по диагностированию поверхности катания колеса за счет специально выстроенного измерительного железнодорожного участка длиной 12,5 м с рельсами Р65;
- измерительный участок позволяет зарегистрировать воздействие от колеса на рельс за три оборота;
- на основе технических решений, заложенных в организацию комплекса мониторинга технического состояния грузовых вагонов, можно будет перейти к безлюдным

технологиям контроля подвижного состава, что является важным фактором при работе подобных систем [15–16] в суровых климатических условиях СШХ. ■

Литература

1. Макаров, А. В. Перспективы применения безлюдных технологий мониторинга состояния инфраструктуры в проекте «Северный широтный ход» / А. В. Макаров // Вестн. транспорта Поволжья. – 2019. – № 1(73). – С. 44–50.
2. Сугоровский, А. В. Развитие железнодорожной инфраструктуры станций в связи с реализацией инвестиционного проекта создания Северного широтного хода / А. В. Сугоровский // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2019. – Т. 16. – Вып. 4. – С. 602–610. – <http://doi.org/10.20295/1815-588X-2019-4-602-610>
3. Пак, М. В. Северный широтный ход как основа транспортной обеспеченности России / М. В. Пак // Вестн. Алтайск. академии экономики и права. – 2019. – № 4–2. – С. 269–273.
4. Полякова, Е. Я. К вопросу об обследовании железнодорожного подвижного состава в условиях эксплуатации северного широтного хода / Е. Я. Полякова, Б. О. Поляков, С. И. Дубинский // Известия Петерб. ун-та путей сообщения. – 2021. – Т. 18. – Вып. 1. – С. 72–79. – <http://doi.org/10.20295/1815-588X-2021-1-72-79>
5. Буйносов, А. П. Организация обслуживания и ремонта газотурбовозов ГТ1Н на перспективном полигоне Северного широтного хода / А. П. Буйносов, С. И. Лаптев // Вестн. транспорта Поволжья. – 2019. – № 2(74). – С. 16–21.
6. Розенберг, И. Н. Цифровая сортировочная станция / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 10. – С. 13–17.
7. Попов, В. В. Автоматизированный мониторинг технического состояния колес подвижного состава на Октябрьской железной дороге: оценка эффективности внедрения / В. В. Попов, З. Х. Цечоева, Ю. П. Бороненко // Транспорт РФ. – 2020. – № 6(91). – С. 23–28.
8. Бороненко Ю. П. Кусочно-непрерывное измерение сил между колесом и рельсом по касательным напряжениям в двух сечениях рельса / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, А. А. Петров // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 3(76). – С. 58–64.
9. Рахимов Р. В. Проверка точности становления вертикальных нагрузок от колеса на рельс по напряжениям в двух сечениях рельса на стенде / Р. В. Рахимов, А. А. Петров // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 4(77). – С. 55–58.
10. ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013–19 с.
11. Методика измерения воздействия подвижного состава на железнодорожный путь по разработанному методу «РЖД-2016». – Утв. ЦЗ-С В. А. Гапановичем для опытного применения 04.04.2016 г. – № 289; разработчик ООО «Хекса», А. В. Голубятников.
12. Бороненко, Ю. П. Выбор схемы установки датчиков на железнодорожном пути для выявления дефектов колес / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, Ю. Б. Житков, Г. А. Поволоцкая // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 3(82). – С. 55–59.
13. Патент 194642 Российская Федерация, МПК G01B7/16 (2006.01) Многоканальный цифровой преобразователь сигналов тензорезистивных датчиков / Д. В. Денисов, А. В. Жаров, С. И. Краснолобов, А. С. Даукаша; заявитель и патентообладатель АО «НВЦ «Вагоны», Санкт-Петербург. – № 2019124820. – Заявл. 02.08.2019; опубл. 18.12.2019 г. – Бюл. № 35–2 с.
14. Расщепкина, Д. В. Разработка устройства приложения вертикальных и боковых сил на головку рельса для определения масштабов тензометрических схем измерения воздействия подвижного состава на путь / Д. В. Расщепкина, М. В. Зимакова, Д. В. Белобородов // Транспорт Урала. – 2020. – № 4(67). – С. 50–55. – <http://doi.org/10.20291/1815-9400-2020-4-50-55>
15. Бороненко, Ю. П. Анализ методов измерений силового воздействия подвижного состава на путь и систем технического контроля колес при движении поезда / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, Р. Ю. Григорьев, В. В. Попов // Известия Петерб. ун-та путей сообщения. – 2020. – Т. 17. – Вып. 3. – С. 324–344. – <http://doi.org/10.20295/1815-588X-2020-3-324-344>
16. Попов, В. В. Мониторинг технического состояния грузовых вагонов на ходу поезда / В. В. Попов, А. Н. Иванов, А. В. Смутин и др. // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 1–2 (92–93). – С. 52–56. – <http://doi.org/>

Дмитрий А. Мачарет, д-р экон. наук, проф., первый заместитель председателя Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ»

Надир А. Валеев, канд. экон. наук, доцент, старший научный сотрудник Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ»

Влияние транспорта и торговли на экономический рост // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 6–9.

С использованием логико-аналитического метода, сочетающего теоретическое понимание с эмпирическим анализом, рассмотрено влияние деятельности в области транспорта и торговли на экономический рост. Полученные результаты согласуются с результатами других исследований по данной тематике. При этом сделаны важные уточняющие выводы относительно влияния транспорта и торговли на экономический рост в современных условиях. Показана релевантность натуральных показателей, прежде всего объемов перевозок для эко номической, в том числе макроэкономической оценки транспортной деятельности.

Ключевые слова: транспорт, обмен, торгово-транспортная деятельность, валовая добавленная стоимость, валовой внутренний продукт, грузооборот, пассажирооборот, логико-аналитический метод, коэффициент Фехнера.

Контактные данные: macheret.dmitry@vniizht.ru, valeev.nadir@vniizht.ru

Сергей В. Коланьков, д-р экон. наук, профессор кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)

Аматрий С. Каптелин, начальник Управления информатизации ПГУПС

Особенности применения метода остатка для оценки рыночной стоимости земельных участков, обремененных непогашенными кредитами под строительство железных дорог // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 10–13.

Целью статьи является рассмотрение вопроса о внесении изменений в особенности применения метода остатка для оценки рыночной стоимости земельных участков, обремененных непогашенными кредитами под строительство железных дорог. Приведены теоретические основы метода остатка. Показаны особенности учета непогашенных заемных средств при применении двух модификаций метода остатка. Уточнен ряд формулировок Методических рекомендаций по оценке рыночной стоимости земельных участков. Рассмотрены варианты учета ипотечной задолженности при залоге отдельных составляющих недвижимости. Дана графическая интерпретация области применения коэффициента корректировки, учитываемого при прогнозировании дальнейшего изменения чистого операционного дохода.

Ключевые слова: железные дороги, недвижимость, земельный участок, рыночная стоимость, подходы и методы оценки, метод остатка, чистый операционный доход, коэффициент капитализации, норма дисконта, кредит, сметная стоимость строительства.

Контактные данные: kolankov@mail.ru, kaptelin@pgups.ru

Валентин К. Милованов, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «Транспортная техника», **Сергей В. Дмитриев**, генеральный директор ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники»,

Александр В. Белянкин, руководитель Испытательной лаборатории ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники», **Станислав Ю. Петухов**, начальник отдела стационарных испытаний ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники»,

Опыт создания систем пассивной безопасности для подвижного состава железных дорог // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 14–18.

Рассмотрены этапы создания, расчёта и испытаний устройств поглощения энергии. Внесены предложения по совершенствованию нормативной правовой базы (ГОСТ 32410–2013) в части, касающейся моделирования и автономных разрушающих испытаний.

Ключевые слова: устройство поглощения энергии, крэш-элемент, система пассивной безопасности, автономные разрушающие испытания

Контактные данные: stanislav.post@mail.ru

Денис В. Зуев, канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «Синтез-АТ»,

Сергей В. Бочкарев, канд. техн. наук, технический директор ОАО «Синтез-АТ»

Цифровой двойник инфраструктуры железнодорожной автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 19–22.

Показано значение цифрового двойника для выявления отклонений в работе технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики и оценки влияния изменений требований, сценариев использования, условий окружающей среды и других переменных на работоспособность инфраструктуры хозяйства ЖАТ. Описаны проекты хозяйства автоматики и телемеханики в ОАО «РЖД» в рамках внедрения технологии цифрового двойника.

Ключевые слова: цифровой двойник, средства железнодорожной автоматики и телемеханики, система отображения поездного положения.

Контактные данные: bochkarevsv@yandex.ru

Тамила С. Титова, д-р. техн. наук, профессор, первый проректор — проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)

Юрий П. Бороненко, д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС,

Оксана Д. Покровская, д-р. техн. наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой «Управление эксплуатационной работой» ПГУПС

Оценка инновационности новых грузовых вагонов // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 23–28.

Проанализированы установленные и предлагаемые в Российской Федерации критерии инновационности грузовых вагонов. Предложен новый подход к оценке инновационности, основанный на анализе изменений технико-экономических параметров, показателей надежности, энергоэффективности и безопасности вагонов за последние 5 года. Приведены расчеты показателя инновационности некоторых моделей вагонов по предлагаемой методике. Для широкого применения методики необходимо согласовать отраслевыми объединениями перечень показателей, значения весовых коэффициентов и минимальной величины улучшения для признания вагона инновационным.

Ключевые слова: инновационный грузовой вагон, показатель инновационности, технико-экономические эксплуатационные характеристики.

Контактные данные: boron49@yandex.ru

Рустам В. Рахимов, д-р. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Ташкентского государственного транспортного университета (ТГТРУ),

Александр В. Третьяков, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС),

Ядгор О. Рузметов, канд. техн. наук, доцент, декан факультета электротехники и вычислительной техники ТГТРУ,

Отабек В. Нигматов, докторант ТГТРУ, **Мария В. Зимаква**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС

Исследования по совершенствованию метода измерения силового воздействия подвижного состава на путь для мониторинга технического состояния колес // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 29–32.

На основе результатов исследований определены пути совершенствования кусочно-непрерывного метода измерения вертикальных сил в контакте колесо-рельс по измерению напряжений в двух сечениях рельса. Это позволит при диагностике технического состояния колес подвижного состава увеличить длину измерительной зоны, сократить количество тензорезисторов и измерительных каналов, а также уменьшить длину измерительного пути.

Ключевые слова: воздействие на путь, колесо, рельс, вертикальная сила, измерительная зона, тензорезистор, измерительный участок пути.

Контактные данные: avtretiakov51@yandex.ru

Анатолий Н. Савоскин, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ)), **Андрей П. Васильев**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» РУТ (МИИТ), **Генрих П. Бурчак**, канд. техн. наук, профессор кафедры «Теоретическая механика» РУТ МИИТ

Применение дискретной модели пути в задачах динамики рельсовых экипажей // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 33–36.

С целью исследования динамики рельсового экипажа с учетом применения дискретной модели пути рассматривается линейчатая одноосная модель с тремя степенями свободы, соответствующая четырёхосному экипажу. С помощью принципа Д'Аламбера и принципа возможных мощностей составлены дифференциальные уравнения вертикальных колебаний пути и колесной пары, подросеренной массы тележки и кузова, найдены частоты колебаний, построены амплитудные и фазовые частотные характеристики, связывающие колебания указанных масс с кинематическим возмущением. Результаты расчетов показали, что предлагаемая модель взаимодействия экипажа и пути позволяет выделить колебания на частотах, превышающих 10 Гц, поэтому в таких задачах следует задаваться спектром возмущения, соответствующим диапазону частот 10 до 100 Гц. Появление колебаний на частотах, превышающих 10 Гц, имеет существенное значение при исследовании колебаний грузовых вагонов, не имеющих буксовой ступени подвешивания, а также при исследовании крутильных колебаний в тяговых передачах локомотивов.

Ключевые слова: динамика, модель пути, рельсовый экипаж, вертикальные колебания.

Контактные данные: elmechtrans@mail.ru

Юрий П. Бороненко, д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС), генеральный директор АО «НВЦ «Вагоны»

Метод оценки энергоэффективности грузовых вагонов // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 37–39.

Рассмотрены вопросы оценки энергоэффективности вагонов. Предлагается ввести показатель энергоэффективности для нетягового подвижного состава как удельный расход энергии на выполнение перевозочной работы в 10 тыс. т км нетто для каждой новой модели вагона.

Ключевые слова: грузовые вагоны, энергоэффективность, сопротивление движению, расход энергии

Контактные данные: boron49@yandex.ru

Александр А. Воробьев, д-р. техн. наук, заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС)

Алексей М. Будюкин, канд. техн. наук, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы» ПГУПС,

Владимир Г. Кондратенко, канд. техн. наук, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы» ПГУПС

Перспективы применения направляемого легкого транспорта в российских городах // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 40–43.

Показана перспективность применения шинного трамвая с направляемым рельсом как более привлекательного для пассажиров, чем обычный трамвай, в первую очередь в городах с узкими улицами и круглыми подъемами для возможности разгрузить улицы городов от автомобильных пробок. Проведены анализ и обобщение опыта работы ведущих европейских предприятий, эксплуатирующих данный вид транспорта: Франция (Нанси, Кан, Клермон-Ферран, Иль-де-Франс-пригород Парижа) Италия (Падуа, Местре-Венеция), а также Китая (Тяньцзинь, Шанхай) и др.

Ключевые слова: направляемый лёгкий транспорт, шинный трамвай, низкопольный вагон, многозвонный (сочлененный) вагон, ходовые части вагона.

Контактные данные: 79219751198@yandex.ru

Юрий С. Ромен, д-р. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Научного центра «Путевая

инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо-рельс» АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ВНИИЖТ), **Анатолий Н. Савоськин**, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ)), **Максим В. Криволапов**, канд. техн. наук, технический эксперт НЦ «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо-рельс» АО «ВНИИЖТ» **Татьяна М. Белгородцева**, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Динамика вагонов» кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС) **Моделирование трения в цифровых моделях подвижного состава** // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 44–47.

Приведены два принципиально различающихся метода моделирования разрывной системы, описывающей сухое трение. Первый метод основан на приближенной линеаризации процесса сухого трения, а второй логически реализует разрывной характер системы при условии, что приложение силы трения не может изменить направление смещения контактирующих тел под действием активных сил.

Ключевые слова: нелинейная разрывная функция, колебания железнодорожных экипажей, сухое трение, уравнение Кулона.

Контактные данные: tm-belg@yandex.ru

Александр С. Адауров, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС), **Игорь Ю. Савельев**, главный инженер ООО «ВНИИЖТ-ИНЖИНИРИНГ»

Обзор существующих установок автоматизированного бесконтактного измерения геометрических параметров колесных пар // Транспорт

РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 48–51.

Рассмотрены различные системы и устройства для измерения геометрических параметров колесных пар локомотивов и вагонов без выкатки непосредственно на подвижном составе и на ходу поезда. Проведено сравнение основных характеристик систем относительно требований ГОСТ 34709–2021 «Стационарные средства диагностики железнодорожного подвижного состава на ходу поезда. Общие технические требования».

Ключевые слова: локомотив, вагон, электричка, колесная пара, бандаж, обод, параметры, измерение (контроль).

Контактные данные: vorudada@yandex.ru

Ирина О. Морозова, научный сотрудник отдела грузовых вагонов научно-исследовательского бюро АО «НВЦ «Вагоны»

Оценка прочности, устойчивости и выносливости балок из высокопрочных материалов // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 52–54.

Дана оценка местной устойчивости, усталостной прочности тонкостенной конструкций из высокопрочных сталей. Приведены результаты экспериментальной проверки прочности и выносливости балки из высокопрочного материала в условиях применения в вагоностроении.

Ключевые слова: высокопрочная сталь, повышенная прочность, предел выносливости сварной конструкции, грузовой вагон.

Контактные данные: filippova.io@yandex.ru

Олег В. Ворожцов, канд. техн. наук, доцент, и. о. заведующего кафедры Автомобильного транспорта Института инженерных наук Псковского государственного университета (ПсковГУ),

Евгений А. Селезнев, старший преподаватель кафедры Автомобильного транспорта Института инженерных наук ПсковГУ

Гидрообъемная трансмиссия на основе шесте-

ренных гидромашин // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 55–57.

Рассмотрен способ регулирования объемного гидропривода на основе шестеренных гидромашин. Представлена принципиальная гидравлическая схема гидропривода, приведены основные расчетные зависимости. Выявлены преимущества применения шестеренных гидромашин в составе гидропривода и ограничения их применения.

Ключевые слова: шестеренные гидромашин, гидрообъемный привод, симметричный зубчатый дифференциал, пропорциональный распределитель.

Контактные данные: voroz1968@mail.ru

Александр В. Третьяков, д-р. техн. наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ПГУПС),

Мария В. Зимакова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС,

Рустам В. Рахимов, д-р. техн. наук, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Ташкентского государственного транспортного университета (ТТРУ)

Организация мониторинга технического состояния вагонов в условиях Северного широтного хода // Транспорт РФ. — 2022. — № 3 (100). — С. 58–65

Предложено организовать систему мониторинга состояния колесных пар грузовых вагонов на ходу поезда на примере цифровой программно-аппаратной платформы «Рубеж», в основу работы которой положен тензометрический метод кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил, действующих от колеса на рельс.

Ключевые слова: Северный широтный ход, мониторинг колесных пар, диагностика подвижного состава.

Контактные данные: avtretiakov51@yandex.ru

Dmitrii A. Macheret, Dr. Sc. Econ., prof., first deputy chairman of the Joint Scientific Council, Russian Railways JSC, VNIIZhT JSC

Nadir A. Valeev, Cand. Sc. Econ., associate professor, senior associate of the Joint Scientific Council, Russian Railways JSC, VNIIZhT JSC

Influence of transport and trade on economic growth // Transport of the Russian Federation. — 2022. — № 3 (100). — P. 6–9.

The paper considers the impact of transport and trade activities on economic growth using the logical and analytical method, combining theoretical understanding with empirical analysis. The study results are consistent with the findings of other studies on the subject. Important clarifying conclusions are drawn regarding the influence of transport and trade on economic growth in the contemporary context. The relevance of natural indicators, primarily transportation volumes for economic, particularly macroeconomic, assessment of transport activity is shown.

Keywords: transport, exchange, trade and transport activity, gross value added, gross domestic product, freight turnover, passenger turnover, logical-analytical method, Fechner coefficient.

Contacts: macheret.dmitry@vniizht.ru, valeev.nadir@vniizht.ru

Sergey V. Kolankov, Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, St. Petersburg

Dmitrii S. Kaptelin, Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, St. Petersburg

Features of the application of the balance method for assessing the market value of land plots burdened with outstanding loans for the construction of railways // Transport of the Russian Federation. — 2022. — № 3 (100). — P. 10–13.

To consider the issue of making changes to the specifics of the application of the balance method for assessing the market value of land plots encumbered with outstanding loans for the construction of railways. Give the theoretical foundations of the remainder method. To show the features of accounting for outstanding

borrowed funds when using two modifications of the balance method. To clarify a number of formulations of Methodological recommendations for assessing the market value of land plots. Consider options for accounting for mortgage debt when mortgaging individual components of real estate. A number of formulations of Methodological recommendations for assessing the market value of land plots have been clarified. A graphical interpretation of the scope of application of the adjustment coefficient taken into account when forecasting further changes in net operating income is given. Two methods of estimating the estimated cost of construction are given and the most frequently used collections of enlarged software are indicated.

Keywords: Railways, real estate, land plot, cost, market value, approaches and methods of assessment, residual technique, net operating income, capitalization rate, discount rate, credit, construction cost

Contacts: kolankov@mail.ru, kaptelin@pgups.ru

Valentin K. Milovanov, Cand. Sc. Eng., general director, Transportnaya Tekhnika LLC,

Sergei V. Dmitriev, general director, Tikhvin Testing Centre for Railway Equipment LLC,

Aleksei V. Belyankin, head of testing laboratory, Tikhvin Testing Centre for Railway Equipment LLC,

Stanislav Yu. Petukhov, head of stationary test department, Tikhvin Testing Centre for Railway Equipment LLC

Experience in creation of passive safety systems for railway rolling stock // Transport of the Russian Federation. — 2022. — № 3 (100). — P. 14–18.

Stages of creation, calculation and testing of energy absorption devices are reviewed. The authors propose ways to improve the regulatory framework (GOST 32410-2013) with regard to modelling and autonomous destructive testing.

Keywords: energy absorption device, crash element, passive safety system, autonomous destructive testing

Contacts: stanislav.post@mail.ru

Denis V. Zuev, Cand. Sc. Eng., general director, Sintez-AT OJSC,

Sergei V. Bochkarev, Cand. Sc. Eng., technical director, Sintez-AT OJSC

Digital twin of railway automation and remote control infrastructure of JSC RZD // Transport of the Russian Federation. — 2022. — № 3 (100). — P. 19–22.

The paper demonstrates the importance of a digital twin for revealing deviations in the operation of the technical means of railway automation and remote control and for estimating the impact of changing requirements, use scenarios, ambient conditions and other variables on the performance of the railway automation and remote control infrastructure. The projects of automation and remote control facilities of JSC RZD within the framework of implementation of the digital twin technology are described.

Keywords: digital twin, railway automation and remote control facilities, train position display system.

Contacts: bochkareffsv@yandex.ru

Tamila S. Titova, Dr. Sc. Eng., professor, first vice-rector — vice-rector for research, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)

Yuri P. Boronenko, Dr. Sc. Eng., professor, head of department, Railway Car Facilities, PGUPS, **Oksana D. Pokrovskaya**, Dr. Sc. Eng., associate professor, acting head of department, Operations Management, PGUPS

Assessment of new freight wagons based on metrics of innovation // Transport of the Russian Federation. — 2022. — № 3 (100). — P. 23–28.

The paper analyses metrics of innovation of freight wagons established and provided in the Russian Federation. A new approach to innovativeness assessment is proposed, which is based on the analysis of wagon technical and economic parameters, reliability factors, energy efficiency and safety indexes change during the last 3 years. Cal-

culations of some wagon models' metrics of innovation according to the proposed methodology are given. To ensure extensive application of the methodology, industry associations should agree the list of indexes, the values of weight coefficients and minimal improvement value to acknowledge a wagon as innovative.

Keywords: innovative freight wagon, metric of innovation, technical and economic performance characteristics.

Contacts: boron49@yandex.ru

Rustam V. Rakhimov, Dr. Sc. Eng., associate professor, head of department, Railway Car Facilities, Tashkent State Transport University (TSTU),
Aleksandr S. Tretyakov, Dr. Sc. Eng., professor of the department, Railway Car Facilities, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)

Yadgor O. Ruzmetov, Cand. Sc. Eng., associate professor, dean, Faculty of Electrical Engineering and Computer Engineering, TSTU

Otabek B. Nigmatov, doctoral candidate, TSTU,
Maria V. Zimakova, Cand. Sc. Eng., associate professor, Railway Car Facilities, PGUPS

Research to improve the method of measuring the rolling stock power action on the track for monitoring the technical condition of the wheels // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 29–32.

Based on the research results, the paper determines ways to improve piecewise continuous method of measurement of vertical forces in contact of wheel and rail by measuring stresses in two cross-sections of a rail. This will increase the length of measuring area, reduce the number of strain gages and measuring channels, as well as reduce the length of measuring track in the diagnosis of the rolling stock wheels technical condition.

Keywords: action on track, wheel, rail, vertical force, measuring area, strain gage, measuring track section.

Contacts: avtretiakov51@yandex.ru

Anatolii N. Savos'kin, Dr. Sc. Eng., professor of the department, Electric Trains and Locomotives, Russian University of Transport (RUT MIIT),
Andrei P. Vasil'ev, Cand. Sc. Eng., associate professor of the department, Electric Trains and Locomotives, RUT MIIT,

Genrikh P. Burchak, Cand. Sc. Eng., professor of the department, Theoretical Mechanics, RUT MIIT
Application of discrete track model in the problems of the rail vehicles dynamics // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 33–36.

In order to study the rail vehicle dynamics considering the application of discrete track model the linear one-axle model with three degrees of freedom corresponding to the four-axle vehicle is considered. Using D'Alembert's principle and the principle of virtual power, differential equations of vertical oscillations of the track and the wheelset, the sprung mass of the bogie and body are derived, the oscillation frequencies are found, and the amplitude and phase frequency characteristics connecting the oscillations of the specified masses with the kinematic disturbance are developed. The results of calculations show that the proposed model of vehicle–track interaction permits distinguishing oscillations at frequencies greater than 10 Hz, so in such problems it is necessary to set the disturbance spectrum corresponding to the frequency range of 10 to 100 Hz. Oscillations appearing at frequencies greater than 10 Hz are of great importance in the study of oscillations of freight wagons without axle box guide, as well as in the study of torsional oscillations in locomotive traction gears.

Keywords: dynamics, track model, rail vehicle, vertical oscillations.

Contacts: elmechtrans@mail.ru

Yuri P. Boronenko, Dr. Sc. Eng., professor, head of the department, Railway Car Facilities, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS), general director, NVTs Vagony JSC
Method for assessment of freight wagon energy efficiency // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 37–39.

The issues of assessing the wagon energy efficiency are reviewed. It is proposed to introduce the specific energy consumption for transportation of 10 thousand tonnes per km net for each new wagon model as an energy efficiency indicator for non-traction rolling stock.

Keywords: freight wagons, energy efficiency, tractive resistance, energy consumption

Contacts: boron49@yandex.ru

Aleksandr A. Vorob'ev, Dr. Sc. Eng., head of department, Mechanical Handling and Road Building Machines, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)

Aleksei M. Budyukin, Cand. Sc. Eng., associate professor of the department, Mechanical Handling and Road Building Machines, PGUPS,

Vladimir G. Kondratenko, Cand. Sc. Eng., associate professor of the department, Mechanical Handling and Road Building Machines, PGUPS,
Outlook for application of guided light transport in Russian towns // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 40–43.

The paper shows the promising outlook of using guided bus tram as more attractive for the passengers than a usual tram, especially in cities with narrow streets and steep hills making it possible to reduce motor traffic congestion. The experience of leading European companies operating this transport means has been analysed and summarised: France (Nancy, Caen, Clermont-Ferrand, Île-de-France — the Paris Region) Italy (Padua, Mestre-Venice) and China (Tianjin, Shanghai), etc.
Keywords: guided light transport, bus tram, low-floor car, multi-link (articulated) car, bogies.

Contacts: 79219751198@yandex.ru

Yuri S. Romen, Dr. Sc. Eng., professor, principal research associate, Research Centre Track Infrastructure and Wheel-Rail Interaction, Railway Research Institute JSC (VNIIZhT),

Anatolii N. Savos'kin, Dr. Sc. Eng., professor of the department, Electric Trains and Locomotives, Russian University of Transport (RUT MIIT),
Maksim V. Krivolapov, Cand. Sc. Eng., technical expert, Research Centre Track Infrastructure and Wheel-Rail Interaction, VNIIZhT

Tat'iana M. Belgorodtseva, head of scientific and research laboratory Wagon Dynamics, Railway Car Facilities, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)
Friction modelling in rolling stock digital models // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 44–47.

Two fundamentally different methods for modelling of discontinuous system describing dry friction are presented. The first method is based on approximate linearisation of dry friction process, and the second method logically realises the discontinuous nature of the system provided that application of friction force cannot change the direction of displacement of contacting bodies under active forces.
Keywords: nonlinear discontinuity function, railway vehicle oscillation, dry friction, Coulomb's equation.

Contacts: tm-belg@yandex.ru

Aleksandr S. Adadurov, Cand. Sc. Eng., associate professor of the department, Railway Car Facilities, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS),

Igor' Yu. Savel'ev, chief engineer, VNIIZhT-ENGINEERING LLC,

Review of existing automated units for contactless measurement of wheelset geometric parameters // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 48–51.

The paper reviews different systems and devices for measuring locomotive and wagon wheelset geometry without installation and run on moving rolling stock. The main characteristics of the systems are compared against the requirements of GOST 34709-2021, “Stationary technical diagnostic equipment for moving railway rolling stock. General technical requirements”.

Keywords: locomotive, wagon, electric train, wheelset, tyre, rim, parameters, measuring (control).

Contacts: vorudada@yandex.ru

Irina O. Morozova, research associate, Freight Wagons Division, Research and Development Bureau, NVTs Vagony JSC

Strength, stability and endurance assessment of beams made of high-strength materials // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 52–54.

The paper provides assessment of local stability, fatigue resistance of thin-walled structures made of high-strength steels. The results of strength and endurance experimental testing of beam made of high-strength material applied in wagon building are given.

Keywords: high-strength steel, extra strength, welded structure endurance limit, freight wagon.

Contacts: filippova.io@yandex.ru

Oleg V. Vorozhtsov, Cand. Sc. Eng., associate professor, acting head of the department, Automobile Transport, Institute of Engineering Sciences, Pskov State University (PskovSU),

Yevgenii A. Seleznev, senior lecturer, Automobile Transport, Institute of Engineering Sciences, PskovSU

Hydrostatic transmission based on gear-type hydraulic machines // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 55–57.

The regulation of hydrostatic power drive based of gear-type hydraulic machines is considered. The basic hydraulic diagram of a hydrostatic power drive is provided, the basic calculation dependences are given. Advantages and limitations of gear-type hydraulic machines in hydrostatic power drive are revealed.

Keywords: gear-type hydraulic machines, hydrostatic power drive, symmetrical rack-type differential, proportional distributor.

Contacts: voroz1968@mail.ru

Aleksandr S. Tretyakov, Dr. Sc. Eng., professor of the department, Railway Car Facilities, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS),

Maria V. Zimakova, Cand. Sc. Eng., associate professor, Railway Car Facilities, PGUPS,

Rustam V. Rakhimov, Dr. Sc. Eng., associate professor, head of department, Railway Car Facilities, Tashkent State Transport University (TSTU)

Organisation of the wagon technical state monitoring in the conditions of the Northern Latitudinal Railway // Transport of the Russian Federation. – 2022. – № 3 (100). – P. 58–63.

It is proposed to organise a system of freight wagon wheelset condition monitoring during train movement by the example of digital hardware/software platform Rubezh, which is based on tensorial method of piecewise continuous registration of vertical forces acting from wheel to rail.
Keywords: Northern Latitudinal Railway, wheelset monitoring, rolling stock diagnostics.

Contacts: avtretiakov51@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**

Акционерное общество «Научно-внедренческий центр «Вагоны»

190031, Россия,
г. Санкт-Петербург,
Московский пр., д.22

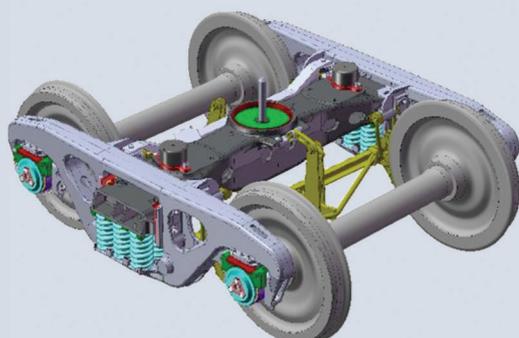
+7-812-310-95-00
+7-812-448-50-23
info@nvc-vagon.ru

НВЦ «ВАГОНЫ»



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ИСПЫТАНИЯ
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
И СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ**

**ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
РАБОТ И ОРГАНИЗАЦИЯ
ЕЖЕГОДНЫХ
МЕЖДУНАРОДНЫХ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
КОНФЕРЕНЦИЙ
«ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ
XXI ВЕКА: ИДЕИ,
ТРЕБОВАНИЯ,
ПРОЕКТЫ.**



**ОТ ИДЕИ ДО
ВНЕДРЕНИЯ**

