

УДК 629.4.027.25

Проблемы и перспективы совершенствования конструкций и методов испытаний трехосных тележек грузовых вагонов для повышенных осевых нагрузок (на примере промышленного транспорта)

Д. Ю. Петров, Ю. П. Бороненко

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Петров Д. Ю., Бороненко Ю. П. Проблемы и перспективы совершенствования конструкций и методов испытаний трехосных тележек грузовых вагонов для повышенных осевых нагрузок (на примере промышленного транспорта) // Бюллетень результатов научных исследований. 2026. Вып. 2. С. 22–42. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-22-42

Аннотация

Цель: анализ эволюции конструкций трехосных тележек грузовых вагонов, обобщение опыта их эксплуатации на промышленном транспорте и критическая оценка современной нормативно-технической базы для обоснования направлений совершенствования методов испытаний при повышенных осевых нагрузках (до 30 тс и более). **Методы:** использованы методы системного анализа научно-технической литературы и патентной информации, обобщение эксплуатационных данных, аналитическое моделирование нагруженности элементов тележек, сравнительный анализ требований нормативных документов. **Результаты:** выявлено, что основной парк трехосных тележек эксплуатируется на путях промышленного транспорта в условиях, существенно отличающихся от магистральных: тяжелый профиль — затяжные уклоны, кривые малого радиуса, переменный профиль; циклические ударные нагрузки при погрузке и разгрузке, усугубляемые отсутствием или неудовлетворительным состоянием балластного слоя на временных путях, что приводит к передаче непогашенных динамических воздействий на ходовые части. Установлено, что 77,8 % отказов связано с несовершенством конструкции. Показано, что действующая система ГОСТов ориентирована преимущественно на пути общего пользования и не учитывает специфику промышленных условий. Предложены аналитические зависимости для оценки дополнительных рамных сил в кривых малого радиуса и для корректировки эквивалентных нагрузок при усталостных испытаниях с учетом реальных спектров нагружения. Сформулированы конкретные направления совершенствования нормативной базы (введение поправочных коэффициентов, обязательное применение износостойких элементов пятникового узла, требования к стендам, разработка спектров нагружения). **Практическая значимость:** обоснована необходимость корректировки нормативной базы и методов сертификационных испытаний трехосных тележек для условий промышленного транспорта. Сформулированы цель и задачи дальнейших исследований, направленных на создание научно обоснованных методов расчета и стендовых испытаний, что позволит повысить надежность и безопасность эксплуатации тяжело нагруженного подвижного состава.

Ключевые слова: трехосная тележка, грузовой вагон, рессорное подвешивание, осевая нагрузка, промышленный транспорт, динамика, прочность, ресурсные испытания, думпкар

Введение

Повышение провозной способности железных дорог и эффективности перевозок тяжеловесных грузов неразрывно связано с увеличением грузоподъемности подвижного состава. Одним из ключевых конструктивных решений, позволяющих

реализовать эту задачу, является применение трехосных тележек. Они позволяют создавать вагоны большой грузоподъемности: транспортеры, думпкары, платформы для тяжеловесных грузов [1, 2].

Несмотря на длительную историю применения, начиная с первой половины XX века, вопросы проектирования, испытаний и безопасной эксплуатации трехосных тележек сохраняют высокую актуальность. Особенно остро эта проблема встает в связи с перспективой внедрения подвижного состава с осевой нагрузкой 30 тс и более. При этом основной зоной эксплуатации таких вагонов являются не магистральные, а промышленные пути (горнорудные предприятия, металлургические комбинаты), характеризующиеся уникальными условиями: затяжными уклонами, кривыми малого радиуса и специфическими динамическими воздействиями, например при погрузке и разгрузке думпкаров [3, 4].

1. Эволюция и классификация конструкций трехосных тележек

Разработка трехосных тележек велась как в России (СССР), так и за рубежом. Анализ патентной и технической литературы [1, 2, 5] позволяет разделить все многообразие конструкций на четыре основные группы по типу рессорного подвешивания: с центральным, буксовым, смешанным и двухступенчатым.

1.1. Тележки с центральным подвешиванием

Эта группа получила наибольшее распространение. Принципиальная схема таких тележек включает шкворневую, продольные и надрессорные балки, а также сочлененные боковые рамы, опирающиеся на колесные пары. Ранние конструкции (КВЗ-1, КВЗ-2, американские тележки Buckeye) использовали шарнирное соединение боковых рам с балансиrom средней колесной пары [2, 5].

Наиболее совершенной отечественной разработкой этой группы признана тележка УВЗ-9м (модель 18-102) (рис. 1), производившаяся с 1962 года и ставшая базой для многих последующих моделей (18-522, 18-522А) [6, 7]. Ее особенности: четыре комплекта рессорного подвешивания с пружинно-фрикционными гасителями колебаний, Н-образная литая шкворневая балка и балансирная связь средней колесной пары, обеспечивающая излом рамы в вертикальной и горизонтальной плоскостях для вписывания в кривые и прохождения горочных устройств [5].

1.2. Тележки с буксовым подвешиванием и перспективные разработки

Стремление снизить неподрессоренную массу и улучшить динамику в кривых привело к созданию тележек с буксовым подвешиванием (УВЗ-7, УВЗ-10м) [5, 8]. Здесь гибкая связь между буксой и рамой обеспечивает лучшее вписывание и снижение боковых сил.

В США была создана трехосная тележка фирмы NACO-National Castings (позже — ABC-NACO), модель TA2000 TriAxle (рис. 2). Она разработана на базе

унифицированных модулей Unitruck с независимой подвеской каждой колесной пары по технологии Axle Motion. Благодаря кинематике подвески обеспечивалась радиальная установка осей в кривых, что существенно снижало боковой износ колес и рельсов, а также уменьшало динамическое воздействие на путь [9].

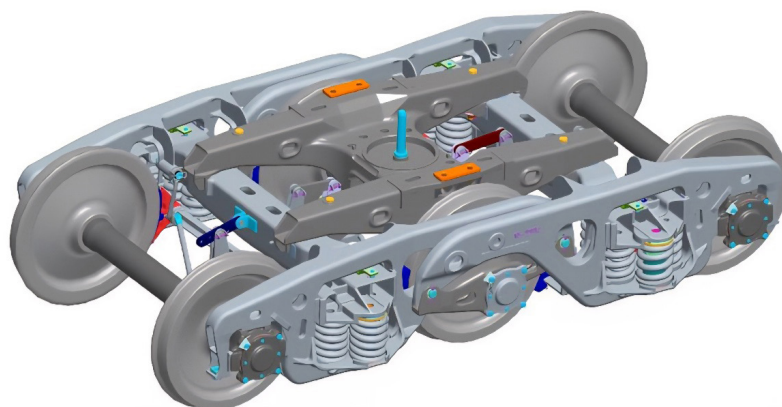


Рис. 1. Тележка УВ3-9М (18-102).

Источник: «РРТ онлайн», <https://ppt-online.org/315890>

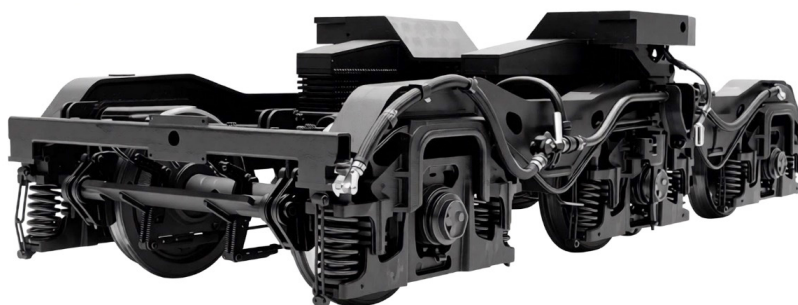


Рис. 2. Трехосная тележка фирмы NACO-National Castings.

Автор: Ю.П. Бороненко, 2016

Тележка проектировалась под осевые нагрузки 25–30 тс, успешно прошла испытания и была сертифицирована для эксплуатации в Великобритании, Швеции и Финляндии, устанавливалась на специализированные вагоны. Однако из-за высокой стоимости по сравнению с традиционными двухосными тележками и отсутствия массового спроса серийного производства не получила.

Разработкой современных трехосных тележек с буксовым подвешиванием в России занимается АО «ВНИКТИ». Результатом этой работы стал национальный стандарт ГОСТ Р 70464-2022 [10]. Стандарт распространяется на трехосные тележки грузовых вагонов с конструкционной скоростью до 140 км/ч. В рамках этой разработки была создана тележка модели 18-6731 (рис. 3) с конструкционной скоростью до 140 км/ч и осевой нагрузкой 20 тс, что позволяет реализовывать использование грузовых вагонов в графике пассажирских поездов.

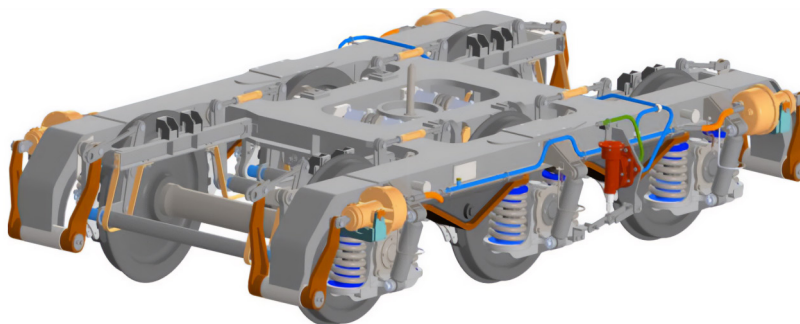


Рис. 3. Тележка модели 18-6731.

Источник: «КиберЛенинка», <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-parametrov-uprugih-skolzunov-i-buksovyh-uzlov-ressornogo-podveshivaniya-trehsnoy-telezhki-na-dinamicheskie-kachestva/viewer>

1.3. Тележки со смешанным подвешиванием

Смешанное подвешивание представляет собой комбинированную схему, при которой двухосная тележка с центральным подвешиванием соединяется с третьей колесной парой посредством дополнительной рамы, имеющей буксовое подвешивание (рис. 4). Такая конструкция позволяет сочетать преимущества обоих типов.

Характерным представителем является тележка модели 18-142, разработанная Калининградским вагоностроительным заводом для шестиосных вагонов-самосвалов (думпкаров) [11]. Она создана на базе двухосной тележки модели 18-131, объединенной с третьей колесной парой при помощи соединительной балки. В двухосной части применено центральное рессорное подвешивание с фрикционными гасителями колебаний, а на третьей колесной паре — буксовое подвешивание.

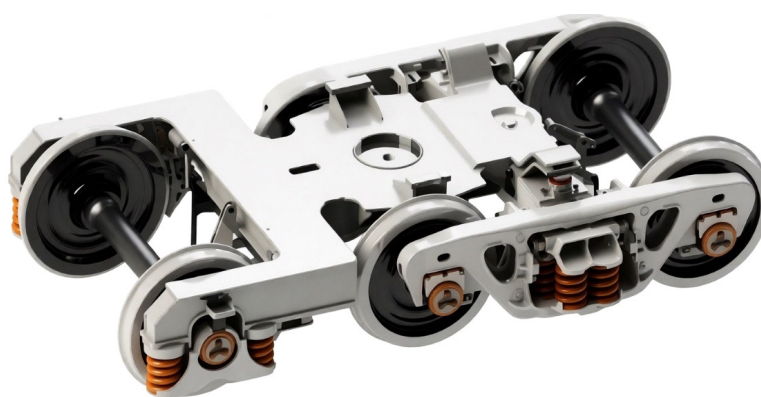


Рис. 4. Тележка со смешанным подвешиванием. Автор: В. С. Коршунов, 2022

Тележка оборудована устройствами, обеспечивающими ее целостность при подъеме, возможном сходе с рельс, а также при воздействии динамических нагрузок, возникающих при разгрузке вагона-самосвала.

1.4. Тележки с двухступенчатым подвешиванием

Двухступенчатое рессорное подвешивание применяется преимущественно в пассажирских вагонах для обеспечения высоких динамических качеств и плавности хода. Примером может служить трехосная пассажирская тележка, спроектированная и построенная Калининским заводом в 1959 году для вагона с массой тары 108 т (рис. 5) [12].

Конструкция тележки включает два уровня подвешивания:

1. Буксовое подвешивание: крайние буксы опираются на цилиндрические пружины с фрикционными амортизаторами, средняя букса — только на цилиндрические пружины.

2. Центральное (люлечное) подвешивание: образовано четырьмя независимыми люльками, подвешенными к продольным балкам рамы. Каждая люлька состоит из поддона с двумя комплектами двухрядных пружин и подвешена на серьгах, что позволяет регулировать высоту надрессорной балки. Для гашения колебаний над каждой люлькой установлено по два гидравлических амортизатора.

Надрессорная балка имеет сварную конструкцию из двух поперечных и одного продольного бруса, несущего подпятник. Рама тележки также сварная, состоящая из двух продольных, двух поперечных и шести вспомогательных балок. Тележка рассчитана на прохождение кривых радиусом 150 м (на магистральных путях) и 100 м (на заводских путях) [15].

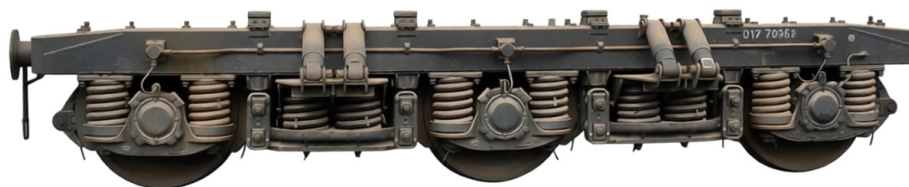


Рис. 5. Трехосная пассажирская тележка. Автор: Ю. П. Бороненко, 2016

1.5. Тележки с радиальной установкой колесных пар

Одним из перспективных направлений улучшения вписывания трехосных тележек в кривые является применение механизмов радиальной установки колесных пар (РУКП). Такие механизмы снижают продольную жесткость связи колесных пар, позволяя им занимать положение, близкое к радиальному, за счет кинематической связи, согласованно поворачивающей все оси тележки [13].

В зарубежной практике известна конструкция по патенту US 5375533 (рис. 6), в которой радиальная установка достигается с помощью косых направляющих тяг, соединяющих концевые колесные пары с рамой, и рычажной системы, передающей движение на среднюю ось [14].

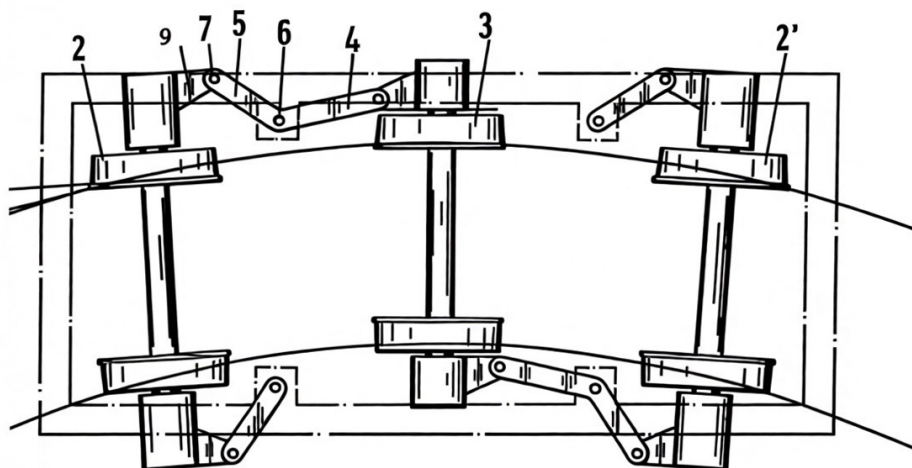


Рис. 6. Конструктивная схема трехосной тележки с РУКП (патент US 5.373.533).

Автор: Ю.П. Бороненко, 2016

Среди отечественных разработок в области РУКП следует отметить патент RU 2677961 C2 [15, 16]. Основные отличия заключаются в том, что балансиры выполнены с пазами, позволяющими консолям боковых рам перемещаться в горизонтальной плоскости без жесткой шарнирной фиксации, а вместо жесткой H-образной шкворневой балки применена соединительная балка, опирающаяся на две надрессорные балки через крайние пятники и скользуны. Такое решение обеспечивает равномерное распределение вертикальной нагрузки на все три колесные пары (за счет выбора плеч боковых рам) и улучшает вписывание в кривые малого радиуса за счет возможности поворота надрессорных балок с боковыми рамами относительно соединительной балки. Технический результат включает снижение сопротивления движению в кривых, уменьшение износа гребней колес и рельсов, а также повышение устойчивости хода (рис. 7).

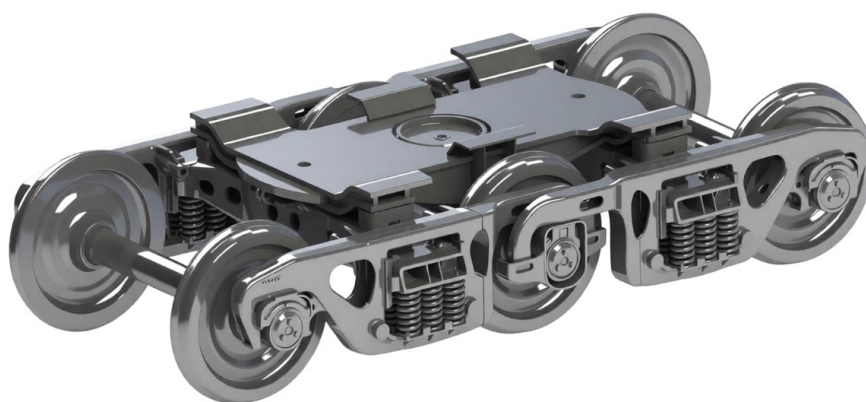


Рис. 7. Конструктивная схема трехосной тележки с РУКП (патент RU 2677961 C2).

Автор: В.С. Коршунов, 2022

1.6. Классификация трехосных тележек

Как справедливо отмечали авторы в своей работе [17], выбор рациональной конструкции тележки и схемы ее подвешивания невозможен без всестороннего обзора существующих конструкций. Анализ и классификация позволяют установить основные направления в развитии конструкций и определить наиболее перспективные типы для заданных условий эксплуатации.

Все трехосные тележки разделяются по двум основным признакам: типу рессорного подвешивания и конструктивному исполнению рамы. В зависимости от способа передачи и распределения вертикальных и горизонтальных нагрузок между колесными парами выделяют четыре группы: с центральным, буксовым, смешанным и двухступенчатым подвешиванием. Внутри каждой группы конструкции различаются типом рамы (сочлененная, составная, цельная, прицепная, сварная) и наличием дополнительных элементов (балансиров, гасителей колебаний) (табл. 1–4).

Как видно из приведенных таблиц, среди тележек с центральным подвешиванием наибольшее распространение получили конструкции с сочлененной рамой и балансиром.

Тележки с цельной рамой и буксовым подвешиванием ориентированы на скоростное движение по качественным магистральным путям, что делает их менее пригодными для тяжелых условий промышленных путей. Конструкции со смешанным и двухступенчатым подвешиванием нашли ограниченное применение ввиду конструктивной сложности и специфичности задач (например, для вагонов-котельных или пассажирских вагонов).

Тележки с РУКП, несмотря на очевидные преимущества (снижение износа гребней, улучшение вписывания), не получили серийного распространения. Все известные решения остались на уровне патентов, опытных образцов или единичных экспериментальных разработок. Высокая конструктивная сложность, увеличение стоимости изготовления и обслуживания, а также отсутствие достаточных инвестиций в условиях промышленного транспорта не позволили довести эти разработки до массового производства.

Таким образом, учитывая, что основной парк трехосных тележек, эксплуатируемых на промышленном транспорте с осевыми нагрузками 30 тс и более, представлен именно тележками с центральным подвешиванием и сочлененной рамой, дальнейший анализ опыта эксплуатации и методов испытаний будет сосредоточен на этом типе конструкций.

ТАБЛИЦА 1. Классификация трехосных тележек грузовых вагонов с центральным подвешиванием (с примерами моделей)

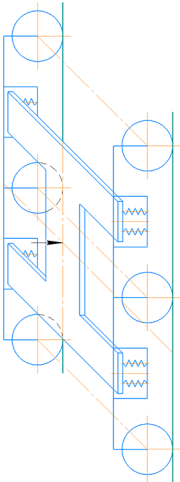
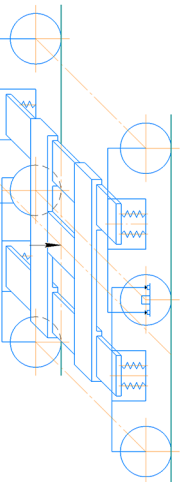
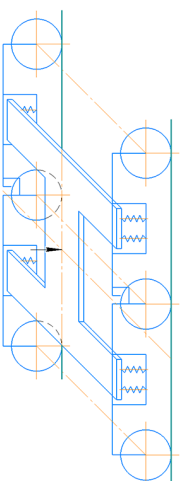
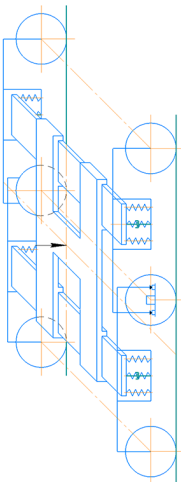
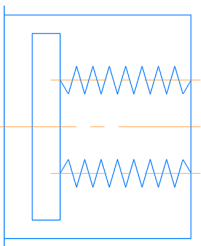
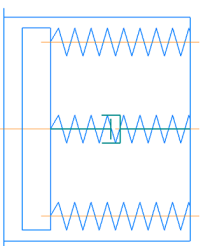
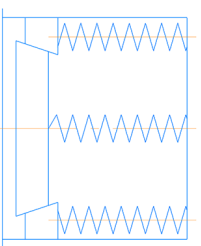
Тип рамы тележки		Схемы центрального подвешивания	
Цельная	Сочлененная	Составная	Сочлененная
 <p>Тележка ж/д Pennsylvania (США)</p>	 <p>Тележки тендера паравоза ФД, КВЗ-1, КВЗ-2 (СССР), Buckeye (США)</p>	 <p>Тележки большегрузных вагонов и тяжелых тендеров фирмы ASF (США)</p>	 <p>Тележки 18-102 (СССР), 18-522, 18-522А, 18-1245 (Россия), Buckeye (США)</p>
			<p>Тележки тендера ж/д Norfolk Western, патент 3250231 (США)</p> <p>Тележка УВЗ-9к (СССР)</p>

ТАБЛИЦА 2. Классификация трехосных тележек грузовых вагонов с буксовым подвешиванием (с примерами моделей)

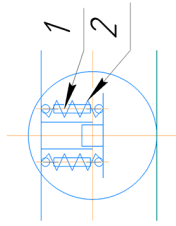
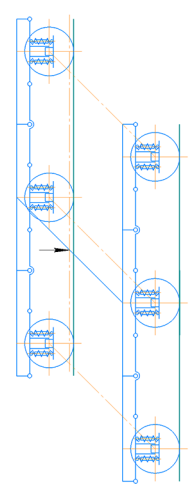
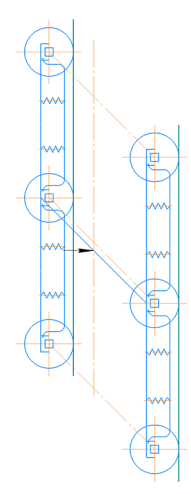
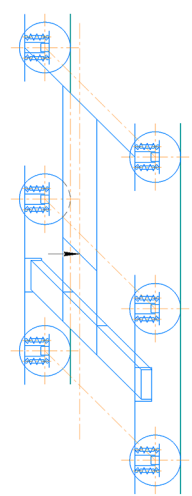
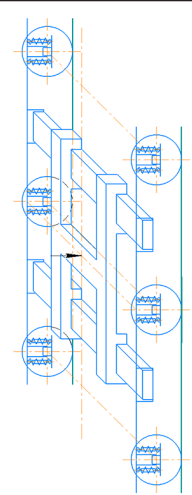
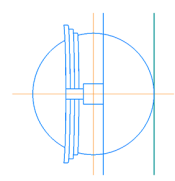
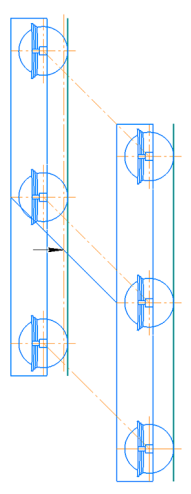
Тип рамы тележки		Тип рамы тележки	
Схема буксового узла	Цельная	Прицепная	Сочлененная
 <p>1 — гаситель колебаний; 2 — упругий элемент</p>	 <p>Тележки КВЗ-4 (СССР), 18-6731 (ВНИКТИ, Россия), тендеров фирмы ALCO и ж/д New York Central, NASCO-National Castings (США), ELH-3, HFB 3.25 (Германия)</p>  <p>Тележки КВЗ-5 (СССР), Common Wealth (США)</p>	 <p>Тележки КВЗ-3, УВЗ с прицепом (СССР)</p>	 <p>Тележки УВЗ-7, УВЗ-10, УВЗ-10М</p>
	 <p>Тележка ВА 714.3 («Тагравагонка», Словакия)</p>		

ТАБЛИЦА 3. Классификация трехосных тележек грузовых вагонов смещенного подвешивания (с примерами моделей)

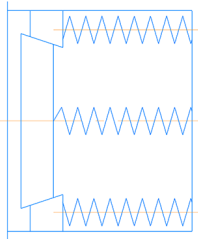
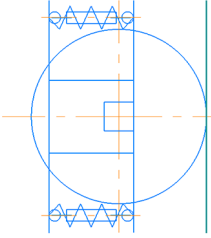
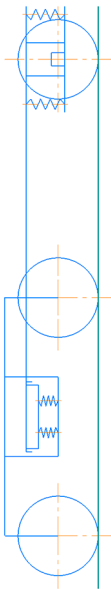
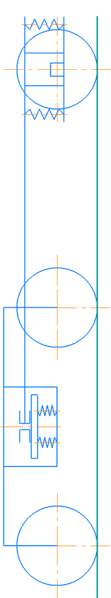
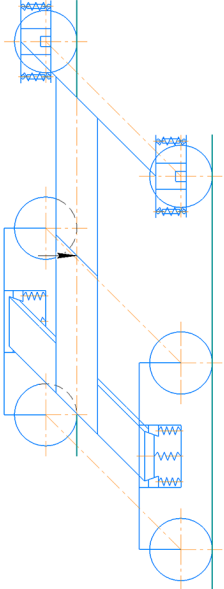
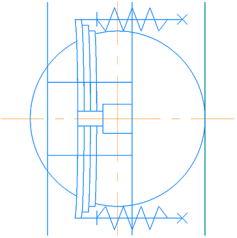
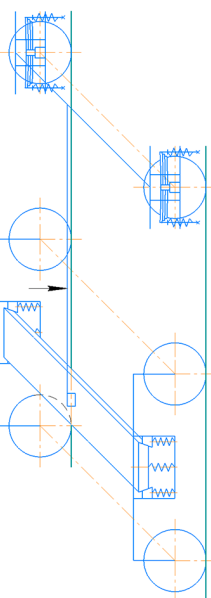
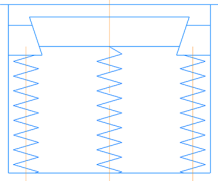
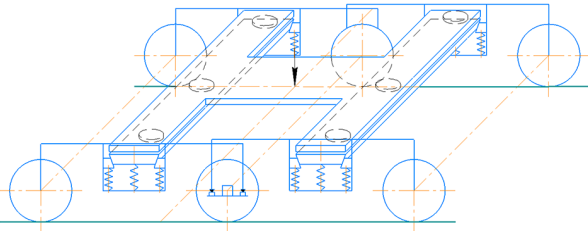
Схема подвешивания		Основные схемы боковых рам	
<p>Центральное для двухосной тележки</p> 	<p>Буксовое для прицепа</p> 		
	 <p>Тележка УВЗ с прицепом 18-142 (СССР)</p>		
			 <p>Тележка вагона-котельной энергопоезда (ЧССР)</p>

ТАБЛИЦА 4. Классификация трехосных тележек грузовых вагонов с РУКП

Схема подвешивания	Схема боковой рамы
	 <p data-bbox="774 593 1173 627">Патент RU 2677961 С2 (Россия)</p>

2. Анализ опыта эксплуатации на промышленном транспорте и причин отказов

Именно на промышленном транспорте трехосные тележки нашли свою основную нишу. В отличие от магистральных сетей общего пользования, где нагрузка на ось ограничена 23,5–25 тс, на подъездных путях горнорудных предприятий и металлургических комбинатов эксплуатируются вагоны-самосвалы (думпкары) с нагрузкой от оси до 32 тс [3]. Как показывают данные [18], объем перевозок промышленным железнодорожным транспортом стабильно превышает объем перевозок транспортом общего пользования почти в 3 раза, что подтверждает доминирующую роль этого сегмента в применении тяжелонагруженных тележек.

Условия эксплуатации на промышленных путях радикально отличаются от магистральных по следующим причинам:

1. Малые радиусы кривых вызывают значительные перекосы тележки в плане и огромные боковые силы. Согласно п. 5.3.3 СП 37.13330.2012 [19], для соединительных и подъездных путей в особо трудных условиях допускаются радиусы 160 м — категории Пп (скорость движения до 25 км/ч) и ППп (скорость движения до 10 км/ч). П. 5.3.4 устанавливает для соединительных путей радиусы до 120 м.

2. Наличие затяжных уклонов и специфических режимов торможения. П. 5.3.12 СП 37.13330.2012 допускает руководящие уклоны до 40% на соединительных путях категорий Пп и ППп, а на путях карьеров и отвалов — до 60%, что требует интенсивного торможения и увеличивает износ тормозного оборудования.

3. Временный характер значительной части подъездных путей, отсутствие или неудовлетворительное состояние балластного слоя, а также циклические ударные нагрузки при погрузке и разгрузке. Согласно п. 5.5.15 СП 37.13330.2012, железобетонные шпалы запрещены к укладке на передвижных путях и в местах, где путь испытывает ударные воздействия при погрузке и выгрузке грузов. П. 5.5.10 допускает для таких путей использование деревянных непропитанных шпал и балласта из вскрышных пород, что снижает демпфирующие свойства пути и приводит к передаче непогашенных ударных нагрузок на ходовые части.

Эти факторы предъявляют особые требования к прочности и износостойкости ходовых частей. Однако, как показывают исследования [20], основная доля отказов трехосных тележек (77,8%) приходится на отказы, связанные с несовершенством конструкций, которые не в полной мере учитывают реалии промышленной эксплуатации. Среди них — технологические: трещины боковой рамы тележки, трещины в шкворневой балке тележки, излом балансира средней колесной пары; эксплуатационные: быстрый износ и трещины гребня средних колесных пар, интенсивный износ пятника и подпятника, излом пружины тележки; повреждения: ползуны колесных пар, горение буксы.

Современные исследования подтверждают актуальность этих проблем. В работе [13] представлены результаты усталостных испытаний литых боковых рам и надрессорных балок тележки модели 18-522А, проведенных на специализированном стенде. Авторами выявлены зоны концентрации напряжений, соответствующие местам возникновения эксплуатационных повреждений, и показано, что существующие методы расчета не в полной мере учитывают реальный спектр нагружения, характерный для тяжелых условий эксплуатации. Это еще раз подчеркивает необходимость совершенствования методов испытаний и корректировки нормативной базы с учетом особенностей работы трехосных тележек на промышленном транспорте.

3. Критический анализ нормативной базы: неучтенные факторы промышленных путей

Переход на осевую нагрузку 30 тс требует не просто адаптации, а качественного пересмотра подходов. Анализ действующей системы ГОСТов показывает, что она не в полной мере готова к этому вызову, и особенно остро этот пробел ощущается именно для условий промышленного транспорта.

3.1. Общие проблемы нормативной базы для нагрузок 30 тс

1. ГОСТ 34763.1-2021 и ГОСТ 34763.2-2021 (требования и методы испытаний) [22, 23] не распространяются на осевую нагрузку 30 тс: их требования ограничены нормативными нагрузками, не превышающими 27 тс. Проектирование и сертификация трехосных тележек для 30 тс ведутся без прямого нормативного регулирования. Кроме того, отсутствуют требования к ресурсным испытаниям пятникового узла, который испытывает высокие контактные напряжения в ходе эксплуатации.

2. ГОСТ 34717-2021, ГОСТ 34769-2021, ГОСТ 34767-2021 (требования к литью) [24–26], как и предыдущие стандарты, не учитывают нагрузку 30 тс.

3. ГОСТ 33211-2014 (требования к прочности и динамическим качествам) [27] использует усредненные динамические коэффициенты для нагрузок 23,5 тс и 25 тс, которые могут недооценивать пиковые нагрузки для 30 тс.

3.2. Специфика промышленных путей: что не учитывают ГОСТы

Главный недостаток действующей системы стандартов заключается в том, что она ориентирована на идеализированные условия магистральных путей. Рассмотрим ключевые факторы, остающиеся за кадром.

1. Отсутствие норм для кривых малого радиуса.

Нормативы по воздействию на путь по ГОСТ 34759-2021 [28] рассчитываются для типовых условий в кривой радиусом 300–400 м. В кривых малого радиуса возникают значительные дополнительные нагрузки из-за перекаса тележки и набегания гребней. Рама трехосной тележки обладает высокой жесткостью в горизонтальной плоскости, что препятствует свободному вписыванию.

Согласно ГОСТ 34763.1-2021 [22], при проверке прочности несущей конструкции тележки необходимо учитывать боковую силу. Данная сила рассчитывается по формуле:

$$P_{N1} = N \left[\frac{\delta \cdot L}{I_B^2} \left(1 + \frac{L}{\alpha} \right) + \frac{L_c}{R} \right],$$

где N — продольная сила, Н;

δ — боковое перемещение, м;

$2L$ — расстояние между задними опорными поверхностями упоров автосцепных устройств, м;

$2I_B$ — база вагона, м;

α — расчетная длина корпуса автосцепки, м;

$2L_c$ — длина вагона по осям сцепления, м;

R — радиус кривой, м.

Как видно из приведенных зависимостей, с уменьшением радиуса кривой R рамные силы возрастают нелинейно: содержат составляющую $\sim 1/R$ (гиперболическая зависимость). Однако в стандарте при типовых расчетах рекомендуется принимать нормативный радиус $R = 250$ м [14], что не учитывает реальных условий эксплуатации на промышленных путях с радиусами до 120 м. Действующие стандарты не предписывают обязательной проверки тележек на прочность и выносливость при прохождении кривых радиусом менее 250 м, что не соответствует реальным условиям эксплуатации на промышленных путях.

2. Неопределенность спектра нагружения и интервалов скоростей движения для расчета ресурса.

Расчет на сопротивление усталости по ГОСТ 33211-2014 [27] требует знания спектра нагрузок, то есть распределения амплитуд динамических сил за срок службы. Для магистральных вагонов такие спектры известны и включают определенные интервалы скоростей движения. Для промышленного транспорта, где маршруты короткие, а режимы работы тяжелые, спектр и интервалы скоростей будут совершенно иными. Отсутствие регламентированных интервалов скоростей

движения и достоверных данных о распределении нагрузок для вагонов промышленного транспорта приводит к снижению точности оценки ресурса.

3. Отсутствие требований к учету неровностей пути при оценке динамических качеств.

Возмущения со стороны пути (неровности рельсовых нитей в вертикальной и горизонтальной плоскостях) являются одним из ключевых факторов, определяющих динамические нагрузки на ходовые части вагона.

В работе [29] показано, что существующие аналитические подходы и наборы табличных значений неровностей пути, регламентируемые РД 32.68-96 [30] и ПНСТ 511-2020 [31], не унифицированы и могут приводить к отличающимся показателям качества хода вагонов. Для устранения этого необходим единый стандарт, основанный на анализе натуральных неровностей железных дорог РФ и последующей апробации предлагаемых расчетных моделей в различных научно-исследовательских центрах.

Для промышленных путей, характеризующихся более высоким уровнем неровностей (просадки, перекосы, волнообразный износ) и отсутствием систематизированной базы данных об их параметрах, эта проблема становится еще более острой. Применение расчетных неровностей, разработанных для магистральных путей, при моделировании движения по промышленным путям приводит к занижению динамических нагрузок и, как следствие, к некорректной оценке прочности и ресурса. Если даже для магистральных путей отсутствует унифицированный стандарт расчетных неровностей, то для промышленного транспорта, где пути имеют существенно более высокий уровень неровностей и менее строгий нормативный контроль, этот пробел становится критическим.

Отсутствие нормативных требований к учету неровностей промышленных путей и систематизированной базы данных о них создает дополнительный нормативный пробел, требующий проведения натуральных измерений и разработки соответствующих рекомендаций.

3.3. Выводы по нормативной базе

Существующая система стандартов формирует лишь базовую основу, ориентированную на магистральные пути. Она позволяет сертифицировать тележку, формально соответствующую требованиям, но ее работоспособность в суровых условиях промышленного транспорта остается под вопросом. Это создает зону повышенного технического риска.

3.4. Направления совершенствования нормативной базы и методов испытаний

Проведенный в разделе 1 анализ конструкций трехосных тележек показал, что, несмотря на многолетнюю эволюцию, многие из них имеют принципиальные недостатки: высокий износ пятникового узла, неравномерное распределение

нагрузки между колесными парами, недостаточную способность к вписыванию в кривые малого радиуса, а также недостаточную надежность несущих элементов даже при осевых нагрузках до 25 тс. Эти недостатки требуют комплексного подхода, включающего как совершенствование самой конструкции, так и корректировку методов ее испытаний и нормативной базы.

Для устранения выявленных недостатков и создания научно обоснованной базы для корректировки нормативных документов необходимо выполнить комплекс взаимосвязанных исследований, включающих:

1. Совершенствование конструкции трехосной тележки на основе анализа существующих решений.

С учетом выявленных недостатков существующих тележек и требований к эксплуатации на промышленных путях с увеличенной осевой нагрузкой до 30 тс предлагается разработать усовершенствованную конструкцию тележки, ориентированную на повышенную надежность и ремонтпригодность. Основные направления:

- усиленная конструкция основных несущих элементов (боковых рам, надрессорных и шкворневой балок, балансиров), обеспечивающая восприятие повышенных динамических нагрузок в кривых малого радиуса и при технологических операциях;

- конструктивная защита пятникового узла (применение износостойких полимерных прокладок) для снижения контактных напряжений и износа при повышенных осевых нагрузках;

- применение колесных пар с адаптерами и кассетными подшипниками, позволяющее повысить надежность буксового узла и упростить техническое обслуживание;

- снижение нагрузок на среднюю ось путем совершенствования узла опирания и балансира.

2. Определение фактических нагрузок методами моделирования и их экспериментальная верификация.

С использованием динамических моделей трехосной тележки (с помощью ПК «Универсальный механизм») провести виртуальные эксперименты для определения нагрузок, действующих на основные элементы трехосной тележки при прохождении кривых радиусом до 120 м с учетом неровностей промышленных путей. Интервалы скоростей движений предлагается взять путем анализа скоростемерных лент локомотивов, эксплуатируемых на промышленных путях. Полученные данные сравнить с результатами ходовых испытаний.

3. Проведение стендовых и ходовых испытаний усовершенствованной конструкции.

Изготовить опытный образец тележки с учетом предложенных конструктивных изменений и провести его стендовые ресурсные испытания (в том числе

пятникового узла) с использованием разработанной оснастки, а затем ходовые испытания на промышленных путях. Верифицировать разработанные модели и методики.

4. Корректировка нормативной базы на основе результатов моделирования, стендовых и ходовых испытаний.

По результатам верифицированных моделей и испытаний обосновать повышающие коэффициенты к расчетным нагрузкам для кривых радиусом менее 250 м и для учета технологических ударных нагрузок и внести их в ГОСТ 34763.1-2021 [22] и ГОСТ 33211-2014 [27]. Разработать требования к стендовым испытаниям и включить их в ГОСТ 34763.2-2021 [23]. Предложить изменения в конструкцию, подтвержденные испытаниями, для включения в технические условия на тележки.

Реализация предложенных направлений позволит создать научно обоснованную базу для корректировки нормативных документов и разработки усовершенствованной конструкции трехосной тележки, обеспечивающей надежную и безопасную работу при осевых нагрузках 30 тс и более в тяжелых условиях промышленного транспорта.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что трехосные тележки являются востребованным типом ходовых частей для тяжеловесного движения, причем их основной парк эксплуатируется на промышленных путях в условиях, существенно отличающихся от магистральных. Высокая доля конструкционных отказов и несовершенство действующей нормативной базы, не учитывающей специфику этих условий, требуют проведения дополнительных исследований и создания усовершенствованной конструкции трехосной тележки для осевых нагрузок свыше 27 тс.

Список источников

1. Подвижной состав и тяга поездов / под общ. ред. А.П. Третьякова. М.: Транжелдориздат, 1961. 320 с.
2. The Car and Locomotive Cyclopedia of American Practices. Sixth Edition / ed. by W.W. Kratville. Omaha: Simmons-Boardman Books, 1997. 850 p.
3. Логинов А. И., Афанаскин Н. Е. Вагоны-самосвалы. М.: Машиностроение, 1975. 192 с.
4. Гоник М. Е. Об оптимальных параметрах думпкаров для открытой разработки // Записки Горного института. 1958. Т. 36, вып. 1. С. 256–264.
5. Тележки железнодорожных вагонов / под ред. Л. А. Шадура. М.: ГОСИНТИ, 1959. 256 с.
6. Грачева Л. О., Анисимов П. С. Конструктивные особенности и динамические качества трехосной тележки типа УВЗ-9м // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1966. Вып. 312. С. 45–58.
7. Конструкции вагонов / под ред. Л. А. Шадура М.: Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение МПС, 1962. 288 с.

8. Речкалов А. И. Какие тележки надо строить для шестиосных полувагонов? // Железнодорожный транспорт. 1962. № 2. С. 44–46.
9. TTX Front Runner Spine Cars // Trains.com Forum. URL: <https://forum.trains.com/> (дата обращения: 10.02.2026).
10. ГОСТ Р 70464-2022. Тележки с буксовым рессорным подвешиванием трехосные грузовых вагонов. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2022. 28 с.
11. Сайт ОАО «Калининградский вагоностроительный завод». URL: <http://kvz39.ru> (дата обращения: 10.02.2026).
12. Морозов И. А. Тележки пассажирских вагонов отечественного производства. М.: Машгиз, 1960. 176 с.
13. Трехосная тележка с радиально устанавливаемыми колесными парами: пат. 88329 U1 Российская Федерация, МПК В61F 5/38. №2009123456 / ОАО «ВНИКТИ»; заявл. 22.06.2009; опубл. 10.11.2009. Бюл. № 31. 4 с.
14. Running Gear for Rail Vehicles With Radial Control of the Wheelsets: pat. 5375533 USA, IPC В61F 5/38. No. 08/213,372 / Schuller H.; filed 15.03.1994; publ. 27.12.1994. 10 p.
15. Трехосная тележка: пат. 2677961 С2 Российская Федерация, МПК В61F 3/10. №2017119270 / Бороненко Ю.П., Коршунов В.С.; заявл. 02.06.2017; опубл. 22.01.2019. Бюл. №3. 8 с.
16. Коршунов В. С., Цыганская Л. В., Хохлов С. В. Выбор конструктивной схемы трехосной тележки с радиальной установкой колёсных пар с осевой нагрузкой 25 тс // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XII Международной научно-технической конференции. СПб.: ПГУПС, 2017. С. 117–119.
17. Челноков И. И., Смарагдов Г. И., Бабаев А. М. Анализ конструкции трехосных тележек грузовых вагонов // Динамика подвижного состава: сборник трудов / ред. И. И. Челноков. Ленинград: ЛИИЖТ, 1969. С. 132–139.
18. Дудкин Е. П., Ильин А. А., Черняева В. А. Промышленный транспорт: учебное пособие. СПб.: ПГУПС, 2017. 83 с.
19. СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91* (с изм. № 1–7). М.: Стандартинформ, 2023. 156 с.
20. Анализ работы трехосных тележек: отчет о НИР / рук. Е. П. Дудкин; Л.: ЛИИЖТ, 1986. 22 с. Рег. № 0286.0115957.
21. Баранов А. Н., Ефимов В. П. Усталостные испытания литых несущих деталей трехосной тележки модели 18-522А // Известия ПГУПС. 2018. № 1. С. 5–16.
22. ГОСТ 34763.1-2021. Тележки трех- и четырехосные грузовых вагонов железных дорог. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2021. 16 с.
23. ГОСТ 34763.2-2021. Тележки трех- и четырехосные грузовых вагонов железных дорог. Правила приемки и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2021. 20 с.
24. ГОСТ 34717-2021. Рама боковая и балка наддресорная литые трехосных тележек грузовых вагонов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2021. 14 с.
25. ГОСТ 34769-2021. Балка шкворневая трехосных тележек грузовых вагонов. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2021. 12 с.

26. ГОСТ 34767-2021. Балансир трехосных тележек грузовых вагонов. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2021. 10 с.
27. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамические качества. М.: Стандартиформ, 2014. 28 с.
28. ГОСТ 34759-2021. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2021. 18 с.
29. Саидова О. В. Оценка влияния неровностей и модели рельсового пути на динамические качества грузового вагона // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2022. Т. 81, № 4. С. 250–258.
30. РД 32.68-96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. М.: МПС РФ, 1996. 35 с.
31. ПНСТ 511-2020. Вагоны грузовые. Расчетные неровности железнодорожного пути для оценки показателей динамических качеств грузовых вагонов расчетными методами. М.: Стандартиформ, 2021. 24 с.

Дата поступления: 19.03.2026

Решение о публикации: 21.04.2026

Контактная информация:

ПЕТРОВ Даниил Юрьевич — аспирант; daniil.petrov21.09.1997@yandex.ru

БОРОНЕНКО Юрий Павлович — доктор техн. наук, профессор; boron49@yandex.ru

Problems and Prospects of Improving the Design and Testing Methods of Three-Axle Trolleys for Freight Cars with Increased Axial Loads (Based on Industrial Transport)

D. Yu. Petrov, Yu. P. Boronenko

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Petrov D. Yu., Boronenko Yu. P. Problems and Prospects of Improving the Design and Testing Methods of Three-Axle Trolleys for Freight Cars with Increased Axial Loads (Based on Industrial Transport) // Bulletin of Scientific Research Results, 2026, iss. 2, pp. 22–42. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-22-42 (In Russian)*

Abstract

Objective: to analyze the evolution of three-axle freight car bogie designs, summarize the experience of their operation in industrial transport, and critically evaluate the current regulatory framework to substantiate areas for improving testing methods for increased axle loads (up to 30 tf or more). **Methods:** methods of system analysis of scientific and technical literature and patent information, generalization of operational data, analytical modeling of bogie element loading, and a comparative analysis of regulatory requirements were used. **Results:** it was revealed that the main fleet of three-axle bogies is operated on industrial transport tracks

under conditions significantly different from main roads (heavy profile (long slopes, small-radius curves, variable profile), cyclic impact loads during loading and unloading, aggravated by the absence or poor condition of the ballast layer on temporary tracks, which leads to the transfer of unabsorbed dynamic effects to the chassis). It was found that 77.8 % of failures are associated with design imperfections. It is shown that the current system of GOSTs is oriented primarily towards public tracks and does not take into account the specifics of industrial conditions. Analytical relationships are proposed for estimating additional frame forces in small-radius curves and for adjusting equivalent loads during fatigue testing, taking into account actual loading spectra. Specific areas for improving the regulatory framework are identified (introduction of correction factors, mandatory use of wear-resistant center plate components, requirements for test rigs, and development of load spectra). **Practical importance:** the need to adjust the regulatory framework and certification test methods for three-axle bogies for industrial transport conditions is substantiated. The goals and objectives of further research aimed at developing scientifically sound calculation and test rig methods are formulated, thereby improving the reliability and safety of heavy-duty rolling stock.

Keywords: three-axle trolleys, freight car, spring suspension, axle load, industrial transport, dynamics, strength, endurance testing, dump car

References

1. Podvizhnoj sostav i tyaga poezdov [Rolling Stock and Train Traction], ed. by A. P. Tret'yakov, Moscow, Transzheldorizdat, 1961, 320 p. (In Russian)
2. The Car and Locomotive Cyclopedia of American Practices. 6th ed., ed. by W. W. Kratville, Omaha, Simmons-Boardman Books, 1997, 850 p.
3. Loginov A. I., Afanaskin N. E. Vagony-Samosvaly [Dump Trucks], Moscow, Mashinostroenie, 1975, 192 p. (In Russian)
4. Gonik M. E. Ob optimal'nykh parametrakh dumpkarov dlya otkrytoj razrabotki [On the Optimal Parameters of Dump Trucks for Open-Pit Mining], *Zapiski Gornogo instituta [Journal of Mining Institute]*, 1958, vol. 36, iss. 1, pp. 256–264. (In Russian)
5. Telezhki zheleznodorozhnykh vagonov [Trolleys of Railway Wagons], ed. by L. A. Shadura, Moscow, GOSINTI [All-Russian Institute for Scientific and Technical Information], 1959, 256 p. (In Russian)
6. Gracheva L. O., Anisimov P. S. Konstruktivnye osobennosti i dinamicheskie kachestva trekhosnoj telezhki tipa UVZ-9m [Design Features and Dynamic Qualities of the UVZ-9m Three-Axle Truck], *Trudy VNIIZhT [Railway Research Institute Bulletin]*, Moscow, Transport, 1966, iss. 312, pp. 45–58. (In Russian)
7. Konstruktsii vagonov [Wagon Designs], ed. by L. A. Shadura, Moscow, Vsesoyuznoe izdatel'sko-poligraficheskoe ob"edinenie MPS, 1962, 288 p. (In Russian)
8. Rechkalov A. I. Kakie telezhki nado stroit' dlya shestiosnykh poluvagonov? [What Kind of Bogies Should Be Built for Six-Axle Semi-Wagons?], *Zheleznodorozhnyj transport [Railway Transport]*, 1962, no. 2, pp. 44–46. (In Russian)
9. TTX Front Runner Spine Cars. URL: <https://forum.trains.com/> (accessed: February 10, 2026).
10. GOST R 70464-2022. Telezhki s buksovyim resornym podveshivaniem trekhosnye gruzovykh vagonov. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Trolleys with Axle Suspension for Three-Axle Freight Cars. General Technical Conditions], Moscow, Standartinform, 2022, 28 p. (In Russian)
11. OAO "Kaliningradskij vagonostroitel'nyj zavod" [Kaliningrad Carriage Factory OJSC]. URL: <http://kvz39.ru> (accessed: February 10, 2026). (In Russian)

12. Morozov I.A. *Telezhki passazhirskikh vagonov otechestvennogo proizvodstva* [Trolleys of Passenger Cars Of Domestic Production], Moscow, Mashgiz, 1960, 176 p. (In Russian)
13. Pat. 88329 U1 Russian Federation, MPK B61F 5/38, *Trekhnaya telezhka s radial'no ustanavlivayushchimisya kolesnymi parami* [A Three-Axle Trolley with Radially Mounted Wheelsets], OAO "VNIKTIP" [JSC "VNIKTIP"], no. 2009123456; filed. 22.06.2009; publ. 10.11.2009, 4 p. (In Russian)
14. Schuller H. Pat. 5375533 USA, IPC B61F 5/38. *Running Gear for Rail Vehicles with Radial Control of the Wheelsets*, no. 08/213,372; filed. 15.03.1994; publ. 27.12.1994. 10 p.
15. Korshunov V.S., Boronenko Yu.P. Pat. 2677961 C2 Russian Federation, MPK B61F 3/10. *Trekhnaya telezhka* [Three-Axle Trolley], no. 2017119270; filed. 02.06.2017; publ. 22.01.2019, bull. no. 3, 8 p. (In Russian)
16. Korshunov V.S., Tsyganskaya L.V., Khokhlov S.V. *Vybor konstruktivnoj skhemy trekhnnoj telezhki s radial'noj ustanovkoj kolyosnykh par s osevoj nagruzkoy 25 ts* [Selection of a Structural Scheme for a Three-Axle Trolley with a Radial Installation of Wheelsets with an Axial Load of 25 Ton-Forces], *Podvizhnoj sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty: materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii* [Rolling Stock of the 21st Century: Ideas, Requirements, and Projects: Proceedings of the 16th International Scientific and Technical Conference], Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University], 2017, pp. 117–119. (In Russian)
17. Chelnokov I.I., Smaragdov G.I., Babaev A.M. *Analiz konstruksii trekhnnykh telezhok gruzovykh vagonov* [Analysis of the Design of Three-Axle Freight Car Trolleys], *Dinamika podvizhnogo sostava: sbornik trudov* [Dynamics of Rolling Stock: Collection of Papers], ed. by I.I. Chelnokov, Leningrad: LIIZhT, 1969, pp. 132–139. (In Russian)
18. Dudkin E.P., Il'in A.A., Chernyaeva V.A. *Promyshlennyj transport: uchebnoe posobie*. [Industrial Transport: A Textbook], Saint-Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University], 2017, 83 p.
19. SP 37.13330.2012. *Promyshlennyj transport. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.05.07-91** (s izmeneniyami № 1–7) [Industrial Transport. Updated version of SNIp 2.05.07-91* (with amendments no. 1–7)], Moscow, Standartinform, 2023, 156 p. (In Russian)
20. *Analiz raboty trekhnnykh telezhok: otchyot o NIR* [Analysis of the Operation of Three-Axle Trolleys: Research Report], direct. E.P. Dudkin, Leningrad Institute of Railway Engineers, 1986, 22 p., reg. no. 0286.0115957. (In Russian)
21. Baranov A.N., Efimov V.P. *Ustalostnye ispytaniya litykh nesushchikh detalej trekhnnoj telezhki modeli 18-522A* [Fatigue Testing of Cast Bearing Parts of a Three-Axle Trolley Model 18-522A], *Izvestiya PGUPS* [Proceedings of Petersburg State Transport University], 2018, no. 1, pp. 5–16. (In Russian)
22. GOST 34763.1-2021. *Telezhki trekh- i chetyrekhnnye gruzovykh vagonov zheleznykh dorog. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [Bogies of Three- and Four-Axle Freight Wagons of Railways. General Technical Conditions], Moscow, Standartinform, 2021, 16 p. (In Russian)
23. GOST 34763.2-2021. *Telezhki trekh- i chetyrekhnnye gruzovykh vagonov zheleznykh dorog. Pravila priyomki i metody ispytaniy* [Trolleys of Three- and Four-Axle Freight Wagons of Railways. Acceptance Rules and Test Methods], Moscow, Standartinform, 2021, 20 p. (In Russian)

24. GOST 34717-2021. Rama bokovaya i balka nadressornaya litye trekhosnykh telezhek gruzovykh vagonov. Tekhnicheskie usloviya [The Side Frame and the Suspension Beam Are Cast Three-Axle Trolleys of Freight Wagons. Technical Specifications], Moscow, Standartinform, 2021, 14 p. (In Russian)

25. GOST 34769-2021. Balka shkvornevaya trekhosnykh telezhek gruzovykh vagonov. Tekhnicheskie usloviya [Pivot Beam of Three-Axle Trolleys of Freight Wagons. Technical Specifications], Moscow, Standartinform, 2021, 12 p. (In Russian)

26. GOST 34767-2021. Balansir trekhosnykh telezhek gruzovykh vagonov. Tekhnicheskie usloviya [The Balancer of Three-Axle Trolleys of Freight Wagons. Technical Specifications], Moscow, Standartinform, 2021, 10 p. (In Russian)

27. GOST 33211-2014. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskie kachestva [Freight Cars. Strength Requirements and Dynamic Qualities], Moscow, Standartinform, 2014, 28 p. (In Russian)

28. GOST 34759-2021. Zheleznodorozhnyj podvizhnoj sostav. Normy dopustimogo vozdejstviya na zheleznodorozhnyj put' i metody ispytaniy [Railway Rolling Stock. Standards of Permissible Impact on the Railway Track and Test Methods], Moscow, Standartinform, 2021, 18 p. (In Russian)

29. Saidova O. V. Otsenka vliyaniya nerovnostej i modeli rel'sovogo puti na dinamicheskie kachestva gruzovogo vagona [Assessment of the Impact of Track Irregularities and Models on the Dynamic Qualities of Freight Wagons], *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta [Russian Railway Science Journal]*, 2022, vol. 81, no. 4, pp. 250–258. (In Russian)

30. RD 32.68-96. Raschyotnye nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya ispol'zovaniya pri issledovaniyakh i proektirovanii passazhirskikh i gruzovykh vagonov [Calculated Railway Track Irregularities for Use in the Research and Design of Passenger and Freight Wagons], Moscow, Ministry of Railways of the Russian Federation, 1996, 35 p. (In Russian)

31. PNST 511-2020. Vagony gruzovye. Raschyotnye nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya otsenki pokazatelej dinamicheskikh kachestv gruzovykh vagonov raschyotnymi metodami [Freight Cars. Calculated Unevenness of a Railway Track for Evaluation of Dynamic Qualities of Freight Wagons by Calculation Methods], Moscow, Standartinform, 2021, 24 p. (In Russian)

Received: March 19, 2026

Accepted: April 21, 2026

Author's information:

Daniil Yu. PETROV — Postgraduate Student; daniil.petrov21.09.1997@yandex.ru

Yurij P. BORONENKO — Dr. Sci. in Engineering, Professor; boron49@yandex.ru