

Эволюция систем опирания кузова восьмиосного вагона на ходовые части

Т.А. Попова✉, Г.И. Петров, В.Н. Филиппов

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация

✉tatiana241187@gmail.com

Резюме

В работе рассмотрены различные конструкции опорных устройств ходовых частей большегрузных восьмиосных вагонов и этапы их модернизации. Подробно изучены ходовые части многоосных тележек, которые отвечают за равномерное распределение нагрузки, обеспечивая устойчивость большегрузного подвижного состава. Показано, что ввиду поддержания необходимого уровня грузоперевозок наиболее рационально эксплуатировать восьмиосные грузовые вагоны, устанавливаемые на четырехосные тележки. Изучены конструктивные особенности опорных узлов различных систем четырехосных тележек, а также вопросы балансирных систем опирания на скользуны двухосных тележек, которые гарантируют устойчивость вагонов при прохождении больших неровностей в прямых и криволинейных участках пути, горбов сортировочных станций и аппарелей паромных переправ. Были проанализированы решения систем опирания на пятники соединительной балки четырехосной тележки и различные модернизации, при которых балансирные системы могут представлять собой подпружиненные элементы, гидравлические и клиновидные конструкции, опорные роликовые балансирные узлы. В статье обозначены оригинальные конструктивные решения, при которых кузов (котел) большегрузного вагона опирается на скользуны двухосных тележек с заменой тяжелой соединительной балки четырехосной тележки на облегченную связывающую балку с балансирной системой. Это значительно снизило массу тары вагона и воздействие на верхнее строение пути, сократило износ опорных узлов и ходовых частей, повысило грузоподъемность вагона, базу четырехосной тележки и погонную нагрузку на путь, увеличило динамические ходовые качества и запас устойчивости колес против схода в прямых и криволинейных участках пути. Поезда из таких вагонов везут в 1,5–2 раза большую массу грузов при той же длине и могут значительно поднять провозную и пропускную способности без удлинения станционных и сортировочных путей.

Ключевые слова

восьмиосный вагон, четырехосная тележка, скользуны, балансирные системы

Для цитирования

Попова Т.А. Эволюция систем опирания кузова восьмиосного вагона на ходовые части / Т.А. Попова, Г.И. Петров, В.Н. Филиппов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1 (81). С. 10–21. DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).10-21.

Информация о статье

поступила в редакцию: 05.10.2023 г.; поступила после рецензирования: 14.03.2024 г.; принята к публикации: 15.03.2024 г.

Evolution of systems for supporting the body of an eight-axle wagon on the running gear

Т.А. Popova✉, G.I. Petrov, V.N. Filippov

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, the Russian Federation

✉tatiana241187@gmail.com

Abstract

The work considers the stages of modernization and various designs of the supporting devices of the of heavy-duty eight-axle wagons' running gear. The running gear of multi-axle bogies, which is responsible for uniform load distribution, ensuring the stability of heavy-duty rolling stock, has been studied in detail. It is shown that to keep the necessary level of freight transportation, the operation of eight-axle freight wagons mounted on four-axle bogies appears the most rational. The design features of the support units of various four-axle bogie systems are considered as well as the issues of balancing systems of support on the slides of two-axle bogies, which ensure the stability of wagons when passing large irregularities in straight and curved sections of the track, humps of marshalling yards and ramps of ferry crossings, were studied. The solutions for the systems of supporting on the footplates of connecting beams of the four-axle bogie were analyzed, as well as various upgrades in which the balancing systems can be spring-loaded elements, hydraulic and wedge-shaped structures, support roller balancing units. The paper highlights unorthodox design solutions in which the body (boiler) of a heavy-duty wagon rests on the slides of two-axle bogies, with the replacement of a heavy connecting beam of a four-axle bogie by a lightweight connecting beam with a balancing system. This significantly reduced the weight of the wagon container and the impact on the upper structure of the track, the wear of the support

units and running gear, increased its load capacity of the wagon, the base of the four-axle trolley and the linear load on the track, dynamic driving characteristics and the margin of stability of the wheels against derailment in straight and curved sections of the track. Trains of such wagons carry 1,5–2 times the mass of goods at the same length and can significantly increase the carrying capacity and throughput without increasing the length of station and marshalling tracks.

Keywords

eight-axle wagon, four-axle bogies, sliders, balancing systems

For citation

Popova T.A., Petrov G.I., Filippov V.N. Evolyutsiya sistem opiraniya kuzova vos'miosnogo vagona na khodovye chasti [Evolution of systems for supporting the body of an eight-axle wagon on the running gear]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 1(81), pp. 10–21. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.1(81).10-21.

Article Info

Received: October 5, 2023; Revised: March 14, 2024; Accepted: March 15, 2024.

Введение

Возможности механизации и автоматизации при строительстве железных дорог, обеспечении движения, строительстве и ремонте вагонов, а также составлении и разгрузке поездов зависят от функций конструкционных решений. Тенденции обеспечения максимального грузоперемещения за минимальный срок и наименьшими ресурсами приводит к желанию реализовать вагоны с повышенной грузоподъемностью. Однако при перегрузке обычных вагонов наблюдается не только износ деталей подвижного состава, возможны деформация и повреждения верхнего строения пути, порча основной площадки земляного полотна участков, на которых проходит эксплуатация вагонов с повышенной грузоподъемностью и тарой.

Цель данной работы – рассмотрение различных модификаций шести- и восьмиосных вагонов для выявления наиболее оптимального конструктивного решения, обеспечивающего равномерное распределение нагрузки на верхнее строение пути при различных условиях эксплуатации. Варианты основаны на изменении количества точек контакта корпуса вагона и тележек, что позволяет достичь более равномерной нагрузки на головки рельсов и снизить показатели веса на единицу площади пути.

Разновидности конструкций грузовых вагонов

Одной из рассматриваемых модификаций является фитинг – платформа для транспортировки тяжеловесных грузов, модель 13-7024. Ходовая часть представляет собой две двухосных тележки. Данная модель обладает высокой грузоподъемностью, однако основным ее недо-

статком является невозможность перевозить одновременно четыре 20-футовых контейнера, загруженных до предельного веса (24 т). Для решения этой проблемы рекомендуется рассмотреть возможность увеличения числа осей [1].

Еще один вариант – грузовая платформа для транспортировки рельсов длиной 25 м, состоящая из специальных четырехосных тележек, каждая из которых представляет собой объединение двух двухосных частей с удлиненной рамой сварной конструкции. На средней части соединительной балки установлен подпятник увеличенного диаметра, который поддерживает раму кузова. Дополнительно предусмотрены скользуны, амортизирующие нагрузку в случае действия боковых сил.

Узел сопряжения рамы вагона с тележками представляет собой слабое звено из-за трещин, которые появляются на соединительной балке в концевой зоне при эксплуатации. Имеется возможность установки общей рамы сочлененного вагона на две крайние и одну среднюю тележки, соединенные шарнирным узлом.

В работе [2] была продемонстрирована альтернативная модель: платформа для перевозки грузов на железнодорожном транспорте с увеличенным межосевым расстоянием, которое способствует распределению нагрузки и увеличению устойчивости платформы. Конструкция отличается тем, что в центре платформы размещается устройство с тележкой, имеющей возможность передвижения, сопряженной с пятником шкворнем-адаптера рамы. Это нововведение позволяет повысить грузоподъемность и увеличить нагрузку на длинную вагон-платформу путем установки дополнительного количества колесных пар. Благодаря шкворнем-адаптеру цен-

тральная часть рамы может отклоняться от тележки, что обеспечивает отличную проходимость вагона по извилистым участкам железнодорожного пути.

Помимо перечисленных вариантов необходимо рассмотреть конструктивную особенность вагонов-цистерн. Например, модель 15-871: цистерна восьмиосная для перевозки светлых и темных нефтепродуктов с объемом котла 140 м³.

Особого внимания требует опора котла. Именно через нее проходят основные нагрузки от цистерны на тележку. Опора, которая одновременно выполняет функцию консольной части рамы, обладает усиленными хребтовой и шкворневой балками. В месте их пересечения располагается усиление пятников.

В ходовых частях восьмиосных цистерн используются четырехосные тележки, которые соединены соединительной балкой. Балка снизу в концевых частях оборудована пятниками и скользунами, опирающимися на подпятники и скользуны надрессорных балок двухосных тележек. Сложная форма соединительной балки тележки обусловлена необходимостью восприятия больших вертикальных нагрузок при ограниченных размерах для размещения.

Балансирные системы опирания и сочленения

Балансирующие узлы и системы опирания и сочленения несущего кузова (котла) восьмиосного вагона на две четырехосные и четыре двухосные тележки играют важную роль в распределении нагрузок от колесных пар на железнодорожный путь. Эти узлы способны обеспечить стабильность и безопасность движения поезда, а также увеличить проходимость на сложных участках пути. В данной статье рассмотрены принципы работы балансирующих систем, основные типы их конструкции, а также преимущества использования данного технического решения.

Балансирные узлы соединяют главный кузов вагона с его тележками, обеспечивая равенство нагрузки на каждую ось. Ввиду того, что для разных моделей двухосных тележек есть ограничения по нагрузке каждой колесной пары на рельсы – менее 23,5 (или 25) тс, увеличение числа осей вагона позволяет решить вопрос повышения грузоподъемности и, как следствие, грузооборота. Особенно это актуально

для грузовых поставок в регионы восточной части нашей страны и Сибири.

Существует несколько типов балансирных узлов опирания и сочленения кузова восьмиосного вагона и четырехосных тележек: механические, гидравлические и гидромеханические. Каждый из них имеет свои особенности и применяется в зависимости от конкретной ситуации. Однако независимо от типа узла его задачей является обеспечение оптимального распределения нагрузки на путь и поддержание устойчивости движения вагона в поезде в прямых и криволинейных участках пути.

Использование балансирных узлов несет в себе ряд незаменимых условий:

- повышается безопасность движения поезда, так как предотвращается перегрузка осей или опасное неравномерное распределение нагрузки на путь;
- снижается износ ходовых частей и рельсовых путей, так как компенсируются неровности пути и минимизируется воздействие динамических нагрузок;
- балансирные узлы опирания вагона на скользуны тележек позволяют повысить проходимость поезда на сложных участках пути, что особенно важно при движении на участках железнодорожных путей удовлетворительного технического состояния.

В ряде работ [3–5] рассмотрена специфика и конструктивные особенности исполнения ходовых частей вагонных тележек, обеспечивающих безопасность движения подвижного состава.

Балансирные узлы сочленения представляют собой элементы железнодорожной тележки, которые обеспечивают равномерное распределение нагрузки от кузова на скользуны надрессорных балок двухосных тележек. Благодаря этому достигается максимальная плавность передвижения поезда. Одной из главных функций балансирующих узлов является компенсация вертикальных перемещений при прохождении поезда больших неровностей пути при движении через горб сортировочных станций и аппарелей паромных переправ и вагоноопрокидывателей. Балансирные узлы позволяют снизить воздействие таких неровностей пути и предотвратить возникновение опасных перемещений и возможных повреждений.

Особенностью балансирных узлов опирания и сочленения является их конструкция. Они

обычно состоят из нескольких элементов, которые работают синхронно для обеспечения нормальной работы всего узла. Для выбора оптимальной конструкции и рациональных параметров необходимо проведение компьютерного моделирования движения таких вагонов в прямых и криволинейных участках пути по магистральным и промышленным путям различного технического состояния в диапазоне эксплуатационных и конструкционных скоростей движения [6, 7].

К задачам динамики, выдвигаемым в связи с ростом осевых нагрузок на первый план, необходимо отнести проблемы определения оптимальных (рациональных) геометрических, инерционных, жесткостных и фрикционных параметров ходовых частей, балансирных узлов опирания и сочленения тележек, а также вопросы обеспечения безопасности движения и устойчивости таких вагонов.

Четырехосные тележки

В нашей стране были проведены исследования по вводу в эксплуатацию многоосных большегрузных вагонов. На сегодняшний день разработаны такие конструкции трехэлементных двухосных тележек: модель 18-9889 и модель 18-9890, унифицированные по таким узлам, как скользуны, пружины рессорных комплектов, клинья, буксовые узлы, тормозная рычажная передача и балки авторежима. Конструктивные различия тележек обусловлены их грузоподъемностью и заключаются в разном диаметре подпятникового узла в надрессорной балке и в конфигурации направляющих (ограничителей) рессорного комплекта [8].

Однако с точки зрения динамики наилучшим образом себя зарекомендовали тележки с кратным двум числом осей. При рассмотрении многоосных вагонов наиболее оптимальным является именно восьмиосный вагон на четырехосных тележках [8].

Роль четырехосных тележек в балансировании узлов сочленения вагона заключается в компенсации перемещений, различных динамических сил и моментов, возникающих при движении по неровностям пути в прямых и криволинейных участках. Например, при движении в крутых кривых с отклонениями в содержании рельсовой колеи в плане и профиле одна сторона тележки испытывает большую нагрузку, чем другая. Четырехосная тележка способна автоматически распределить нагрузку

между осями таким образом, чтобы минимизировать перегрузку на одну из сторон.

На сегодняшний день известны (некоторые реализованы и испытаны) следующие схемы опирания кузова восьмиосного вагона на скользуны двухосных тележек:

- опирание кузова на штамповварную или литую несущую конструкцию соединительной балки четырехосной тележки – типовая стандартная схема опирания кузовов восьмиосных полувагонов, цистерн, думпкаров и транспортеров, разработанные в Московском институте инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ);

- гидравлическое опирание кузова на скользуны двухосных тележек;

- рычажно-клиновое устройство опирания кузова на скользуны двухосных тележек (МИИТ);

- пружинное опирание кузова на скользуны двухосных тележек (МИИТ);

- рычажно-балансирное устройство опирания кузова, разработанное во Всесоюзном научно-исследовательском институте вагоностроения;

- рычажно-роlikовое устройство опирания кузова (МИИТ).

Конструкции опирания кузова на скользуны двухосных тележек рассматриваются в работе [9]. Некоторые варианты представлены на рис. 1.

Проблематика разработки конструктивных схем и балансирующих систем вагонов до сих пор одна из наиболее актуальных. Для нахождения оптимальных конструктивных решений для снижения металлоемкости конструкции при повышении ее грузоподъемности необходимо определить рациональные геометрические, жесткостные, фрикционные и инерционные параметры балансирных систем и их опорных устройств. Применительно к двухосным грузовым тележкам использование раздельного способа передачи вертикальных и горизонтальных нагрузок от кузова на ходовые части дает существенное преимущество для улучшения динамических качеств и снижения металлоемкости конструкции [10].

Одной из базовых конструктивных особенностей четырехосных тележек является система, состоящая из двух блоков, связанных с помощью соединительной балки, представляющей собой жесткую конструкцию. Основная задача соединительной балки – обеспечить

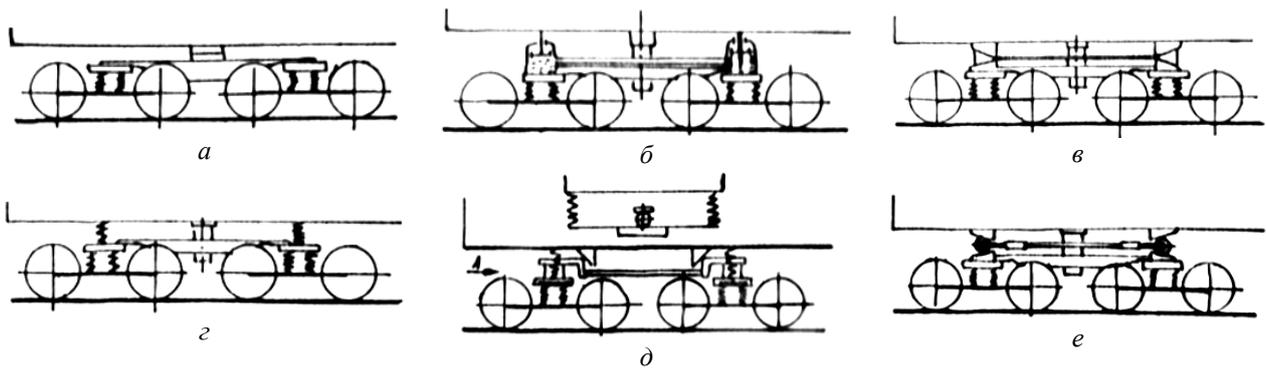


Рис. 1. Варианты конструкций опорных элементов восьмиосного вагона:

a – опирание кузова при помощи соединительной балки; *б* – гидравлическое опирание кузова на скользящие элементы двухосной тележки; *в* – рычажно-клиновое устройство опирания кузова на скользящие элементы двухосных тележек; *г* – пружинное опирание кузова на скользящие элементы двухосных тележек; *д* – рычажно-балансирующее опирание кузова; *е* – рычажно-роликное устройство опирания кузова

Fig. 1. Design options for supporting elements of an eight-axle wagon:

a – supporting the body using a connecting beam; *b* – hydraulic support of the body on the sliders of a two-axle bogie; *c* – lever-wedge device for supporting the body on the sliders of biaxial bogies; *d* – spring support of the body on the sliders of biaxial bogies; *e* – lever-balance support of the body; *f* – lever-roller device for supporting the body

равномерное распределение нагрузки между осевыми группами тележек и поддерживать стабильность положения каждого из узлов сочленения. Для этого предъявляются повышенные требования к прочности и массе. Важно отметить, что конструкция соединительной балки должна обеспечивать возможность регулировки положения узлов сочленения. Это необходимо для компенсации износа и снижения вибрации при движении по рельсам.

Для погашения колебаний вагонов на соединительную балку жестко устанавливаются пятники, на которые приходятся все механические воздействия от вагонов.

Система амортизации тележки поглощает удары и вибрацию при движении по неровным путям, снижая вертикальные нагрузки. Кроме того, наличие сухого трения позволяет снизить как горизонтальные, так и вертикальные нагрузки.

Соединительная балка массивна и состоит из двух штампованных элементов верхнего листа 1 толщиной 16 мм, нижнего листа 2 толщиной 20 мм, четырех опор крайних скользунов 5, двух крайних пятников 4 и одного центрального подпятника 8. Подпятник приваривается к верхнему листу балки, а крайние пятники – к нижнему. Крайними пятниками 4 балка опирается на подпятники двухосных тележек. Центральный подпятник 8 тележки со шкворневым отверстием является главной опорой пятника рамы вагона. Балка усилена продольными 3 и поперечными

7 ребрами жесткости. По бокам средней части балки приварены центральные скользящие элементы б, которые являются дополнительными опорами кузова при вписывании вагона в кривые участки пути или при проходе стрелочных переводов. Кроме штампованной соединительной балки в четырехосных тележках встречаются балки литой конструкции. Балка отливается из мартеновской стали пустотелой формы. Конструкция соединительной балки показана на рис. 2.

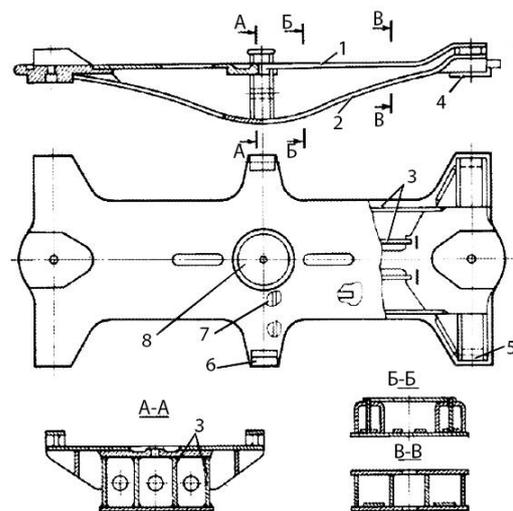


Рис. 2. Конструкция соединительной балки

четырёхосной тележки из двух двухосных тележек восьмиосного вагона с опорами на подпятники

Fig. 2. Design of the connecting beam of a four-axle bogie composed from two biaxial bogies of an eight-axle wagon with supports on thrust bearings

Пятники соединительной балки являются одним из ключевых элементов конструкции. Пятники – специальные узлы, которые предназначены для распределения нагрузки от кузова вагона на соединительную балку и на две двухосные тележки.

Для обеспечения надежности опоры пятников необходимо правильно подобрать размеры и материалы, из которых они изготавливаются. Необходимое условие – выдерживать нагрузку от вагона и передавать ее на соединительную балку без деформаций или повреждений.

Конструктив балок, а также пути ее модернизации поднимались в работе [11].

Важным аспектом при проектировании пятников является также расстояние между осями и высота опоры. Оптимальное расстояние между осями позволяет обеспечить равномерное распределение нагрузки на весь вагон, а правильная высота опоры позволяет поддерживать соединительную балку в горизонтальном положении для обеспечения стабильности движения.

В работе [12] подробно описана механика передачи усилий в узлах «пятник – подпятник» между вагоном и двумя четырехосными тележками, состоящими из двух двухосных тележек каждая. Представлена модель вагона с упрощенным описанием подвешивания и заданием полных нелинейных силовых характеристик связей «пятник – подпятник» и боковых скользунов, показанных на рис. 3.

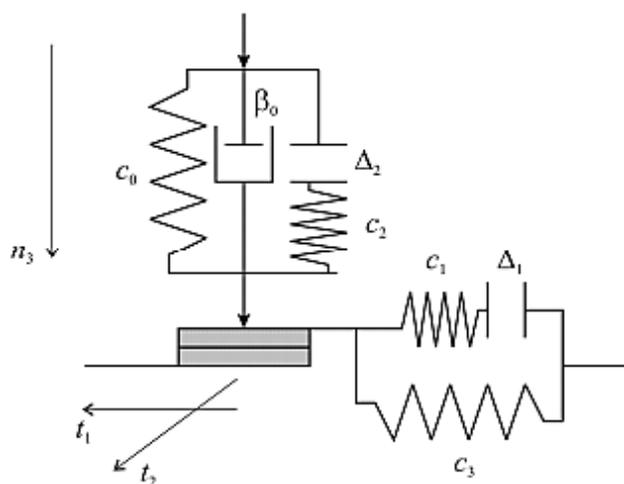


Рис. 3. Механическая схема, моделирующая связь «пятник – подпятник» и боковых скользунов
Fig. 3. Mechanical diagram simulating the «heel – thrust» and side sliders connections

При анализе данного узла необходимо учитывать такие параметры, как жесткость поджимающей пружины (c_0), действие силы трения (t), величины зазоров (Δ) [13].

В случае, когда кузов опирается на жесткие опоры боковых скользунов тележек, движение менее устойчиво.

Одним из способов модернизации и повышения надежности была предложена замена технологического исполнения соединительной балки, показанная в работе [14]. Требуемый технический результат становится возможным благодаря тому, что в четырехосной тележке грузового вагона в качестве соединительной устанавливалась несущая соединительная литая балка.

Конструктивное исполнение скользунов между кузовом и тележкой вагона

Как показано в работе [15], установка жестких скользунов с зазором вместо упругих способствует снижению темпа износа гребней колес до 24 % в прямых большого радиуса и увеличению темпа износа поверхностей катания до 104 % в прямых и кривых большого радиуса, а также росту темпа износа поверхностей катания до 64 % в кривых малого радиуса, но это относится к четырехосным вагонам с короткой базой.

Применение в тележках упруго-фрикционной связи колесных пар с боковыми рамами в сочетании со скользунами с корректно подобранным моментом трения способствует уменьшению темпов износа гребней колес в кривых малого радиуса до 17 %, поверхностей катания для всех участков пути – до 135 % по сравнению с таковыми для тележки с жестким буксовым узлом и скользунами с зазором (тележка модели 18-100) [15].

Упруго-катковый скользящий используется для оснащения двухосных тележек грузовых вагонов. Он состоит из коробчатого корпуса с плотными бортами и частично закрытыми торцевыми отверстиями, двух одинаковых упругих опор из полимерного материала, которые устанавливаются в корпусе и имеют скошенные верхние торцы с углублениями, металлического колпачка с профилем, близким к равнобедренному треугольнику. Конструктивные выступы на скошенных боковинах помещаются в углубления упругих опор. Также к элементам скользуна относят плоские площадки, которые

должны быть стойкими к износу, и цилиндрические катки, расположенные на поверхности катания внутри корпуса. Ось катка практически перпендикулярна бортам корпуса, а его боковая поверхность в исходном положении выступает над этими бортами, но остается ниже плоской площадки колпачка.

Корпус скользуна представляет собой цельнолитое изделие с поперечной перегородкой, разделяющей конструкцию на два отсека. Упругие опоры устанавливаются в первом отсеке, а верхняя часть торцевого отверстия этого отсека закрыта дополнительной перегородкой, которая выполняется вместе с корпусом. Каток помещается на поверхность катания во втором отсеке [16]. Еще одним из способов повышения устойчивости стало применение пружинных опор, обеспечивающих демпфируемость системы и применявшихся в качестве опытных опорных устройств восьмиосного полувагона. Конструктивное исполнение представлено на рис. 4.

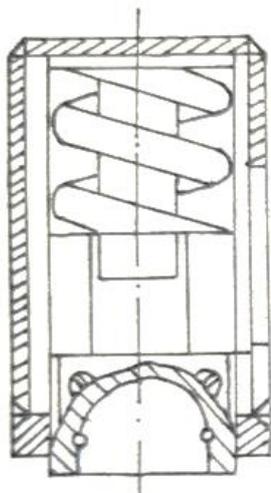


Рис. 4. Схема пружинной опоры
Fig. 4. Spring support diagram

Клиновые опоры

Опора опытного образца восьмиосного полувагона на рычажно-клиновое балансирующее устройство двухосных тележек является одной из ключевых составляющих его конструкции. Эта система позволяет обеспечить равномерное распределение нагрузки на все оси вагона и гарантировать его стабильность при движении по рельсам.

Рычажно-клиновое балансирующее устройство состоит из специальных сочленений, которые сопрягают вагон и тележку. Они

выполняют функцию передачи вертикальных нагрузок от вагона на тележку и обратно. Каждое сочленение имеет свою уникальную форму, позволяющую компенсировать неравномерное распределение нагрузки между осями (рис. 5).

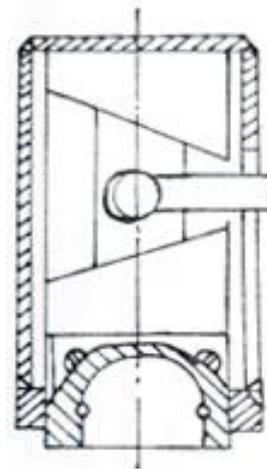


Рис. 5. Схема клиновой опоры
Fig. 5. Wedge support diagram

Одной из особенностей этой системы является использование клиновых элементов. Клин представляет собой треугольную форму, которая используется для создания опорной точки между вагоном и тележкой. Когда вагон движется по рельсам, вертикальные нагрузки передаются через клины с помощью рычажных механизмов.

Основное распределение нагрузок осей вагона на тележку определяется геометрией клинового соединения между ними.

При клиновой опоре вагона на тележку нагрузка передается от вагона на оси тележки с помощью клинов и клиноприемников. Каждый клин имеет свое назначение и нагрузку, которую он принимает. Нагрузка распределяется пропорционально коэффициентам клиноопоры, который зависит от геометрии клинов и клиноприемников. Такой конструктив позволяет снизить боковые силы, возникающие при движении по кривым участкам пути и обеспечивает равномерное распределение нагрузок между осями тележки.

В работе [17] подробно изучено применение клиновидных опор для балансировки кузова восьмиосного вагона и четырехосных тележек. Схема механических воздействий показана на рис. 6, где X и Z – смещение по горизонтальному и вертикальному направлениям

соответственно. Следует отметить, что существуют потери на трение при клиновидной опоре F_2 .

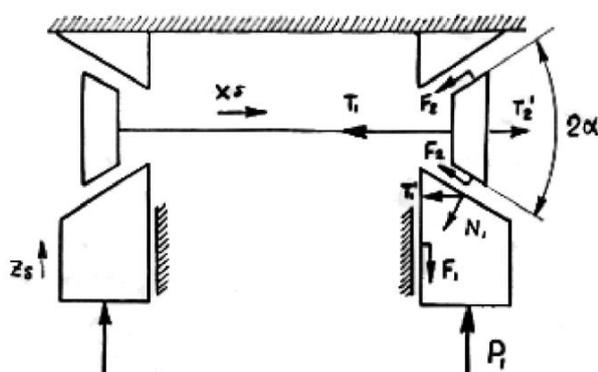


Рис. 6. Распределение нагрузок при клиновидной опоре
Fig. 6. Load distribution with wedge support

Опора вагона на ролико-катковые опоры тележек

Дальнейшая модификация вагонных тележек привела к установке ролико-катковых механизмов, которая направлена на снижение сил трения в процессе механического взаимодействия кузова восьмиосных вагонов и вагонных тележек.

Ролико-катковые опоры состоят из цилиндрических роликов, расположенных на неподвижной основе, а также катков, которые могут свободно вращаться. Ролики поддерживают вес вагона и передают его на катки, обеспечивая плавное скольжение по поверхности.

Преимуществом данной конструкции является возможность компенсации неровностей пути. При движении по дороге с неровностями или перегибами тележки могут колебаться и изменять положение относительно опорного узла. Благодаря роликам и каткам опорная система может подстраиваться под эти изменения, обеспечивая стабильность и равномерное распределение нагрузки.

Важным аспектом в использовании ролико-катковых опор является правильная настройка и обслуживание. Ролики должны быть установлены таким образом, чтобы они равномерно распределяли нагрузку и не причиняли излишнего износа поверхности тележек. Также необходимо периодическое смазывание катков для снижения трения и улучшения работоспособности. Конструктивные варианты ролико-катковых опор представлены на рис. 7.

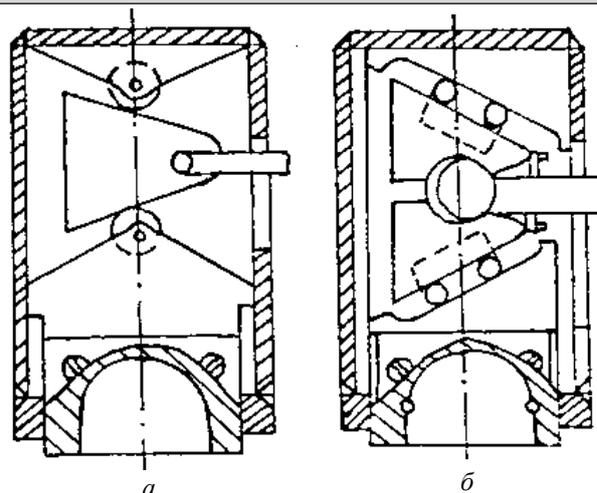


Рис. 7. Боковая опора с использованием роликов:
а – опора на пару упругих роликов;
б – опора на пару удвоенных роликов

Fig. 7. Side support using rollers:

а – support on a pair of elastic rollers;
б – support on a pair of doubled rollers

Л-образный рычаг балансирующей системы

Л-образный рычаг является одной из основных деталей балансирующей системы восьмиосного вагона. Он выполняет важную функцию обеспечения горизонтального и вертикального равновесия при движении поезда.

В состав Л-образного рычага входят две части: горизонтальная и вертикальная. Горизонтальная часть рычага связывает сочленение вагона с тележками, а вертикальная – горизонтальную часть с осью колеса. Благодаря такой конструкции Л-образный рычаг позволяет распределять нагрузку между осями колес и поддерживать стабильность движения.

В процессе движения поезда при изменении условий загрузки или скорости возникают дополнительные неравномерности нагрузки на оси колес, которые могут привести к нестабильности и повреждению тележек или вагона. В этом случае балансирующая система с помощью Л-образного рычага автоматически корректирует наклонность и положение каждой тележки для обеспечения оптимальной равномерной нагрузки на все оси.

Л-образный рычаг имеет регулируемые соединения, которые позволяют изменять его длину и угол наклона. Это помогает адаптировать балансирующую систему под различные условия эксплуатации и требования перевозимого груза. Также регулировка Л-образного

рычага может быть необходима при замене колес или тележек.

Важным элементом L-образного рычага является его жесткость. Она должна быть достаточной для обеспечения стабильности, но в то же время не слишком высокой, чтобы предотвратить возникновение избыточных напряжений и повреждений. При разработке и производстве L-образного рычага используются специальные материалы и технологии, которые обеспечивают оптимальную жесткость и прочность этой детали.

Выбор оптимального конструктивного решения

На основе обзоров различных вариантов конструктивных решений наиболее перспективным можно назвать использование четырехосных тележек, представляющих собой две двухосные тележки, соединенные облегченной балкой, на которую через скользящие опоры опирается кузов восьмиосного вагона.

Конструкция опорного узла предусматривает выравнивание вертикальных нагрузок при помощи рычагов, соединенных между собой продольными тягами, которые в свою очередь закреплены шарнирно на кронштейнах рамных балок. Данные рычаги выполняются геометрически несимметричными, а угол изгиба их горизонтальных плеч зависит от величины базы четырехосной тележки и расстояния между опорными устройствами. Различные перекосы, которые возникают при перемещении элементов опорного механизма, выравниваются в рамках катка, и по существу представляют собой классический шарнир Гука. Для снижения уровня рамных сил в данной системе предполагается применение катковых опор на скользящие.

Опора на боковые скользящие тележки с заменой соединительной балки

В работе [9] рассмотрена конструкция балансирующего механизма, реализованного на применении облегченной соединительной балки с опорой кузова вагона на скользящие четырехосных тележек. Данный вариант позволяет получить наиболее оптимальное распределение нагрузки с точки зрения контактного поглощения механических воздействий как вертикально, так и горизонтально направленных (рис. 8).

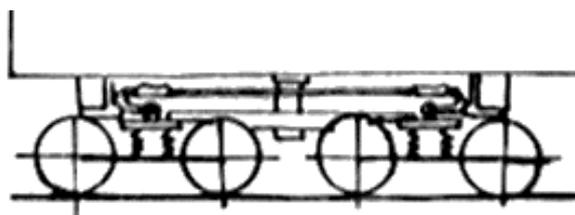


Рис. 8. Балансировочный механизм на скользящие двухосных тележек при замене соединительной балки на облегченную

Fig. 8. Balancing mechanism for sliders of biaxial bogies when replacing the connecting beam with a lightweight one

Одним из наиболее важных вопросов является нахождение оптимальных геометрических размеров зазоров между скользящими. В работе [18] была разработана математическая модель для определения наиболее оптимальных параметров.

При этом необходимо учитывать, что при прохождении кривых опора опирается на кромку подпятника, а не на центральную его часть (рис. 9).



Рис. 9. Принцип работы участков узла «пятник – подпятник» при наклонах

Fig. 9. The principle of operation of the node sections «wheel – thrust» when tilting

Вопросы по учету перевалки кузова подробно затронуты в работе [19]. В зоне контакта «пятник – подпятник» нагрузка от кузова может распределяться равномерно или неравномерно. При этом неравномерная нагрузка может распределяться как по всей площади под упорной поверхностью пятника, так и по ее отдельным частям (при отрыве края пятника от подпятника).

Для подтверждения правильности выбора конструкции предполагается проведение численного компьютерного моделирования и оценки сил, действующих на рамные конструкции, а также контактных сил «колесо – рельс».

Любая тележка проходит этапы контроля на соответствие техническим нормам и требо-

ваниям, что отражено в [20]. Все тележки подвергаются обязательному выходному контролю, существует строгий регламент на мероприятия, проводимые в ходе деповского и капитального ремонтов.

Заключение

В заключении необходимо отметить, что на основе анализа эволюции систем опирания следует, что балансирующие узлы опирания и сочленения восьмиосного вагона и четырехосных тележек играют важную роль в железнодорожной индустрии. Они обеспечивают лучшую стабильность и безопасность движения именно для восьмиосного вагона в поезде, а также повышают запас устойчивости против схода его с рельсов и проходимость на особо сложных участках пути. Правильный выбор типа узла и его эффективное использование могут значительно повысить эффективность работы железнодорожного транспорта. Конструктивные особенности восьмиосных вагонов с опиранием кузова на скользуны двухосных тележек также определяют уникальную способность такой системы автоматически подавлять опасные колебания. Большегрузные вагоны с опиранием кузова на скользуны двухосных тележек имеют более эффективную систему подвески и демпфирования, чтобы предотвратить излишние колебания при проезде по опасным неровностям пути или при изменении скорости.

Опоры восьмиосного вагона на рычажно-клиновое или рычажно-катковое балансирующее устройство опирания на скользуны двухосных тележек играет важную роль в обеспечении лучшей стабильности и равномерного распределения нагрузки при движении по рельсам

с неровностями в прямых и криволинейных участках пути с худшими параметрами содержания. Благодаря использованию клиновых или катковых элементов и сочетанию с рычажными механизмами балансировки нагрузок данная система способна эффективно автоматически компенсировать неравномерность нагрузки на двухосные тележки. Однако есть необходимость контроля и обслуживания этой системы для ее надежной работы. Для этого требуется проведение исследований по определению рациональных геометрических, жесткостных, фрикционных и инерционных параметров узлов и деталей таких вагонов, проведение компьютерного моделирования динамических и ходовых режимов движения всех видов с постройкой опытных образцов и их натурных статических, динамических и ударных испытаний.

Постановка на тележку упругих скользящих и частичная передача вертикальной нагрузки от кузова приводит к улучшению динамических качеств вагона в горизонтальном направлении. При движении по пути с перекосами у порожних восьмиосных вагонов с пружинами и опорами на скользуны рамные силы ниже, чем у подобных вагонов с клиновой балансирующей системой.

Для того чтобы тележки обеспечивали требуемые ходовые качества вагона, они должны иметь рациональную конструктивную схему и оптимальное значение параметров рессорного подвешивания. В опорах кузова на тележки должно быть достаточное трение, необходимое для гашения колебаний виляния и ограничения поворота тележки относительно кузова.

Список литературы

1. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм : альбом-справочник 002И-2009 ПКБ ЦВ (ремонт) / Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства филиал ОАО «РЖД». М., 2009. URL: <http://scbist.com/vagony-i-vagonnoe-hozyaistvo/51805-gruzovye-vagony-kolei-1520mm-albom-spravochnik-002i-2009-pkb-cv.html> (Дата обращения 25.09.2023).
2. Пат. 2754932. Рос. Федерация. Длиннобазовая железнодорожная вагон-платформа для перевозки крупнотоннажных контейнеров / В.В. Тюньков, В.Н. Железняк, Ю.В. Воронова и др. № 2020131535 ; 24.09.2020 ; опублик. 08.09.2021, Бюл. № 25. 12 с.
3. Анализ центрального подвешивания тележки вагона метрополитена / Г.И. Петров, В.В. Писаренко, О.И. Паначев и др. // Безопасность движения поездов : материалы XVII науч.-практ. конф. М., 2016. С. II-100–II-102.
4. Ефимов В.П., Пранов А.А., Павлюков А.Э. Тележки для перспективных грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт. 2002. № 4. С. 46–49.
5. Турутин И.В., Рудакова Е.А., Конструкция тележек моделей 18-9889 и 18-9890 для инновационных четырех и шестиосных грузовых вагонов // Транспорт Российской Федерации. 2013. № 3 (46). С. 10–12.
6. Wheel-rail contact : handbook of Railway Vehicle Dynamics / ed. by S. Iwnicki. Boca Raton : London, New York: CRC Press, 2006. 552 p.
7. Тибилов Т.А. Нелинейные задачи динамики рельсовых экипажей // Проблемы механики железнодорожного транспорта : тезисы докл. всесоюз. конф. Днепропетровск, 1980. С. 137–138.

8. Бороненко Ю.П., Рудакова Е.А., Орлова А.М. Инновации в тележках грузовых вагонов: реальность и перспективы // Наука и транспорт. 2009. № 5. С. 14–17.
9. Петров Г.И. Динамика многоосных грузовых вагонов с опиранием кузова на скользящие : дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 308 с.
10. Types of bogies // Trackopedia : site. URL: <https://www.trackopedia.com/en/encyclopedia/railway-vehicles/types-of-bogies> (Дата обращения 25.09.2023).
11. Романова А.А. Повышение ресурса соединительной балки // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2004. № 1. С. 63–66.
12. Орлова А.М. Влияние конструктивных схем и параметров тележек на устойчивость, ходовые качества и нагруженность грузовых вагонов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2008. 34 с.
13. Орлова А.М., Саидова А.В., Разработка математических моделей вагона на тележках 18-9810 и 18-9855 для исследования износов колес // Наука и прогресс транспорта. Вестн. Днепропетров. нац. ун-та ж.-д. трансп. 2013. № 2 (44). С. 118–123.
14. Пат. Рос. Федерация 216548. Четырехосная тележка для грузового вагона / С.А. Раловец, А.В. Маненков, А.В. Григорьев. № 2023101278 ; заявл. 23.01.2023 ; опубл. 14.02.2023, Бюл. № 5. 8 с.
15. Саидова А.В. Влияние характеристик буксового узла и боковых скользящих тележек грузового вагона на износ колес // Бюл. результатов научных исследований. 2014. № 1 (10). С. 170–176.
16. Пат. Рос. Федерация 29020. Упруго-катковый скользящий / В.Ф. Ушкалов, Брюс Г. Гатнарек, Денис Л. Рен. № 2002124396/20 ; заявл. 19.09.2002 ; опубл. 27.04.2003, Бюл. № 12. 7 с.
17. Филиппов В.Н. Особенности расчета, анализа и пути улучшения динамических показателей перспективных большегрузных вагонов : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1986. 384 с.
18. Иванов Д.В. Влияние технического состояния ходовых частей грузовых вагонов на безопасность движения и износ в системе колесо-рельс : дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 203 с.
19. Бороненко Ю.П., Житков Ю.Б. Уточнение силовой характеристики связи кузова вагона с тележками при перевалке на плоских пятниках // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2016. Т. 13. № 2 (47). С. 133–145.
20. Ремонт тележек грузовых вагонов. Руководящий документ. РД 32 ЦВ 052-2009 : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества 14.05.2010, протокол № 52. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.

References

1. Gruzovye vagony zheleznykh dorog kolei 1520 mm: al'bom-spravochnik 002I-2009 PKB TsV (remont) [Freight wagons of railways of 1520 mm gauge: Album-reference book 002I-2009 PCB TsV (repair)]. Available at: <http://scbist.com/vagony-i-vagonnoe-hozyaistvo/51805-gruzovye-vagony-kolei-1520mm-albom-spravochnik-002i-2009-pkb-cv.html> (Accessed September 25, 2023).
2. Tyun'kov V.V., Zheleznyak V.N. Voronova Yu.V., Martynenko L.V. Romashov A.V., Ushkov M.G., Lebedev I.N. Patent RU 2754932 C1, 08.09.2021.
3. Petrov G.I., Pisarenko V.V., Panachev O.I., Sokolov A.M. Analiz tsentral'nogo podveshivaniya telezhki vagona metropolitena [Analysis of the central suspension of the trolley of the subway wagon]. *Materialy XVII nauchno-prakticheskoi konferentsii «Bezopasnost' dvizheniya poezdov»* [Proceedings of the XVII Scientific and Practical Conference «Train safety»]. Moscow, 2016, pp. II-100–II-102.
4. Efimov V.P., Pranov A.A., Pavlyukov A.E. Telezhki dlya perspektivnykh gruzovykh vagonov [Trolleys for perspective freight wagons]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2002, no. 4, pp. 46–49.
5. Turutin I.V., Rudakova E.A., Konstruktsiya telezhki modelei 18-9889 i 18-9890 dlya innovatsionnykh chetyrekh i shestiosnykh gruzovykh vagonov [Construction of bogies of models 18-9889 and 18-9890 for innovative four- and six-axle freight wagons]. *Transport Rossiiskoi Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2013, no. 3 (46), pp. 10–12.
6. Wheel-rail contact: handbook of Railway Vehicle Dynamics / ed. by S. Iwnicki. Boca Raton : London, New York: CRC Press, 2006. 552 p.
7. Tibilov T.A. Nelineinye zadachi dinamiki rel'sovykh ekipazhei [Nonlinear problems of dynamics of rail crews]. Tezisy dokladov vsesoyuznoi konferentsii «Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta» [Theses of reports of the All-Union conference «Problems of mechanics of railway transport»]. Dnepropetrovsk, 1980, pp. 137–138.
8. Boronenko Yu.P., Rudakova E.A., Orlova A.M. Innovatsii v telezhkakh gruzovykh vagonov: real'nost' i perspektivy [Innovations in freight wagons: reality and prospects]. *Nauka i transport* [Science and Transport], 2009, no. 5, pp. 14–17.
9. Petrov G.I. Dinamika mnogoosnykh gruzovykh vagonov s opiraniem kuzova na skol'zunny [Dynamics of multi-axle freight wagons with the body resting on sliders]. Ph.D.'s theses. Moscow, 1986, 308 p.
10. Railway vehicles and components / Types of bogies (Electronic resource). Available at: <https://www.trackopedia.com/en/encyclopedia/railway-vehicles/types-of-bogies>. (Accessed September 25, 2023).
11. Romanova A.A. Povyshenie resursa soedinitel'noi balki [Increasing the life of the connecting beam]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg State Transport University], 2004, no. 1, pp. 63–66.
12. Orlova A.M. Vliyaniye konstruktivnykh skhem i parametrov telezhki na ustoychivost', khodovyye kachestva i nagruzhenost' gruzovykh vagonov [Influence of design schemes and parameters of bogies on stability, driving performance and loading of freight wagons]. Doctor's theses. Saint Petersburg. 2008, 34 p.
13. Orlova A.M., Saidova A.V., Razrabotka matematicheskikh modelei vagona na telezhkakh 18-9810 i 18-9855 dlya issledovaniya iznosov koles [Development of mathematical models of a wagon on trolleys 18-9810 and 18-9855 for the study of wheel wear]. *Nauka ta progres transportu* [Science and Progress for Transport], 2013, no. 2 (44), pp. 118–123.

14. Ralovets S.A., Manenkov A.V., Grigor'ev A.V. Patent RU 216548 U1, 14.02.2023.
15. Saidova A.V. Vliyanie kharakteristik buksovogo uzla i bokovykh skol'zunov teleshki gruzovogo vagona na iznos kolese [The influence of the characteristics of the axle box and the side slides of a freight wagon trolley on wheel wear]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of the results of scientific research], 2014, no. 1 (10), pp. 170–176.
16. Ushkalov V.F., Gatnarek Bryus G., Ren Denis L. Patent RU 29020 U1, 27.04.2003.
17. Filippov V.N. Osobennosti rascheta, analiza i puti uluchsheniya dinamicheskikh pokazatelei perspektivnykh bol'shegruznykh vagonov [Features of calculation, analysis and ways to improve the dynamic performance of promising heavy-duty wagons]. Doctor's theses. Moscow, 1986. 384 p.
18. Ivanov D.V. Vliyanie tekhnicheskogo sostoyaniya khodovykh chastei gruzovykh vagonov na bezopasnost' dvizheniya i iznos v sisteme koleso-rel's [The influence of the technical condition of the running gear of freight wagons on traffic safety and wear in the wheel-rail system]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2010, 203 p.
19. Boronenko Yu.P., Zhitkov Yu.B. Utochnenie silovoi kharakteristiki svyazi kuzova vagona s teleshkami pri perevalke na ploskikh pyatnikakh [Clarification of the power characteristics of the connection of the wagon body with trolleys during transshipment on flat center plates]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg State Transport University], 2016, vol. 13, no. 2 (47), pp. 133–145.
20. Rukovodyashchii dokument «Remont teleshkek gruzovykh vagonov RD 32 TsV 052-2009»: utv. Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva 14.05.2010, protokol no 52 [Guidance document «Repair of trucks of freight wagons RD 32 CV 052-2009»: approved By the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States on May 14, 2010, Protocol no 52].

Информация об авторах

Попова Татьяна Александровна, старший преподаватель кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: tatiana241187@gmail.com.

Петров Геннадий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой вагонов и вагонного хозяйства, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: petrov-gi@gmail.com.

Филиппов Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва; e-mail: filippov.vn@edu.rut-miit.ru.

Information about the authors

Tat'yana A. Popova, Assistant Professor of the Department of Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock, Russian University of Transport (MIIT), Moscow; e-mail: tatiana241187@gmail.com.

Gennadii I. Petrov, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Head of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Russian University of Transport (MIIT), Moscow; e-mail: petrovgi@gmail.com.

Victor N. Filippov, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Russian University of Transport (MIIT), Moscow; e-mail: filippov.vn@edu.rut-miit.ru.