

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 629.4.027.23
doi: 10.30987/2782-5957-2025-1-54-61

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ПОДШИПНИКАМИ КАССЕТНОГО ТИПА И РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БУКСОВЫХ УЗЛОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Валерий Семенович Коссов¹, Андрей Александрович Лунин², Юрий Алектинович Панин^{3✉}, Михаил Александрович Гаврюшин^{4✉}, Алексей Алексеевич Тихонов⁵

^{1,2,3,4,5} АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, Россия

¹ info@vnikti.com

² lunin-aa@vnikti.com

³ panin-ua@vnikti.com

⁴ gavryushin-ma@vnikti.com

⁵ tihonov-aa@vnikti.com

Аннотация

В статье представлены результаты оценки влияния установки колесных пар, оборудованных кассетными подшипниками и адаптерами в тележках грузовых вагонов. Рассмотрены варианты конструктивных исполнений буксовых узлов с различными типами подшипников. Проведен анализ геометрических параметров адаптеров различных производителей. В результате анализа результатов ходо-

вых динамических испытаний, проведенных на пути большого протяжения, выявлено уменьшение максимальных значений рамных сил у вагонов, оборудованных кассетными подшипниками с адаптерами на величину до 8%.

Ключевые слова: вагоны, подшипники, буксовые адаптеры, испытания, показатели, участки, пути.

Ссылка для цитирования:

Коссов В.С. Особенности конструкции тележек грузовых вагонов с подшипниками кассетного типа и результаты сравнительных испытаний различных типов буксовых узлов в условиях эксплуатации / В.С. Коссов, А.А. Лунин, Ю.А. Панин, М.А. Гаврюшин, А.А. Тихонов // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 1. – С. 54-61. doi: 10.30987/2782-5957-2025-1-54-61.

Original article
Open Access Article

DESIGN FEATURES OF FREIGHT CAR TRUCKS WITH CASSETTE-TYPE BEARINGS AND RESULTS OF COMPARATIVE TESTS OF VARIOUS BOX UNITS UNDER OPERATING CONDITIONS

Valery Semenovich Kossov¹, Andrey Aleksandrovich Lunin², Yury Alektinovich Panin^{3✉}, Mikhail Aleksandrovich Gavryushin⁴, Aleksey Alekseevich Tikhonov⁵

^{1,2,3,4,5} Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), Kolomna, Russia

¹ info@vnikti.com

² lunin-aa@vnikti.com

³ panin-ua@vnikti.com

⁴ gavryushin-ma@vnikti.com

⁵ tihonov-aa@vnikti.com

Abstract

The paper presents the results of assessing the impact of installing wheelsets equipped with cassette-

type bearings and adapters in freight car trucks. Variants of box unit designs with various types of bearings

are considered. Geometrics of adapters from various manufacturers are analyzed. The analysis of the results of running dynamic tests conducted on a long-distance track shows a decrease in the maximum values of

frame forces for cars equipped with cassette-type bearings with adapters up to 8%.

Keywords: cars, bearings, box adapters, tests, indicators, sections, tracks.

Reference for citing:

Kossov VS, Lunin AA, Panin YuA, Gavryushin MA, Tikhonov AA. Design features of freight car trucks with cassette-type bearings and results of comparative tests of various box units under operating conditions. Transport Engineering. 2025;1: 54-61. doi: 10.30987/2782-5957-2025-1-54-61.

Введение

Внедрение на грузовых вагонах, эксплуатируемых на Российских железных дорогах, подшипников буксовых кассетного типа началось с 2008 года. Первыми были оборудованы инновационные грузовые вагоны с осевой нагрузкой 25 тс на ось. В 2013 году на сети железных дорог эксплуатировалось около 6 тыс. этих вагонов с тележками, буксовые узлы которых были оборудованы подшипниками кассетного типа. По состоянию на конец 2023 года в эксплуатации на сети железных дорог Российской Федерации находилось более 400 тысяч грузовых вагонов с тележками, оборудованными кассетными подшипниками, что составляет около 37 % всего парка вагонов на сети РЖД [1]. Самых подшипников для новых вагонов было поставлено около 1,8 млн.

Снижение количества отцепок вагонов по неисправности буксовых узлов с подшипниками кассетного типа и соответственно уменьшение времени простоя вагонов в сравнении с вагонами, оборудованными буксовыми узлами с роликовыми подшипниками, стало основным аргументом в пользу применения этих подшипников на подвижном составе.

В связи с этим было решено провести сравнительный анализ показателей грузовых вагонов при эксплуатации роликовых и кассетных подшипников на грузовых вагонах. Если внедрение подшипников кассетного типа на инновационных вагонах с нагрузкой на ось 25 тс шло в соответствии с требованиями ГОСТ 15.902 «Система разработки и постановки продукции на производство. Железнодорожный подвижной состав. Порядок разработки и постановки на производство» [2], то для внедрения подшипников кассетного типа на вагоны с осевой нагрузкой на ось 23,5 тс необходимо было прове-

сти комплекс исследовательских работ и испытаний.

Поэтому ведущим научным организациям ОАО «РЖД» АО «ВНИИЖТ» и АО «ВНИКТИ» было поручено в 2019-2020 году проведение работы по «проведению испытаний и оценке экономической эффективности эксплуатации грузовых вагонов на тележках по ГОСТ 9246-2013 тип 2 [3] оборудованных кассетными буксовыми подшипниками в сравнении с грузовыми вагонами на тележках по ГОСТ 9246-2013 тип 2 оборудованных буксовыми подшипниками роликового типа для функционирования железнодорожной инфраструктуры общего пользования» [4].

В соответствии с планом мероприятий по внесению изменений в «Общее руководство по ремонту тележек грузовых вагонов тип 2 по ГОСТ 9246 с боковыми скользунами зазорного типа» РД32 ЦВ 052-2009 [5], утвержденным Федеральным агентством железнодорожного транспорта АО «ВНИКТИ» были проведены поездные испытания вагонов, оборудованных подшипниками кассетного типа на участке Алтайская-Хабаровск.

Работа была распределена на две части. Поездные испытания 6 вагонного сцепки из вагонов, оборудованных подшипниками кассетного типа на участке Алтайская-Хабаровск. Проведение стендовых, ходовых, динамико-прочностных испытаний, испытаний по воздействию на путь и по определению сопротивления движению на участке Голутвин-Озеры Московской железной дороги. Испытания проводились для получения части экспериментальных данных, необходимых для выполнения оценки технико-экономической эффективности конструктивных решений.

Анализ геометрических параметров испытываемых объектов

Подшипники кассетного типа устанавливаются на ось, на которую сверху устанавливается адаптер, на который в свою очередь опирается боковина рамы тележки

грузового вагона. На рис. 1 представлен общий вид тележки грузового вагона с подшипниками кассетного типа и адаптером.



Рис. 1. Общий вид установки буксового подшипника кассетного типа в буксовом узле грузового вагона:

1 – рама тележки; 2 – адаптер; 3 – подшипник

*Fig. 1. General view of the installation of a cassette-type axle box bearing in the axle box of a freight car:
1 – bogie frame; 2 – adapter; 3 – bearing*

Подшипник роликовый цилиндрический

В тележках грузовых полувагонов типа 2 ГОСТ 9246–2013 наряду с подшипниками роликовыми радиальными с короткими цилиндрическими роликами 36-232726E2M и др. применяются подшипники двухрядные конические кассетного типа фирмы «Brenco». Схема установки подшипников роликовых радиальных с короткими цилиндрическими роликами в

габаритах 130×250×80 мм показана на рис. 2. Подшипники устанавливают в корпус буксы и осуществляют закрепление на оси колесной пары типа РУ1Ш-957-Г при помощи тарельчатой шайбы и болтов. Передача нагрузок от тележки на колесную пару и подшипники осуществляется через корпус буксы.

Подшипник роликовый конический кассетного типа

Кассетный подшипник в габаритах 130×230×150 мм показан на рис. 4. Подшипник запрессовывается на шейку оси колесной пары типа РУ1Ш-957-Г и закрепляется на оси колесной пары при помощи крышки передней и четырех болтов. Передача нагрузок от тележки на колесную пару и подшипник осуществляется через адаптер, свободно устанавливаемый на наружное кольцо подшипника. Данный

подшипник является радиально – упорным и предназначен для одновременного восприятия радиальных и осевых нагрузок. Они поставляются в виде изделий, готовых к монтажу методом запрессовки. Технические параметры подшипников роликовых радиальных с короткими цилиндрическими роликами и кассетных подшипников фирмы в габаритах 130×230×150 мм приведены в табл. 1.

Анализ геометрических параметров адаптеров

Колесная пара с подшипниками роликовыми коническими кассетного типа сопрягается с боковыми рамами тележек грузовых полувагонов типа 2 ГОСТ 9246–2013 при помощи адаптеров по ГОСТ 34385–2018 [6]. Адаптер представляет со-

бой опорный переходник незамкнутой формы, который свободно устанавливается на наружное кольцо кассетного подшипника, установленного на колесной паре, и предназначен для передачи на подшипник нагрузок от боковой рамы.

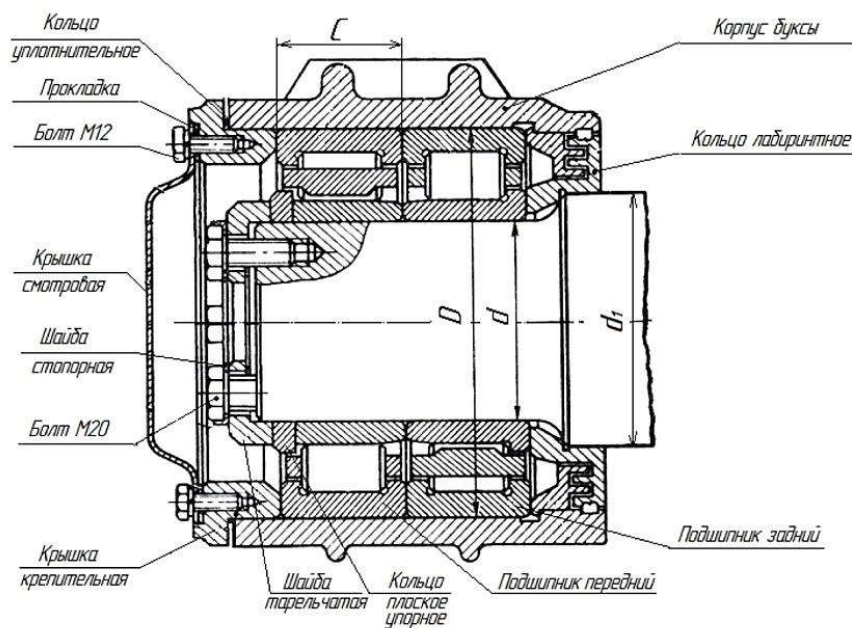


Рис. 2. Буксовый узел с двумя подшипниками роликовыми цилиндрическими с торцевым креплением шайбой тарельчатой и болтами
 Fig. 2. Axle box assembly with two cylindrical roller bearings with end mounting disc washer and bolts

Адаптер представляет из себя литую деталь, с кольцевой радиусной проточкой в средней части, с опиранием наружного кольца подшипника с буртиками, ограничивающие перемещение наружного кольца подшипника в поперечном направлении. В верхней части адаптера выполнены приливы, на которые опирается боковая рама

тележки. На боковых поверхностях адаптера выполнены упоры, ограничивающие перемещение в продольном и поперечном направлениях относительно движения тележки (рис. 3).

Технические параметры подшипника приведены в таблице.

Таблица

Технические параметры буксовых подшипников различных производителей

Table

Technical parameters of axle box bearings from various manufacturers

Наименование	Подшипник роликовый цилиндрический	Подшипник двухрядный роликовый конический кассетного типа
Обозначение подшипника, геометрические размеры, мм	36-42726E2M 36-23726E2M 130x230x80 (каждого) 130x230x160 (комплекта)	BRENCO RUM6S26A-H-08-00024-RU1407 130x230x150
Тип нагрузки, воспринимаемый подшипниками	Радиальная	Радиальная + осевая
Количество роликов в подшипнике / буксовом узле	15 в каждом подшипнике / всего 30	21 в каждом ряду / всего 42
Грузоподъемность подшипника статическая/динамическая (комплекта подшипников), кН	436/491,5 (872/983)	1647 / 1002
Осевой зазор наименьший / наибольший, мм	0,07 / 0,15	до монтажа 0,57...0,70 / после монтажа 0,01...0,38
Уплотнение подшипников	входит в конструкцию буксы	входит в конструкцию подшипника

Конструктивной особенностью адаптеров являются приливы в верхней части, которые имеют свои формы и геометрические

параметры, указанные в рабочей конструкторской документации от различных производителей. Форма приливов и их

геометрические параметры влияют на уровни напряжений, возникающие от вер-

тикальной нагрузки в различных конструктивных элементах адаптеров.

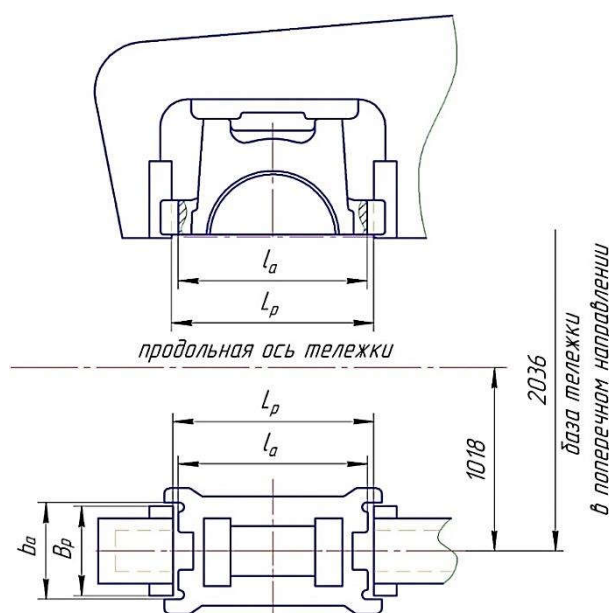


Рис.3. Схема размещения адаптера в проеме боковой рамы
Fig. 3. The layout of the adapter in the opening of the side frame

По результатам осмотра и обмеров все представленные адаптеры различных производителей, установленные на испытываемых вагонах, имеют схожую конфигурацию приливов боковых упоров от поперечного перемещения с идентичными геометрическими размерами посадочных мест под боковую раму.

Кроме того, три адаптера из представленных имеют схожую конструкцию верхних опорных элементов прямоугольной формы, расположенные симметрично относительно оси вращения колесной па-

ры, имеют усиление в виде поперечных ребер и отличаются между собой геометрическими параметрами. Один адаптер из представленных имеет опорные элементы в виде круговых секторов, расположенные симметрично относительно оси вращения колесной пары, и так же имеет усиление в виде поперечных ребер.

Все представленные на испытания адаптеры в нижней части имеют посадочное место под подшипник роликовый конический кассетного типа в виде кольцевой проточки.

Ходовые испытания подшипников кассетного типа для тележек вагонов с нагрузкой 23,5 тс на ось

Испытания вагонов проведены в соответствии с Программой испытаний ИЦ ПС(3) П892 «Испытания вагонов на тележках по ГОСТ 9246–2013 тип 2, оборудованных подшипниками кассетного типа с адаптерами», утвержденной заместителем генерального директора – главным инженером ОАО «РЖД» С.А. Кобзевым [7] и методикой испытаний ИЦ ПС(3) М893 «Испытания вагонов на тележках по ГОСТ 9246-2013 тип 2, оборудованных подшипниками кассетного типа с адаптерами», утвержденной заместителем генерального

директором АО «ВНИКТИ» А.А. Луниным [8].

Объектами испытаний являлись четырехосные грузовые вагоны на тележках по ГОСТ 9246–2013 тип 2, оборудованные подшипниками кассетного типа с адаптерами изготовленными различными производителями (рис.4):

– порожня вагон-цистерна на тележках модели 18–100 с колесными парами, оборудованными адаптерами производства АО «Концерн «Уралвагонзавод» и кассетными подшипниками;

– грузный вагон на тележках модели 18–100 с колесными парами, оборудованными адаптерами производства «Тамбовский ВРЗ» АО «ВРМ» и кассетными подшипниками;

– грузный вагон на тележках модели 18–2128 с колесными парами оборудованными адаптерами производства АО «Алтайвагон» и кассетными подшипниками производства;

– грузный вагон на тележках модели 18–2128 с колесными парами оборудованными адаптерами производства «СГ-Транс» и кассетными подшипниками;

– грузный вагон на тележках модели 18–2128 с колесными парами, оборудованными кассетными подшипниками без буксовых адаптеров;

– грузный вагон на тележках тип 2 по ГОСТ 9246–2013 не оборудовался кассетными подшипниками и использовался в качестве вагона-эталона.

Перед проведением испытаний экипажные части грузовых вагонов были

осмотрены, проведены необходимые обмеры, составлены акты технического осмотра. Осмотром и обмерами колесных пар установлено, что поверхности катания колес колесных пар находились в хорошем состоянии, прокат и подрез отсутствовали. На ст. Татарская Западно-Сибирской железной дороги был сформирован опытный сцеп из 6 вышеперечисленных грузовых вагонов и вагона-лаборатории (далее – опытный сцеп). Движение опытного сцепа проводилось по маршруту: станция Татарская Западно-Сибирской железной дороги (2879 км) до станции Хабаровск-2 Дальневосточной железной дороги (8531 км) и обратно до станции Татарская. Таким образом, регистрация динамико-прочностных показателей грузовых вагонов проводилась на пути протяженностью маршрута 11 304 км в диапазоне разрешенных эксплуатационных скоростей от 40 до 90 км/ч. Маршрут пролегал по самым тяжелым профилям железнодорожного пути.



Рис. 4. Общий вид адаптеров различного конструктивного исполнения, установленных в буксовых узлах испытываемых вагонов

Fig. 4. General view of adapters of various design designs installed in the axle boxes of the tested wagons

Заключение

По результатам обработки полученных при испытаниях данных определены динамические и прочностные показатели каждого вагона при движении в прямых и кривых участках пути различных радиусов в диапазоне скоростей от 50 км/ч до 85 км/ч в обоих направлениях.

Во всех произведенных замерах были определены максимальные значения следующих динамических показателей:

- отношения рамной силы к статической осевой нагрузке;
- коэффициенты вертикальной динамики;
- вертикальные и горизонтальные ускорения кузова вагонов.

При обработке полученного массива данных были определены минимальные коэффициенты запаса устойчивости против схода колеса с рельса для каждого исследуемого вагона.

По результатам проведенных поездок максимальные значения динамических показателей пяти груженых и одного порожнего вагона не превышали нормативных значений по

ГОСТ 33211–2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» [9].

При анализе результатов было зафиксировано уменьшение на величину до 8 % максимальных значений рамных сил на вагонах, оборудованных кассетными подшипниками с адаптерами, по сравнению с вагоном-эталонном.

В кривых участках пути у вагонов, оборудованных кассетными подшипниками с адаптерами, зафиксировано снижение вертикальных и горизонтальных ускорений кузова. Снижение максимальных значений ускорений по сравнению с вагоном на типовых роликовых подшипниках составило до 5%.

Таким образом, ходовые испытания подтвердили возможность применения на грузовых вагонах с тележками тип 2 по ГОСТ 9246–2013 буксовых подшипников кассетного типа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аналитический отчет «Грузовое вагоностроение России 2023–2024: тренды, состояние и перспективы на 2025 год [Электронный ресурс]. – URL: https://rollingstockworld.ru/wp-content/uploads/2024/09/2024_demo_rsa_freight_market_forecast_2025.pdf (дата обращения: 12.12.2024).
2. ГОСТ 15.902–2014 «Система разработки и постановки продукции на производство. Железнодорожный подвижной состав. Порядок разработки и постановки на производство».
3. ГОСТ 9246–2013 «Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия».
4. Результаты ходовых динамико-прочностных испытаний четырех опытных грузовых вагонов, вагона-цистерны на тележках с кассетными подшипниками и вагона-эталона на тележках по ГОСТ 9246–2013 тип 2 в составе грузового поезда по маршруту Алтайская-Хабаровск и об-

- ратно. Отчет о НИР. № И–26–19. – Коломна: АО «ВНИКТИ», 2019. 203 с.
5. РД 32 ЦВ 052–2009 «Ремонт тележек грузовых вагонов тип 2 по ГОСТ 9246–2013 с боковыми скользунами зазорного типа. Общие руководство по ремонту».
6. ГОСТ 34385–2018 «Буксы и адаптеры для колесных пар тележек грузовых вагонов. Общие технические условия».
7. Программа испытаний ИЦ ПС(3) П892 «Испытания вагонов на тележках по ГОСТ 9246–2013 тип 2, оборудованных подшипниками кассетного типа с адаптерами».
8. Методика испытаний ИЦ ПС(3) М893 «Испытания вагонов на тележках по ГОСТ 9246–2013 тип 2, оборудованных подшипниками кассетного типа с адаптерами».
9. ГОСТ 33211–2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам».

REFERENCES

1. Russian freight car construction in 2023-2024: trends, state and prospects for 2025: analytical report [Internet]. [cited 2024 Dec 12]. Available from: https://rollingstockworld.ru/wp-content/uploads/2024/09/2024_demo_rsa_freight_market_forecast_2025.pdf.
2. GOST 15.902–2014 System of development and launching into manufacture. Railway rolling stock. Procedure of development and launching into manufacture. Moscow: Standartinform; 2019.
3. GOST 9246-2013 Bogies two-axle three-piece for freight wagons of 1520 mm gauge railways. General technical specifications. Moscow: Standartinform; 2014.
4. Results of running dynamic strength tests of four experimental freight cars, a tank car with trucks having cassette bearings and a reference car with trucks according to GOST 9246-2013 type 2 as a

- part of a freight train on Altayskaya-Khabarovsk route and vice versa: research report. Kolomna: VNIKTI; 2019.
5. Guidance 32 ЦВ 052–2009 Repair of freight car trucks of type 2 according to GOST 9246-2013 with side slides of the clearance type. General repair manual. 2010.
6. GOST 34385-2018 Axle-boxes and adapters for wheelsets of freight wagon bogies. General specifications. Moscow: Standartinform; 2018.
7. Test Program ИЦ ПС(3) П892 Testing cars with trucks according to GOST 9246-2013 type 2, equipped with cassette type bearings with adapters.
8. Test Procedure ИЦ ПС(3) П892 Testing cars with trucks according to GOST 9246-2013 type 2, equipped with cassette type bearings with adapters.
9. GOST 33211-2014 Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities. Moscow: Standartinform; 2016.

Информация об авторах:

Коссов Валерий Семенович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, SPIN-код: 3884-6628, AuthorID: 353160, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Лунин Андрей Александрович – кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной работе и цифровой трансформации, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Панин Юрий Алектинович – кандидат технических наук, заведующий отделом, Акционерное об-

щество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Гаврюшин Михаил Александрович – заведующий лабораторией, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Тихонов Алексей Алексеевич – старший научный сотрудник, Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), 140402, Российская Федерация, Московская обл., г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410, тел. +7 (4966) 18-82-48.

Kossov Valery Semenovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director; Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; SPIN-code: 3884-6628, AuthorID: 353160; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Lunin Andrey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director for Scientific Work and Digital Transformation, Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Panin Yuri Alektinovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, Scientific Research

and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Gavryushin Mikhail Aleksandrovich – Head of the laboratory; phone: +7 (4966) 18-82-48; Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; phone: +7 (4966) 18-82-48.

Tikhonov Aleksey Alekseevich – Senior Researcher, Scientific Research and Engineering-Design Institute of Rolling Stock (JSC "VNIKTI"), 410, Oktyabrskaya Revolyutsii Str., Kolomna, 140402, Russian Federation; e-mail: tihonov-aa@vnikti.com, phone: +7 (4966) 18-82-48.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 03.12.2024; одобрена после рецензирования 23.12.2024; принята к публикации 27.12.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 03.12.2024; approved after review on 23.12.2024; accepted for publication on 27.12.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.