

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.421.4

doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-47-54

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОПОРНО-ВОЗВРАЩАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЧЕТЫРЕХОСНОГО ЛОКОМОТИВА

Иван Андреевич Кожухов^{1✉}, Дмитрий Яковлевич Антипин², Михаил Геннадьевич Шалыгин³, Федор Юрьевич Лозбинеv⁴

^{1,2} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ i.kozhuhov32@yandex.ru

² antipindy@yandex.ru

³ migshalygin@yandex.ru

⁴ psbstu@yandex.ru

Аннотация

Проанализированы существующие конструкции опорно-возвращающих устройств локомотивов, определены их основные достоинства и недостатки. Разработана твердотельная модель движения четырехосного локомотива по неровностям пути. Выполнена верификация модели данными натурных ходовых испытаний. На основе многовариантных расчетов определены моменты сопротивления повороту в опорах, обеспечивающие рациональные динамические характеристики локомотива.

Предложена оригинальная конструкция необслуживаемого опорно-возвращающего устрой-

ства. Создана его динамическая модель, интегрированная в последствии в модель движения локомотива по реальным неровностям пути. Выполнена оценка динамических характеристик локомотива с применением предложенной конструкции опорно-возвращающего устройства. Сделаны предложения о модернизации существующих опорно-возвращающих устройств с целью получения более высоких показателей надежности и долговечности.

Ключевые слова: опорно-возвращающее устройство, скольжение, опора, колесная пара, тележка, экипаж, локомотив.

Ссылка для цитирования:

Кожухов И.А. Обоснование конструкции опорно-возвращающего устройства четырехосного локомотива / И.А. Кожухов, Д.Я. Антипин, М.Г. Шалыгин, Ф.Ю. Лозбинеv // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 10. – С. 47-54. doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-47-54.

Original article

Open Access Article

DESIGN JUSTIFICATION OF THE SUPPORT-AND-RETURNING DEVICE OF A FOUR-AXLE LOCOMOTIVE

Ivan Andreevich Kozhukhov^{1✉}, Dmitry Yakovlevich Antipin², Mikhail Gennadyevich Shaligin³, Fyodor Yuryevich Lozbinev⁴

^{1,2,3,4} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ i.kozhuhov32@yandex.ru

² antipindy@yandex.ru

³ migshalygin@yandex.ru

⁴ psbstu@yandex.ru

Abstract

The existing designs of locomotive support and returning devices are analyzed, their main advantages and disadvantages are determined. A solid-state model of a four-axle locomotive moving along track irregularities is developed. The model is verified with the data

of full-scale tests. On the basis of multiple calculations, the rotation resistance parameters in the supports are determined, providing rational dynamic characteristics of the locomotive.

An original design of an unattended support-and-returning device is proposed. Its dynamic model is made, integrated later into the model of locomotive movement along real track irregularities. The dynamic characteristics of the locomotive are evaluated using the proposed design of the support-and-returning de-

vice. Proposals are made to modernize existing support-and-returning devices in order to obtain higher reliability and durability.

Keywords: support-and-returning device, sliding, support, wheel pair, bogie, carriage, locomotive.

Reference for citing:

Kozhukhov IA, Antipin DYa, Shaligin MG, Lozbinev FYu. Design justification of the support-and-returning device of a four-axle locomotive. Transport Engineering. 2023;10:47-54. doi: 10.30987/2782-5957-2023-10-47-54.

Введение

В настоящее время на всех отечественных локомотивах применяются опорно-возвращающие устройства, разработанные много лет назад и зарекомендовавшие себя в эксплуатации. Однако у всех есть несколько недостатков, главным из которых является необходимость постоянного контроля и обслуживания. Это увеличивает время и затраты на техническое обслуживание и ремонт тепловозов, что повышает стоимость жизненного цикла машины. Исключение необходимости обслуживания опорно-возвращающих устройств при сохранении всех необходимых параметров является важной задачей проекти-

рования экипажной части новых локомотивов.

Кроме того, большинство маневровых локомотивов не рассчитаны на большие осевые нагрузки, как и опорно-возвращающие устройства, а проблема увеличения сцепления решается при изменении осности локомотива. Всё это ведет к удорожанию конструкции и не всегда обосновано с энергетической точки зрения. Поэтому перспективные опорно-возвращающие устройства так же должны иметь широкий диапазон возможных нагрузок с целью унификации под различные конструкции локомотивов.

Обзор конструкций опорно-возвращающих устройств локомотивов

Все применяемые на серийных локомотивах опорно-возвращающие устройства разработаны много лет назад и зарекомендованы. При этом каждое из них обладает своими недостатками, решения которых является приоритетной задачей.

Основные типы применяемых опорно-возвращающих устройств.

Роликовые опорно-возвращающие устройства с постоянным возвращающим моментом трения имеет стальной литой корпус, в котором размещен подвижной роликовый механизм, включающий нижнюю и верхнюю плиты, два ролика, объединены обоймами, сферическое гнездо, воспринимающее нагрузку от шаровой опоры кузова [1, 2].

Нижняя опорная плита крепится к корпусу с помощью болтов и нажимного кольца. Внутренняя полость роликового опорно-возвращающего устройства заполняется осевой смазкой. Корпус закрыт крышкой, а вся опора брезентовым чехлом.

Основным недостатком является необходимость контроля и замены масла, а также других видов обслуживания опорно-возвращающего устройства. Кроме того, данный тип опорно-возвращающих устройств обеспечивает невысокую плавность хода из-за отсутствия упругих элементов.

Сферическое опорно-возвращающее устройство скольжения тепловоза состоит из опоры рамы, двух резинометаллических элементов и сферической опоры (грибка), смонтированных на главной раме тепловоза [1]. Грибок от выпадения из главной рамы тепловоза удерживается пружинным кольцом. От попадания грязи в опору рамы она закрыта брезентовым чехлом. Через опорные узлы на тележку передается проходящая на нее часть веса надтележного строения тепловоза. Кроме этого, опорные узлы служат для обеспечения устойчивого положения тележки под тепловозом при его движении, а также плавного вписывания в кривые и получения

необходимых усилий, возвращающих кузов тепловоза в первоначальное положение при перемещении его относительно тележек при движении в кривых. Основным недостатком является необходимость контроля и замены масла, а также других видов обслуживания опорно-возвращающего устройства. Данный тип опорно-возвращающих устройств обеспечивает невысокую плавность хода из-за отсутствия упругих элементов.

Резинороликовое опорно-возвращающее устройство скольжения состоит из литого корпуса [3, 4]. Рабочие поверхности нижней и верхней опорных плит наклонены так же, как и у ранее рассматриваемых опор на угол в 2°. Ролики вставлены в обоймы через капроновые втулки, которые являются подшипниками роликов. На опорную плиту установлена резиновая опора, которая содержит семь резинометаллических элементов, расположенных между опорными кольцами (сни-

зу) и сверху и регулировочных пластин. Резиновый лист толщиной 30 мм, привулканизирован к стальным пластинам, имеющим кольцевые зацепы для исключения межэлементного сдвига и сдвига комплекта по поверхностям опорных кольца и диска. Резиновая опора входит в углубление опорного стакана. Внутреннюю полость корпуса роликовой опоры заполняют маслом. От попадания пыли и грязи опора защищена брезентом.

Основным недостатком является необходимость контроля и замены масла, а также других видов обслуживания опорно-возвращающего устройства. Благодаря резинометаллическим элементам конструкторам удалось достичь повышения плавности хода по сравнению с ранее рассматриваемыми опорно-возвращающими устройствами. При этом резинометаллические элементы не являются долговечными и «просаживаются» со временем.

Новая конструкция опорно-возвращающего устройства локомотива и его эффективность

С целью исключения недостатков вышеуказанных типов опорно-возвращающих устройств предлагается новое безмаслянное опорно-возвращающее устройство скольжения необслуживаемого типа. В качестве упругих элементов для повышения надежности целесообразно взамен резиновых элементов применять полиуретан [5, 6].

При входе локомотива в кривую и выходе из нее возникает трение между самим опорно-возвращающим устройством и ответной частью на раме локомотива, что приводит к повороту тележки и возвращению в исходное положение.

Основными достоинствами применения данного типа опор является отсутствие необходимости их обслуживания на весь период службы, который может составлять до половины срока эксплуатации локомотива. Применение полиуретана в качестве упругих элементов приведёт к увеличению статического прогиба, что, в свою очередь, повысит плавность хода локомотива. Полиуретан обладает высоким пределом прочности, что позволяет применять дан-

ный тип опорно-возвращающих устройств на локомотивах с большими осевыми нагрузками.

Еще одним достоинством рассматриваемых опорно-возвращающих устройств является то, что упругие элементы не осаживаются за весь срок службы, это позволяет сохранить исходную динамику на жизненном цикле локомотива.

Для улучшения динамических качеств локомотива и повышения надежности опор предложены два варианта совершенствования их конструкции.

В качестве первого варианта изменения конструкции опорно-возвращающего устройства добавим еще одну, третью полиуретановую пластину, то есть уменьшим вертикальную жесткость всего опорно-возвращающего устройства (рис. 1).

Новая жесткость опорно-возвращающего устройства находим по формуле:

$$C_{\text{опоры}} = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_3 C_2 + C_3 C_1 + C_1 C_2}, \quad (1)$$

где C_1 , C_2 , C_3 – жесткости каждого упругого элемента. Так как упругие элементы

равны, то $C_1=C_2=C_3=C$, тогда формула 1 приобретает вид:

$$C_{опоры} = \frac{C^3}{3C^2} = \frac{(15,1)^3}{3 \cdot (15,1)^2} = 5,0 \text{ кН/мм} \quad (2)$$

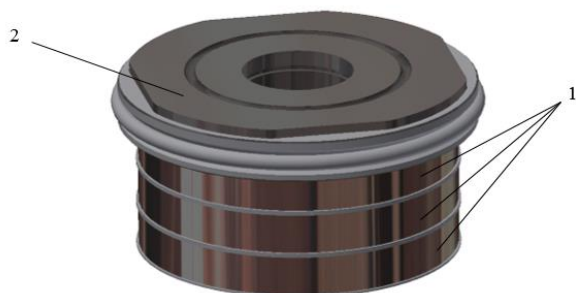


Рис.1. Модификация опорно-возвращающего устройства: 1 – упругий элемент; 2 - скользян

Fig.1. Modification of the return support device: 1 – elastic element; 2 - slider

Данная жесткость ниже, чем в исходном варианте на 33,3%.

В качестве второго варианта изменим параметры материала покрытия скользяна,

то есть изменим коэффициент трения в меньшую сторону на 15 % с 0,060 до 0,052. После проведения данных испытаний необходимо исследование динамических характеристик.

Оценку работоспособности и эффективности предлагаемых вариантов модификации опорно-возвращающих устройств оценивалось по параметрам ходовой динамики [7, 8].

Оценка ходовой динамики выполнена на основе твердотельной динамической модели движения локомотива по неровностям пути. Модель сформирована в программном комплексе моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» и представляет собой совокупность твердых тел с реальными инерциальными характеристиками, связанными шарнирами, силовыми и контактными элементами (рис. 2, 3).

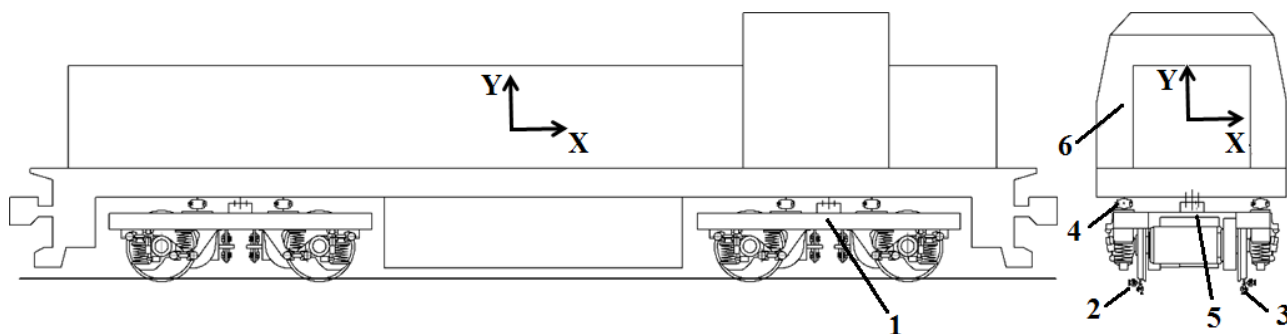


Рис. 2. Динамическая модель локомотива: 1 – подсистема «тележка»; 2 - упруго-диссипативный элемент, моделирующий горизонтальную жесткость пути; 3 – упруго-диссипативный элемент, моделирующий вертикальную жесткость пути; 4 – упруго-диссипативный линейный силовой элемент, моделирующий опирание кузова тепловоза; 5 – шарнир, моделирующий шкворневое устройство; 6 – кузов тепловоза

Fig. 2. Dynamic model of a locomotive: 1 – “trolley” subsystem; 2 - elastic-dissipative element simulating the horizontal rigidity of the path; 3 – elastic-dissipative element, modeling the vertical rigidity of the track; 4 – elastic-dissipative linear force element, simulating the support of the locomotive body; 5 – hinge simulating a pivot device; 6 – diesel locomotive body

Модель опорно-возвращающего устройства представлена в виде совокупности твердых тел, контактных элементов и специальных нелинейных силовых элементов, описывающих работу полиуретановых упругих элементов.

При выборе оценки влияния предложенных вариантов на динамические характеристики рассматривалось движение локомотива по прямым участкам пути и в кривых малого радиуса со скоростями до 20 км/ч. В качестве примера на рис. 4 при-

ведены графики зависимости мощности сил трения (критерия износа) в зоне контакта колеса с рельсом от скорости движения локомотива.

Анализ результатов исследования динамических характеристик позволил сделать следующие выводы:

- изменение вертикальной жесткости опорно-возвращающего устройства приводит к незначительному (5 – 7 %) увеличению мощности сил трения по кругу катания в контакте «колесо-рельс» в прямом

участке пути и до 10 % в кривых. Изменение коэффициента трения между опорными поверхностями напротив, ведет к уменьшению мощности сил трения по кругу катания в контакте «колесо-рельс» в прямых участках пути на (6 – 8 %) и до 12 % в кривых;

- изменение вертикальной жесткости опорно-возвращающего устройства приводит к незначительному (7 – 10 %) увеличению мощности сил трения по гребню в контакте «колесо-рельс» в прямом участке пути и до 12 % в кривых. Изменение коэффициента трения между опорными поверхностями напротив, ведет к уменьшению мощности сил трения по гребню в контакте «колесо-рельс» в прямых участках пути на (7 – 10 %) и до 14 % в кривых;

- изменение вертикальной жесткости опорно-возвращающего устройства не приводит к изменению силы отжатия рельсов в прямом участке пути и приводит к незначительному до 6 % в кривых. Изменение коэффициента трения между опорными поверхностями, ведет к незначительному уменьшению силы отжатия рельсов в прямых участках пути на (5 – 7 %) и до 11 % в кривых;

- изменение вертикальной жесткости опорно-возвращающего устройства приводит к незначительному (5 – 7 %) увеличению коэффициента устойчивости колесной пары против схода с рельс. Изменение коэффициента трения между опорными поверхностями, ведет к уменьшению коэффициента устойчивости колесной пары против схода с рельс до 11 %.

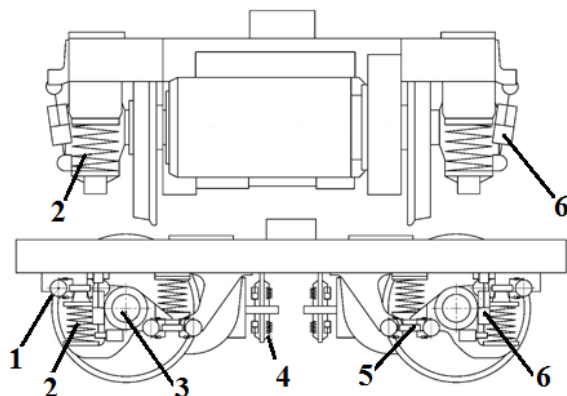


Рис. 3. Динамическая модель подсистемы «тележка»: 1 – обобщенные шарниры, моделирующие упруго-диссипативные свойства резинометаллических блоков буксового поводка; 2 – линейный силовой элемент, моделирующий пружины буксового подвешивания; 3 – вращательный шарнир, моделирующий буксу; 4 – упруго-диссипативные линейные силовые элементы, моделирующие резинометаллические блоки подвешивания ТЭД; 5 – абсолютно твердое тело, моделирующее буксовый поводок; 6 – диссипативный линейный биполярный силовой элемент, моделирующий гаситель колебаний

Fig. 3. Dynamic model of the "trolley" subsystem: 1 – generalized hinges that simulate the elastic-dissipative properties of rubber-metal blocks of the axle box; 2 – linear power element simulating axle box suspension springs; 3 – rotational joint simulating the axle box; 4 – elastic-dissipative linear force elements simulating rubber-metal suspension blocks of TED; 5 – absolutely rigid body simulating an axle box leash; 6 – dissipative linear bipolar power element, modeling an oscillation damper

Таким образом, исходя из полученных показателей видно, что изменение вертикальной жесткости опорно-возвращающего устройства в незначительной степени ухудшает его динамические параметры при движении в прямых и кривых участках пути, это незначительно повышает коэффициент устойчивости колесной пары против схода с рельс.

Изменение коэффициента трения между скользящим и опорной частью главной рамы тепловоза в меньшую сторону улучшает все динамические показатели тепловоза на 5 – 10%, что позволит снизить дополнительные износы гребней колес, воздействие на путь и улучшить динамику четырехосного маневрового локомотива. Установлено, что ухудшается значение коэффициента устойчивости колесной пары против схода с рельс с ростом

скорости. Это приведет к более быстрому достижению критической скорости локомотива и потери его устойчивости.

С этой целью необходимо более детально изучать влияние различных параметров ходовых частей локомотивов на их динамику.

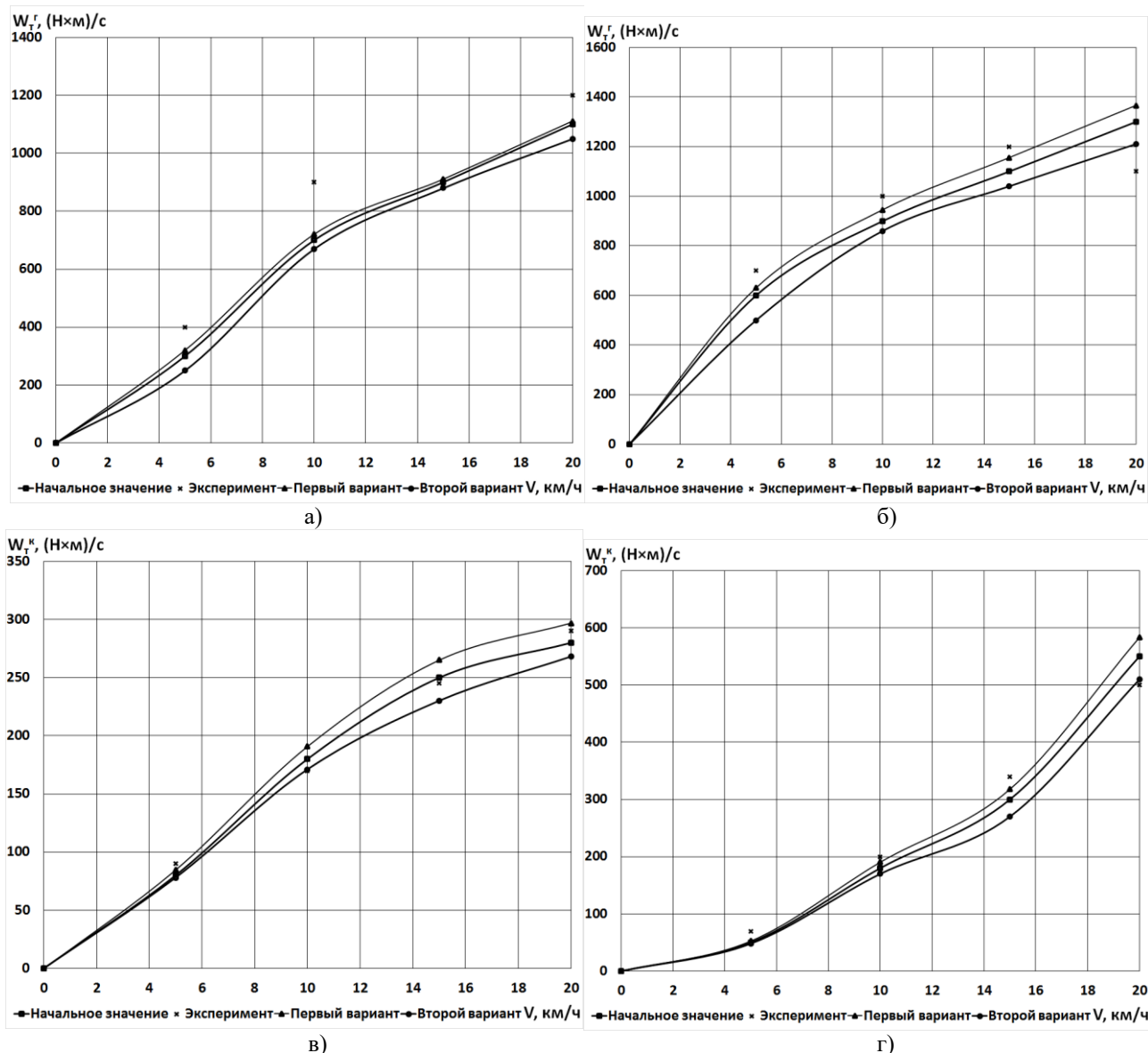


Рис. 4. Мощность сил трения в контакте «колесо-рельс»: а – по гребню колеса на прямом участке пути; б – по гребню колеса в кривых; в – по кругу катания колеса на прямом участке пути; г – по кругу катания колеса в кривых
 Fig. 4. Power of friction forces in the “wheel-rail” contact: a – along the wheel flange on a straight section of the track; b – along the wheel crest in curves; c – along the rolling circle of the wheel on a straight section of the track; d – wheel rolling circle in curves

Заключение

Из изложенного следует, что применение безмаслянных опорно-возвращающих устройств скольжения позволяет достичь следующих преимуществ:

- исключить необходимость контроля и обслуживания опорно-возвращающих устройств;
- улучшить динамические характеристики локомотивов в кривых;

- повысить надежность и долговечность опорно-возвращающих устройств;
- обеспечить возможность модернизации более ранних типов опор (замена резиновых элементов в резинороликовых опорах на полиуретан с целью получения более высоких показателей надежности и долговечности).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Камаев А.А. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов: Учебник – М.: Машиностроение, 1981, с.99-100.
2. Загорцев В. А. Проектирование механической части электрического подвижного состава: учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы / В. А. Загорцев, О. С. Ананьева ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель : БелГУТ, 2018. 113 с.
3. Михальченко Г.С. Теория и конструкция локомотивов: Учебник для вузов ж.д. транспорта – М.: Маршрут, 2006. 584 с.
4. Railway technical handbook. SKF Group. 2012. Vol. 2. 236 p
5. First Class Bogies. The complete programme for high-quality railway transportation Siemens Transportation Systems 2008 68 p.
6. Design and simulation of heavy haul locomotives and trains / M. Spiryagin, P. Wolfs, C. Cole [et al.] // Design and Simulation of Heavy Haul Locomotives and Trains, 2016. 459 p.
7. A.H. Wickens , Fundamentals of rail vehicle dynamics: Guidance and stability, Swets & Zeitlinger, Lisse, the Netherlands, 2003.
8. P. Ghate, S. R. Shankapal, M. H. Gowda Failure Investigation of a Freight Locomotive Suspension Spring and Redesign of the spring for Durability and ride index. SASTECH Journal. 2012. Vol. 11, Issue 2, P. 23-29.

REFERENCES

1. Kamaev AA. Construction, calculation and design of locomotives: textbook. Moscow: Mashinostroenie; 1981.
2. Zagortsev VA, Ananyeva OS. Design of the mechanical part of the electric rolling stock: textbook. Gomel: BelGUT; 2018.
3. Mikhalchenko GS. Theory and design of locomotives: textbook for universities of railway transport. Moscow: Marshrut; 2006.
4. Railway technical handbook. SKF Group. 2012; 2:236.
5. First Class Bogies. The complete programme for high-quality railway transportation Siemens Transportation Systems. 2008.
6. Spiryagin M, Wolfs P, Cole C. Design and simulation of heavy haul locomotives and trains. Design and Simulation of Heavy Haul Locomotives and Trains; 2016.
7. Wickens AH. Fundamentals of rail vehicle dynamics: guidance and stability. Netherlands: Lisse; 2003.
8. Ghate P, Shankapal SR, Gowda MH. Failure investigation of a freight locomotive suspension spring and redesign of the spring for durability and ride index. SASTECH Journal. 2012;11(2):23-29.

Информация об авторах:

Кожухов Иван Андреевич – инженер-конструктор первой категории ООО "ТМХ Инжиниринг". тел. +7 (495) 539-2205. доб. 6104, e-mail: i.kozhuhov32@yandex.ru.

Антипин Дмитрий Яковлевич – кандидат технических наук, доцент, директор Учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, 8(4832)560466, e-mail: antipindy@yandex.ru.

Kozhukhov Ivan Andreevich - Design Engineer of the first category of TMKH Engineering. phone. +7 (495) 539-2205. ext. 6104, e-mail: i.kozhuhov32@yandex.ru .

Antipin Dmitry Yakovlevich - 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; phone: 8(4832)560466; e-mail: adya24@rambler.ru

Шалыгин Михаил Геннадьевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, тел. 8 (4832) 58-82-12, e-mail: tts-dm@yandex.ru.

Лозбинец Федор Юрьевич – доктор технических наук, профессор Брянского государственного технического университета, тел. 8(4832)560466, e-mail: psbstu@yandex.ru.

Shaligin Mikhail Gennadyevich - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Pipeline Transport Systems at Bryansk State Technical University; phone: 8 (4832) 58-82-12; e-mail: tts-dm@yandex.ru.

Lozbinev Fyodor Yuryevich - Doctor of Technical Sciences, Professor of Bryansk State Technical University; phone: 84832560466; e-mail: psbstu@yandex.ru.

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 11.09.2023; одобрена после рецензирования 04.10.2023; принята к публикации 06.10.2023. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, заведующий отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 11.09.2023; approved after review on 04.10.2023; accepted for publication on 06.10.2023. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.