

Краткий обзор применения гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта и анализ их достоинств и недостатков

С.В. Трескин¹✉, Е.Ю. Дульский¹, В.А. Кручек², П.Ю. Иванов¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉sergei.tresckin@yandex.ru

Резюме

В статье проведен обзор конструкций гасителей колебаний, используемых в рессорном подвешивании подвижного состава, приведены положительные результаты применения указанных устройств, а также произведен их анализ на предмет недостатков и достоинств. Было выполнено теоретическое описание единой механической системы, включающей подвижной состав и железнодорожный путь. Рассмотрены колебательные движения, возникающие при движении подвижного состава, а также причины, вызывающие их. Проведено компьютерное моделирование колебательных движений двухмассовой системы в среде Mathcad в двух расчетных случаях. В первом расчет выполнялся с двухмассовой системой, включающей упругие и диссипативные элементы, во втором система включала только упругие элементы. С помощью данных вычислений можно наглядно показать поведение подвижного состава с исправными и неисправными или отсутствующими гасителями колебаний. В работе проанализированы полученные графики вертикальных перемещений элементов, входящих в состав двухмассовой системы (тележка и кузов). Выполнен обзор существующих типов гасителей колебаний, обозначены их преимущества и недостатки. Описана классификация гидравлических гасителей колебаний на основе их расположения в рессорном подвешивании подвижного состава, указаны конструктивные исполнения гидрогасителей. Отмечено, однако, что наибольшее распространение получили гасители телескопической конструкции. Возможной альтернативой гидравлических гасителей колебаний являются пневматические гасители, но они обладают существенными недостатками, ограничивающими их применение. Обозначены некоторые направления совершенствования гидрогасителей. Повышение работоспособности различных конструкций гасителей колебаний может стать одним из факторов, обеспечивающих увеличение осевой нагрузки и рост скорости движения подвижного состава, а в некоторых случаях позволит снизить негативное влияние на окружающую среду.

Ключевые слова

подвижной состав, гасители колебаний, рессорное подвешивание состава, колебательное движение, двухмассовая система, гидравлические гасители, пневматические гасители

Для цитирования

Краткий обзор применения гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта и анализ их достоинств и недостатков / С.В. Трескин, Е.Ю. Дульский, В.А. Кручек, П.Ю. Иванов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 34–45. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).34-45.

Информация о статье

поступила в редакцию: 21.02.2025 г.; поступила после рецензирования: 20.03.2025 г.; принята к публикации: 21.03.2025 г.

Brief survey of the use of vibration dampers in spring suspension structures of railway rolling stock and an analysis of their advantages and disadvantages

S.V. Treskin¹✉, E.Yu. Dul'skii¹, V.A. Kruchek², P.Yu. Ivanov¹

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

²Petersburg State Transport University named Emperor Alexander I, Saint Petersburg, the Russian Federation

✉sergei.tresckin@yandex.ru

Abstract

The article provides a survey of the designs of vibration dampers used in spring suspension of rolling stock, provides positive results of using these devices, and analyzes them for disadvantages and advantages. A theoretical description of a single mechanical system, including rolling stock and railway track, was carried out. The oscillatory movements that occur during the movement of rolling stock, as well as the reasons causing them, are described. A computer simulation of the oscillatory motions of a

two-mass system in the Mathcad environment has been performed in two computational cases. In the first case, the calculation was performed with a two-mass system including elastic and dissipative elements, in the second case, the system included only elastic elements. By carrying out this calculation, it is possible to show clearly the behavior of rolling stock with serviceable and faulty or missing vibration dampers. The analysis of the obtained graphs of vertical movements of the elements included in the two-mass system (trolley and body) is carried out. A survey of the existing types of vibration dampers has been performed. Their advantages and disadvantages are given. The classification of hydraulic vibration dampers based on their location in the spring suspension of rolling stock is described. The designs of hydraulic dampers are pointed out. It is indicated, however, that telescopic dampers are the most widespread. A possible alternative to hydraulic vibration dampers is pneumatic dampers, but they have significant disadvantages that limit their possible use. Some areas of improvement of hydraulic dampers are outlined. Improving the operability of various vibration damper designs can be one of the factors that increase the axial load and speed of rolling stock, and in some cases will reduce the impact on the environment.

Keywords

rolling stock, vibration dampers, spring suspension of the train, oscillating motion, two-mass system, hydraulic dampers, pneumatic dampers

For citation

Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Kruchek V.A., Ivanov P.Yu. Kratkii obzor primeneniya gasitelei kolebanii v konstruktivnykh ressnornogo podveshivaniya podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta i analiz ikh dostoinstv i nedostatkov [Brief survey of the use of vibration dampers in spring suspension structures of railway rolling stock and an analysis of their advantages and disadvantages]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 34–45. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).34-45.

Article Info

Received: February 21, 2025; Revised: March 20, 2025; Accepted: March 21, 2025.

Введение

Подвижной состав и железнодорожный путь считаются единой механической колебательной системой. Это обусловлено тем, что данная система может находиться в двух состояниях – покое и динамике. В первом случае на конструкцию подвижного состава, его отдельные узлы и детали оказывают влияние лишь статические нагрузки: вес кузова и его отдельных элементов (тары), вес груза или пассажиров и т.д. Если рассматриваемая система находится во втором состоянии, то кроме указанных статических нагрузок на единицу подвижного состава оказывают влияние динамические нагрузки, причиной возникновения которых является взаимодействие пути и движущегося по нему подвижного состава [1].

Результатом этого взаимодействия являются колебательные движения единицы подвижного состава, которые усложняют работу как в целом всей конструкции подвижного состава, так и его отдельных узлов и элементов. Также происходит снижение уровня безопасности движения, ускоряется износ ответственных узлов и деталей и увеличивается его объем, что приводит к росту трудозатрат на проведение различных видов ремонта [2].

Цель данной статьи – изучение вопроса применения различных типов гасителей колебаний в рессорном подвешивании подвижного

состава, их анализ на предмет достоинств и недостатков.

Рессорное подвешивание подвижного состава, его составные элементы и их назначение

Для снижения влияния колебательных движений и динамических нагрузок применяется рессорное подвешивание. Кузов и рама практически любого типа железнодорожного транспорта связаны с ходовой частью с помощью рессорного подвешивания, состоящего из системы упругих и диссипативных элементов (гасителей колебаний).

Упругие элементы предназначены для уменьшения влияния динамических усилий, а гасители колебаний снижают величину колебательных движений, возникающих в подвижном составе.

Один из источников колебательных движений – различные неровности пути. Рессорное подвешивание в данном случае позволяет смягчить влияние неровностей пути на конструкцию подвижного состава, причем гасители колебаний играют важную роль в данном процессе. Неисправности или отсутствие по каким-либо причинам гасителей негативно сказываются на работе рессорного подвешивания, а также на плавности хода подвижного состава, что может привести к повреждениям отдельных

элементов и узлов конструкции. Данное явление возможно продемонстрировать через решение систем дифференциальных уравнений, описывающих вертикальные перемещения, возникающие в ходе движения единицы подвижного состава.

На сегодняшний день известно несколько подходов к моделированию динамики подвижного состава, которые делятся на две большие группы. Первая характеризуется структурой моделей, которые, в свою очередь, подразделяются на сопряженные и упрощенные. Вторая группа описывается структурой моделей транспортного средства и пути и имеет в своем составе различные подгруппы. В данных подгруппах подвижной состав может быть описан как система, состоящая из твердых тел и учитывающая только вертикальные и горизонтальные колебания, в другом случае в систему может быть включен гибкий кузов, а также могут учитываться характеристики элементов рессорного подвешивания. Для демонстрации зависимости вертикальных колебаний элементов подвижного состава от наличия исправных гасителей колебаний прове-

дено математическое моделирование с использованием упрощенной модели вертикальных колебаний подвижного состава с двухступенчатым рессорным подвешиванием. На рис. 1 показаны два варианта расчетной схемы, представленной двухмассовой системой.

Рассматриваемые схемы опишем следующими системами дифференциальных уравнений:

– для схемы (рис. 1, а):

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + b_1 \dot{z}_1 + b_2 (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + \\ + c_1 \cdot z_1 + c_2 \cdot (z_1 - z_2) = b_1 \cdot \dot{\eta} + c_1 \cdot \eta; \\ m_2 \ddot{z}_2 + b_1 (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_2 \cdot (z_2 - z_1) = 0. \end{cases}$$

– для схемы (рис. 1, б):

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + c_1 \cdot z_1 + c_2 \cdot (z_1 - z_2) = c_1 \cdot \eta; \\ m_2 \ddot{z}_2 + c_2 \cdot (z_2 - z_1) = 0, \end{cases}$$

где m_1 – масса обрессоренной части тележки, т; m_2 – масса части кузова подвижного состава, опирающегося на тележку, т; c_1, c_2 – значение жесткости в первой и второй ступенях рессорного подвешивания соответственно, кН/м; b_1, b_2 – значение коэффициента вязкого трения в первой и второй ступенях рессорного подвешивания соответственно, кН·с/м.

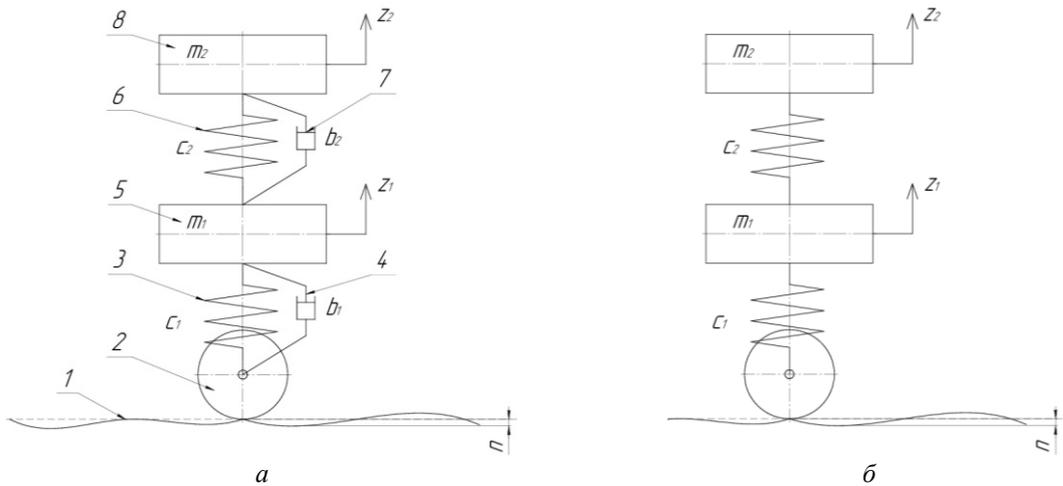


Рис. 1. Расчетные схемы двухмассовой системы:

а – двухмассовая система с упругими и диссипативными элементами (1 – уровень головок рельс; 2 – колесная пара; 3 – упругий элемент первой ступени рессорного подвешивания; 4 – диссипативный элемент первой ступени рессорного подвешивания; 5 – обрессоренная масса тележки; 6 – упругий элемент второй ступени подвешивания; 7 – диссипативный элемент второй ступени подвешивания; 8 – масса кузова подвижного состава, приходящаяся на одну тележку);

б – двухмассовая система с упругими элементами и отсутствующими или неработоспособными диссипативными элементами

Fig. 1. Calculation schemes of a two-mass system:

а – a two-mass system with elastic and dissipative elements (1 – rail head level; 2 – wheelset; 3 – elastic element of the first stage of spring suspension; 4 – dissipative element of the first stage of spring suspension; 5 – sprung mass of the bogie; 6 – elastic element of the second stage of suspension; 7 – dissipative element of the second stage of suspension; 8 – mass of the rolling stock body per bogie);

б – a two-mass system with elastic elements and missing or inoperative dissipative elements

вания соответственно, $\text{kH} \cdot \text{c}/\text{m}$; η – случайные неровности пути; z_i , \dot{z}_i , \ddot{z}_i – вертикальное перемещение объектов и их производные.

Зададим начальные параметры, которые отображены в табл.

Затем была определена частота возмущений ω от неровностей на поверхности рельс по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi}{L} \cdot V,$$

где L – длина неровности, м; V – скорость движения, м/с.

Полученные системы дифференциальных уравнений были решены в среде Mathcad с использованием метода Рунге – Кутты. Интервал интегрирования был выбран равным 10 с, а также задано количество точек на данном интервале, равное 1 000. Результаты представлены в виде графиков на рис. 2 и 3.

Значения параметров, необходимых для моделирования движения двухмассовой системы
Values of parameters required to simulate the motion of a two-mass system

Наименование параметра Parameter name	Величина Value
Масса обдрессоренной части тележки m_1 , т Mass of the sprung part of the bogie m_1 , t	9
Масса части кузова подвижного состава, опирающегося на тележку m_2 , т Mass of the part of the rolling stock body resting on the bogie m_2 , t	26
Жесткость в первой ступени рессорного подвешивания c_1 , кН/м Rigidity in the first stage of spring suspension c_1 , kN/m	7 000
Жесткость во второй ступени рессорного подвешивания c_2 , кН/м Rigidity in the second stage of spring suspension c_2 , kN/m	3 000
Коэффициент вязкого трения в первой ступени b_1 , кН · с/м Coefficient of viscous friction in the first stage b_1 , kN · s/m	60
Коэффициент вязкого трения во второй ступени b_2 , кН · с/м Coefficient of viscous friction in the second stage b_2 , kN · s/m	125
Скорость движения системы, м/с Speed of movement of the system, m/s	20
Длина неровности, м Length of irregularity, m	25
Амплитуда неровностей на поверхности рельс, м Amplitude of irregularities on the surface of the rails, m	0,005

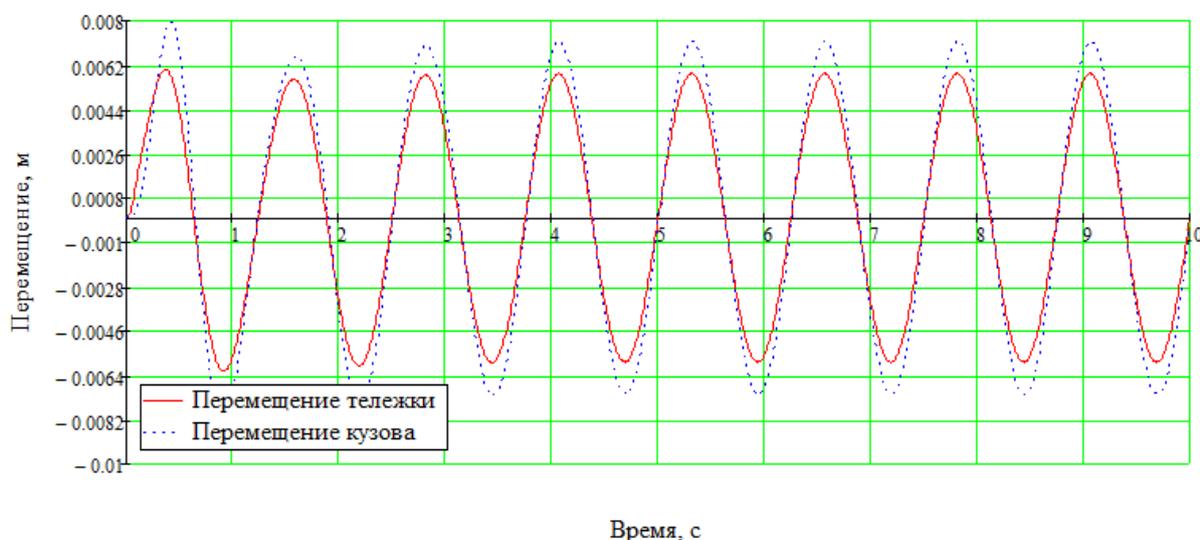


Рис. 2. График вертикальных перемещений тележки и кузова в случае наличия полностью исправных диссипативных элементов

Fig. 2. Graph of vertical displacements of the bogie and body in the case of the presence of fully functional dissipative elements

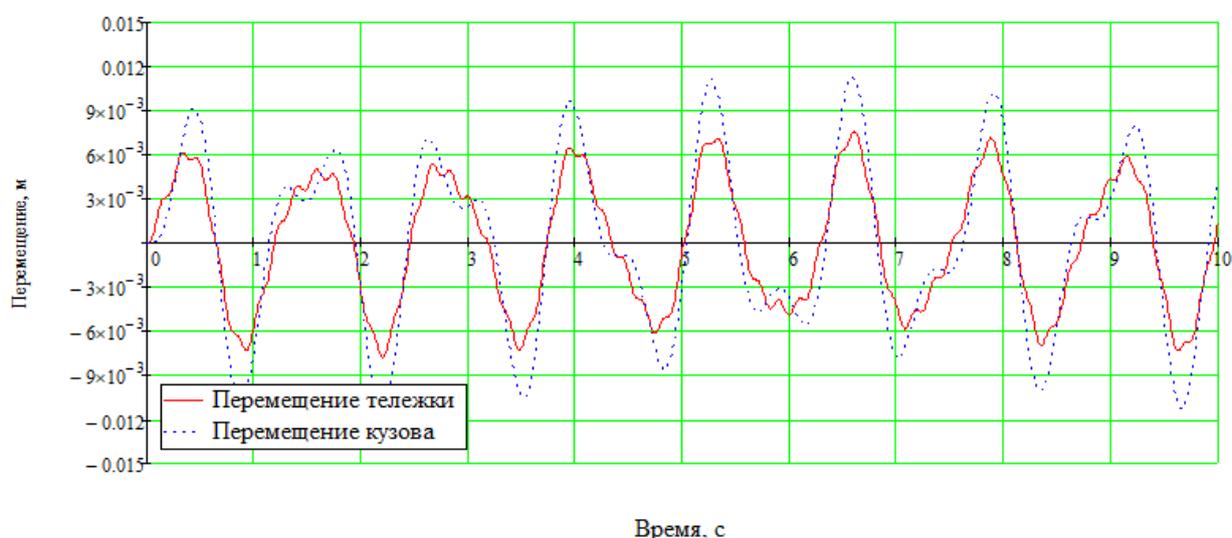


Рис. 3. График вертикальных перемещений тележки и кузова в случае отсутствия исправных диссипативных элементов

Fig. 3. Graph of vertical displacements of the bogie and body in the absence of serviceable dissipative elements

Анализируя графики, можно сделать вывод, что наличие исправных диссипативных элементов (гасителей) в рессорном подвешивании позволяет обеспечить более плавный ход подвижного состава при прохождении неровностей пути, а также снижает максимальную амплитуду колебаний, например в рассматриваемом случае кузовов при отсутствии или неисправности демпферов совершает колебания с большей амплитудой (свыше 50 % по сравнению с системой, работающей штатно).

При прохождении колесной парой какой-либо неровности пути возникают динамические нагрузки, в некоторых случаях данные усилия имеют ударный характер. Также в ходе данного процесса могут возникнуть ускорения величиной до 25g [3]. Перечисленные явления способны привести к повреждениям различных элементов ходовой части подвижного состава.

Путь, находящийся в эксплуатации, зачастую имеет целые совокупности повторяющихся неровностей, движение по которым вызывает колебательные движения [4]. К неровностям пути относят различные вертикальные и горизонтальные отклонения (рихтовка), разность уровней рельсов по их головкам (перекосы), а также крестовины, стыки и пучины [5]. Другим источником колебаний подвижного состава являются повреждения и дефекты на поверхностях катания колеса, а также неуравновешенность колесной пары и эксцентricность посадки колеса. Рессорное подвешивание позволяет

обеспечить плавность хода путем минимизации амплитуды и частоты колебательного движения и снижения воздействия динамических нагрузок и величины ускорения.

Анализ различных типов гасителей колебаний

В конструкциях рессорного подвешивания функции упругих элементов могут выполнять цилиндрические пружины, листовые рессоры, торсионы, пневматические рессоры, а также резинометаллические элементы. Однако наибольшее распространение получили пружины. По сравнению с листовыми рессорами, цилиндрические пружины обладают рядом преимуществ, например, при одинаковых упругих характеристиках меньшей массой и габаритами будет обладать цилиндрическая пружина. Также пружины являются более ремонтпригодными и дешевыми в производстве [6]. Однако применение лишь цилиндрических пружин сжатия не является достаточным, так как в ходе движения единицы подвижного состава возникают различные колебательные движения, которые указанные элементы не могут устранить. Для устранения данного недостатка пружин применяются гасители колебаний [7]. По виду диссипативных (рассеивающих) сил существующие гасители колебаний делятся на следующие группы: фрикционные, гидравлические и комбинированные. Принципиальное отличие между указанными группами гасителей колебаний заключается в способе преобразования механической энергии

колебаний в тепловую энергию. У фрикционных гасителей происходит преобразование с помощью сухого трения, у гидравлических гасителей с помощью вязкого трения.

Первыми нашли применение фрикционные гасители колебаний в конструкциях рессорного подвешивания. Сначала получили распространение листовые рессоры, которые обладают признаками как упругих элементов, так и фрикционных гасителей колебаний. Гашение колебаний в листовых рессорах осуществляется благодаря силе сухого трения между листами при их перемещении.

Листовые рессоры широко применялись в рессорном подвешивании подвижного состава в первой половине XX в. Наиболее часто они использовались в буксовом подвешивании различных типов двухосных грузовых вагонов и локомотивов, а также в центральной ступени подвешивания пассажирских вагонов. Данный тип рессор можно разделить на замкнутые и незамкнутые. Листовые рессоры до сих пор используются в рессорном подвешивании некоторых типов локомотивов и рефрижераторных вагонов, например, в буксовом подвешивании электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ80 и ВЛ85 (рис. 4), а также в некоторых магистральных и маневровых тепловозах используются незамкнутые листовые рессоры, а в центральной (люлочной) ступени подвешивания тележек КВЗ-И2 (рис. 5) и ЦМВ-DESSAU рефрижераторных вагонов – эллиптические замкнутые рессоры Галахова.

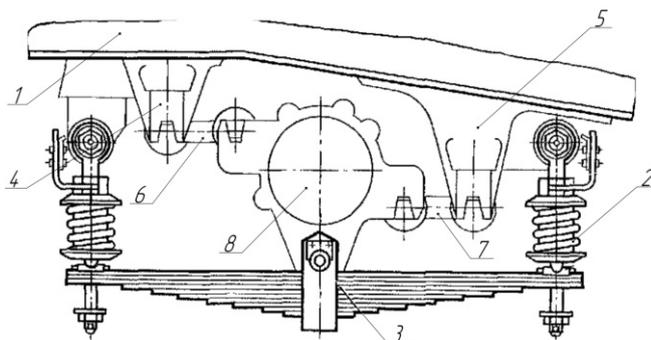


Рис. 4. Схема буксового подвешивания электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ80 и ВЛ85:

1 – рама тележки; 2 – цилиндрическая пружина; 3 – листовая рессора; 4, 5 – кронштейны; 6, 7 – поводки; 8 – корпус буксы

Fig. 4. Axle box suspension diagram for electric locomotives VL10, VL11, VL15, VL80 and VL85:

1 – bogie frame; 2 – cylindrical spring; 3 – leaf spring; 4, 5 – brackets; 6, 7 – leashes; 8 – axle box housing

В современных и вновь разрабатываемых типах подвижного состава не применяются листовые рессоры. Это обусловлено существенным недостатком таких рессор, который заключается в высоком коэффициенте трения, блокирующем работу рессоры при воздействии колебательных усилий с малой амплитудой и высокой частотой. Этот недостаток ведет к увеличению динамических нагрузок как на путь, так и на конструкцию единицы подвижного состава. Усовершенствование устройства пути на основе рельсошпальных решеток с рельсами тяжелых типов и железобетонных шпал и повышение массы локомотивов увеличивает негативное влияние этого недостатка листовых рессор.

Также стоит упомянуть, что небольшое распространение в конструкциях различных видов подвижного состава получили торсионные и кольцевые рессоры [6].

Широко используемые на сегодняшний день фрикционные гасители колебаний можно разделить на две группы: гасители с постоянной и переменной силой трения. К первому типу относятся, например, фрикционные гасители колебаний первой ступени подвешивания магистральных тепловозов 2ТЭ116. Схема данного гасителя представлена на рис. 6. Ко второму типу относятся клиновые гасители колебаний двухосных тележек грузовых вагонов (рис. 7) и гасители колебаний трехосных грузовых тележек и фрикционные гасители колебаний буксовой ступени тележек пассажирских вагонов.

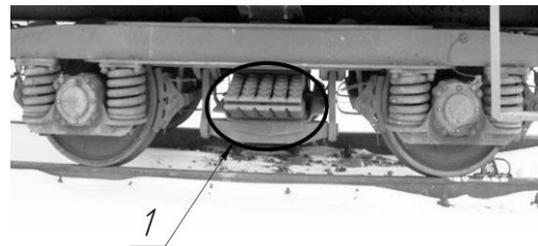


Рис. 5. Тележка рефрижераторных вагонов КВЗ-И2:

1 – эллиптические рессоры люлочной ступени подвешивания

Fig. 5. Refrigerator wagon bogie KVZ-I2:

1 – elliptical springs of the cradle suspension stage

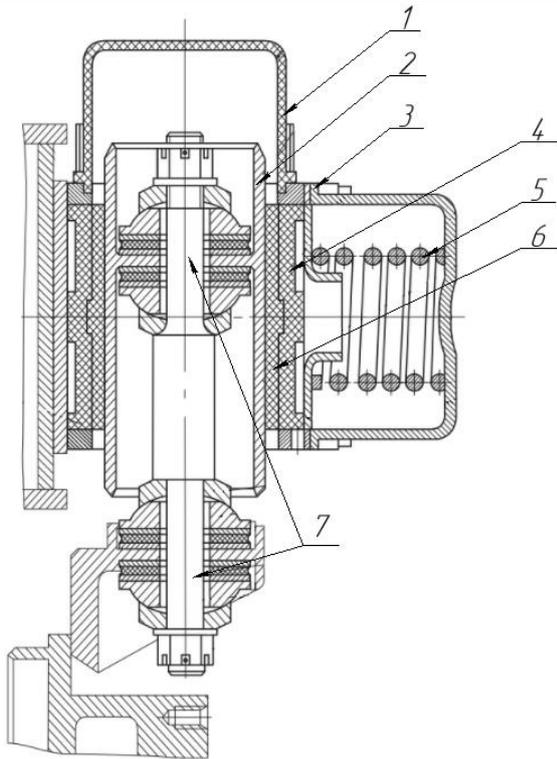


Рис. 6. Фрикционный гаситель колебаний магистрального тепловоза 2ТЭ116:

- 1 – кожух; 2 – поршень; 3 – крышка;
4, 6 – износостойкие накладки; 5 – прижимная пружина; 7 – места креплений

Fig. 6. Frictional vibration damper of the mainline diesel locomotive 2TE116:

- 1 – casing; 2 – piston; 3 – cover;
4, 6 – wear-resistant linings; 5 – pressure spring;
7 – fastening points

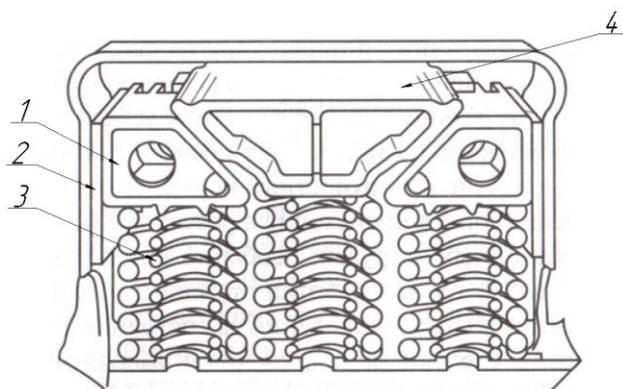


Рис. 7. Устройство фрикционного гасителя колебаний грузовой тележки 18-100 и ее модификаций:

- 1 – фрикционный клин; 2 – фрикционная планка;
3 – пружины рессорного комплекта;
4 – наддрессорная балка

Fig. 7. The device of the friction damper of vibrations of the 18-100 cargo bogie and its modifications:

- 1 – friction wedge; 2 – friction bar;
3 – springs of the spring set; 4 – bolster

Главными их достоинствами являются простота конструкции и надежность. Однако данные устройства не лишены недостатков. К ним относятся: высокая скорость изнашиваемости трущихся элементов, отсутствие зависимости силы трения от частоты колебаний, высокая жесткость рессорного подвешивания при воздействии колебаний с небольшой амплитудой.

К фрикционным гасителям также относятся дисковые гасители электро- и дизель-поездов, и рефрижераторных вагонов Брянского машиностроительного завода [8].

Другим типом гасителей колебаний, широко применяемым в рессорном подвешивании подвижного состава, являются гидравлические гасители колебаний (гидрогасители, гидродемпферы). Они не обладают недостатками, присущими фрикционным гасителям. Принцип гашения колебаний у этих устройств основан на преобразовании механической энергии в тепловую за счет вязкого трения в рабочей жидкости при ее перетекании через калиброванные отверстия или зазоры в клапанных блоках. Основным назначением гидравлических гасителей колебаний является создание сил сопротивления при относительных перемещениях кузова и рамы тележки, а также рамы тележки и буксы.

Гидравлические гасители колебаний обладают определенными преимуществами в сравнении с иными видами гасителей:

- сила сопротивления данного типа гасителя обладает зависимостью от амплитуды и частоты колебаний;

- долговечность деталей в процессе эксплуатации в сравнении с фрикционными гасителями колебаний;

- простота обслуживания.

Однако данные гасители колебаний не лишены определенных недостатков, которые заключаются в следующем:

- возможность утечек рабочей жидкости при повреждении упругих уплотнений;

- зависимость вязкостных характеристик рабочей жидкости от температуры окружающей среды;

- жесткая передача ударных импульсов.

Известны три конструктивных исполнения гидравлических гасителей колебаний: телескопический, рычажный и крыльчатый [8].

Наибольшее распространение получил телескопический гидрогаситель, так как он

обладает существенными преимуществами: простота в обслуживании и монтаже в рессорное подвешивание подвижного состава, а также небольшая трудоемкость изготовления. Схема указанного типа гидрогасителя представлена на рис. 8.

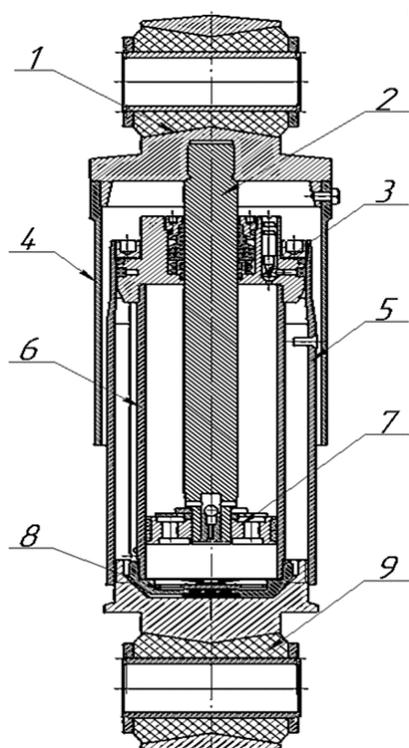


Рис. 8. Схема телескопического гидравлического гасителя колебаний:

1, 9 – крепежные проушины; 2 – шток;
3 – направляющая; 4 – кожух; 5 – корпус;
6 – цилиндр; 7 – поршень; 8 – днище

Fig. 8. Telescopic hydraulic damper diagram:

1, 9 – mounting lugs; 2 – rod; 3 – guide;
4 – casing; 5 – body; 6 – cylinder; 7 – piston; 8 – bottom

Существует классификация гидравлических гасителей колебаний в зависимости от места их установки в рессорном подвешивании подвижного состава:

1. ЦВ – гидрогасители, предназначенные для вертикальной установки с отклонением от указанного положения не более чем на 45° .

2. ЦГ – гидрогасители, предназначенные для горизонтальной установки с отклонением от указанного положения не более чем на 45° .

3. Ц – гидрогасители без ограничений к углу установки, предназначенные для гашения как вертикальных, так и горизонтальных колебаний кузова и тележек подвижного состава.

4. ДВЛ – гидрогасители, располагающиеся продольно вдоль рам тележек, предназначенные для гашения влияния колебаний влияния тележки при движении подвижного состава.

5. БВ – гидрогасители буксовых узлов с отклонением угла установки от вертикального расположения не более 30° , предназначенные для гашения влияния колебательных движений галлопирования, подпрыгивания и боковой качки тележек подвижного состава [9].

В целом гидравлические гасители данного типа нашли широкое применение в рессорном подвешивании локомотивов, пассажирских вагонов, вагонов метрополитена и трамваях. Постепенно эти устройства находят свое применение и в рессорном подвешивании грузовых вагонов. В качестве примера можно привести некоторые типы фитинговых платформ, например модели 13-6704 [10].

Существующие телескопические гидравлические гасители колебаний, как было сказано ранее, не лишены недостатков. Имеется необходимость совершенствования их конструкции.

Так, в [11] предлагается разработать и внедрить в конструкцию рессорного подвешивания подвижного состава управляемые гидравлические гасители колебаний ротационного типа.

В качестве рабочих жидкостей в гидравлических гасителях колебаний используются различные минеральные масла, например масло приборное МВП или АМГ-10. Существует определенная зависимость вязкости данных масел от температуры окружающей среды, что негативно сказывается на работоспособности гидродемпферов: из-за высокого показателя вязкости жидкость не успевает перетечь через дроссельные и клапанные отверстия, что может привести к блокировке работы гасителя и в целом всего рессорного подвешивания [12–15]. С целью минимизации зависимости демпфирующих свойств гасителя от изменчивости вязкостных свойств рабочей жидкости предлагаются конструкции гидрогасителей с термоаккумулятором [16, 17] или замена жидкости на основе минеральных масел на ферромагнитные (электропроводящие) жидкости [18]. Ведутся работы по обеспечению надежной работы гидрогасителей при воздействии высоко- и низкочастотных колебаний [19].

Большое влияние на работоспособность гидравлических гасителей колебаний в зимний период года может оказать подкожуховое льдо-

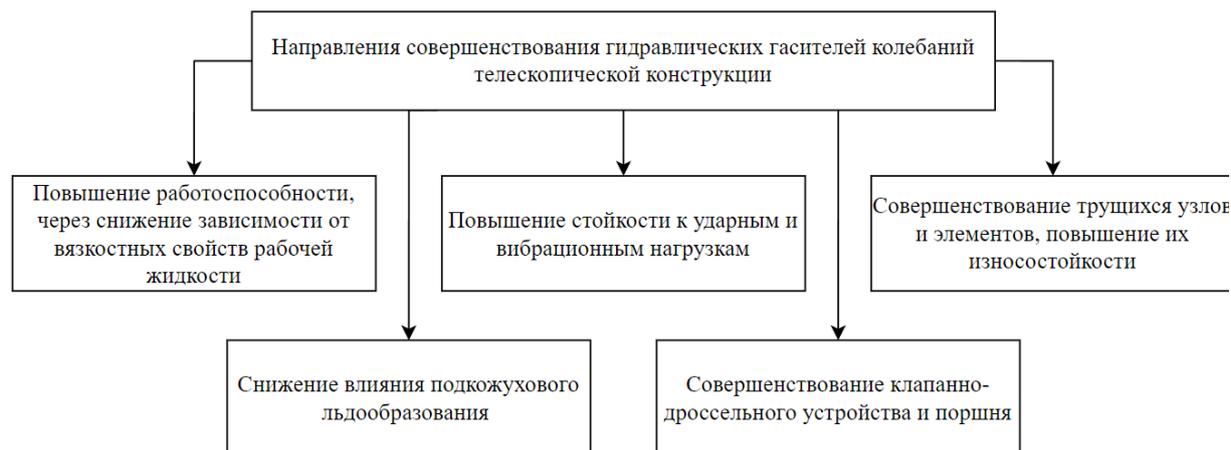


Рис. 9. Схема некоторых направлений совершенствования гидравлических гасителей колебаний телескопической конструкции

Fig. 9. Scheme of some directions of improvement for hydraulic vibration dampers of telescopic design

образование. В [20] приводится описание методов борьбы с указанным явлением и предложен улучшенный шуп для выявления подкожухового льдообразования при техническом обслуживании подвижного состава [21].

Существуют пневматические гасители колебаний, однако их применение в конструкции рессорного подвешивания подвижного состава повлечет за собой внедрение в конструкцию дополнительного пневматического оборудования – компрессоры, трубопроводы, устройства пневмоавтоматики. Также значительное влияние на работоспособность пневматических гасителей могут оказывать неблагоприятные условия окружающей среды многих железных дорог ОАО «РЖД».

Обзор конструкций рессорного подвешивания подвижного состава как отечественного, так и зарубежного производства, позволяет сделать вывод, что основными его элементами являются цилиндрические пружины сжатия (Flexicoil), применяемые в качестве упругих элементов, и гидрогасители (гидродемпферы) телескопического типа, используемые в качестве диссипативных элементов [22].

В [23] производится сравнение рессорного подвешивания пассажирского электровоза ЭП2К, состоящего из перечисленных элементов, и рессорного подвешивания электровозов устаревших типов (ВЛ10 и др.). Было определено, что рессорное подвешивание ЭП2К обеспечивает уменьшение вертикальных ускорений кузова на 57 %, тележек на 37–40 %, необрессоренных элементов на 6–7 %.

Необходимо совершенствовать технические характеристики и конструкции гидравлических гасителей колебаний, так как данные устройства весьма подвержены различным неисправностям, таким как утечка рабочей жидкости, различные механические повреждения узлов крепления и клапанно-дрессельных элементов конструкции [24]. Поэтому нужно выделить некоторые направления улучшения гидравлических гасителей колебаний, так как работы по ним позволят повысить эффективность и надежность функционирования гидрогасителей, что, в свою очередь, приведет к повышению динамических и прочностных качеств подвижного состава [25]. Особенно важно сосредоточить внимание на повышении стойкости к ударным и вибрационным нагрузкам. Так, в [26] отмечается, что гидрогасители буксовой ступени рессорного подвешивания электровозов серии «Ермак» (2ЭС5К и 3ЭС5К) наиболее часто выходят из строя по причине высоких динамических нагрузок, вызываемых высокими частотами и амплитудами колебательных движений. На рис. 9 представлена схема некоторых направлений совершенствования гидрогасителей телескопической конструкции.

Заключение

Таким образом, развитие и совершенствование подвижного состава постоянно требуют улучшения характеристик рессорного подвешивания. Необходимо уделять особое внимание на способность рессорного подвешивания к гашению механических колебаний,

возникающих при движении подвижного состава. Следовательно, повышение надежности и работоспособности различных видов гасителей колебаний – важная задача совершенствования подвижного состава железнодорожного транспорта, так как работы в данном направлении могут стать одним из факторов, обеспечивающих увеличение осевой нагрузки и рост скорости движения подвижного состава, а в некоторых случаях позволяют снизить негативное влияние на окружающую среду (по при-

чине сокращения количества случаев утечек минерального масла у гидрогасителей). В процессе анализа научных работ направление по повышению стойкости гидрогасителей к ударным и вибрационным нагрузкам, в том числе и к нагрузкам с низкой и высокой частотой, было определено как наиболее перспективное. Данному направлению уделяется недостаточно внимания, поэтому дальнейшие работы будут посвящены именно ему.

Список литературы

1. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. М. : Транспорт, 1991. 360 с.
2. Гарг В.К., Дуккипати Р.В. Динамика подвижного состава. М. : Транспорт, 1988. 390 с.
3. Вагоны / Л.А. Шагур, И.И. Челноков, Л.Н. Никольский и др. М. : Транспорт, 1980. 439 с.
4. Обоснование выбора расчетных неровностей железнодорожного пути для оценки показателей динамических качеств вагона / А.М. Орлова, А.Н. Комарова, Е.А. Рудакова и др. // Вестн. ин-та проблем естеств. монополий: техника железных дорог. 2019. № 2 (46). С. 36–42.
5. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М. : Транспорт, 1986. 558 с.
6. Шевченко П.В., Горбенко А.П. Вагоны промышленного железнодорожного транспорта. Киев : Вища шк., 1980. 224 с.
7. Гасители колебаний вагонов / И.И. Челноков, Б.И. Вишняков, В.М. Гарбузов и др. М. : Трансжелдориздат, 1963. 176 с.
8. Соколов М.М., Варава В.И., Левит Г.М. Гасители колебаний подвижного состава. М. : Транспорт, 1985. 216 с.
9. ГОСТ 33749-2016. Демпферы гидравлические железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия. Введ. 2017–01–01. М. : Стандартинформ, 2019. 15 с.
10. Анализ применения гидравлических гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта / С.В. Трескин, Е.Ю. Дульский, В.А. Кручек и др. // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2024. Т. 21. № 3. С. 598–608.
11. Минжасаров М.Х. Повышение динамических качеств локомотива совершенствованием буксовой ступени рессорного подвешивания : дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2016. 166 с.
12. Домньшев Д.А. Обеспечение эксплуатационных характеристик гидравлических амортизаторов автомобилей, используемых в сельском хозяйстве при низких температурах : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2021. 119 с.
13. Казорин П.С. Влияние отрицательных температур на работоспособность гидравлических амортизаторов перспективных гусеничных машин, предназначенных для использования в особо тяжелых природно-климатических условиях, в том числе Севера, Сибири и Дальнего Востока // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5-6 (167-168). С. 141–148.
14. Казорин П.С., Шик В.А. Определение вязкости амортизаторных жидкостей // Студенческая наука об актуальных проблемах и перспективах инновационного развития регионального АПК : материалы XXI науч.-практ. конф. обучающихся. Тара, 2022. С. 74–78.
15. Троценко В.В., Казорин П.С. Обеспечение плавности хода гусеничной машины по случайной неровной поверхности в условиях низких температур // Вестн. Омск. гос. аграр. ун-та. 2024. № 1 (53). С. 162–174.
16. Пат. 200121 Рос. Федерация. Устройство обеспечения работоспособности гидравлических амортизаторов военных гусеничных и колесных машин в условиях низких температур / Д.В. Шабалин, П.С. Казорин, Н.Е. Ракимжанов и др. № 2020119248 : заявл. 03.06.2020 : опубл. 07.10.2020, Бюл. № 28. 6 с.
17. Пат. 142785 Рос. Федерация. Гидравлический амортизатор с теплоаккумулятором / Ю.А. Гуськов, М.Л. Вертей, А.А. Долгушин и др. № 2014106686/11 ; заявл. 21.02.2014 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. №19. 2 с.
18. Пат. 177722 Рос. Федерация. Гидравлический гаситель колебаний / В.И. Воробьев, С.Н. Злобин, О.В. Измеров и др. № 2017107891 ; заявл. 10.03.2017 ; опубл. 06.03.2018, Бюл. № 7. 6 с.
19. Пат. 221859 Рос. Федерация. Устройство гашения колебаний с переменной характеристикой / П.Ю. Иванов, Е.Ю. Дульский, Е.А. Милованова и др. № 2023119091 ; заявл. 18.07.2023 ; опубл. 28.11.2023, Бюл. №34. 7 с.
20. Обзор и классификация методов борьбы с подкожуховым льдообразованием в гидравлических гасителях колебаний подвижного состава / С.В. Трескин, Е.Ю. Дульский, В.А. Кручек и др. // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2024. Т. 21. № 4. С. 825–834.
21. Пат. 228190 Рос. Федерация. Щуп для определения подкожухового льдообразования в гидравлических гасителях колебаний / С. В. Трескин. № 2024106657 ; заявл. 11.03.2024 ; опубл. 19.08.2024, Бюл. №23. 6 с.
22. Галиев И.И., Нехаев В.А., Николаев В.А. Методы и средства виброзащиты железнодорожных экипажей. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2010. 339 с.
23. Смалев А.Н. Улучшение показателей динамических качеств локомотива на основе модернизации рессорного подвешивания и совершенствования методики его расчета : дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2011. 172 с.
24. Буйносоев А.П., Карамов Е.А. Результаты испытания гидравлических гасителей локомотивов методом гармонических колебаний // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6. С. 46–49.

25. Буйносов А.П. Анализ неисправностей отечественного пассажирского электровоза ЭП2К // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 8. С. 11–14.

26. Савоськин А.Н., Лавлинская Н.С., Иванов П.Ю. Применение упругозащищенного гидравлического гасителя колебаний в рессорном подвешивании локомотивов // Вестн. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 2022. Т. 81. № 2. С. 134–147.

References

1. Vershinskii S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dinamika vagona [Carriage dynamics]. Moscow: Transport Publ., 1991. 360 p.
2. Garg V.K., Dukkipati R.V. Dinamika podvizhnogo sostava [Dynamics of railway. Vehicle systems]. Moscow: Transport Publ., 1988. 390 p.
3. Shadur L.A., Chelnokov I.I., Nikol'skii L.N., Nikol'skij E.N., Koturanov V.N., Proskurnev P.G., Kazanskii G.A., Spivakovskii A.L., Devyatkov V.F. Vagony [Wagons]. Moscow: Transport Publ., 1980. 439 p.
4. Orlova A.M., Komarova A.N., Rudakova E.A., Savushkin R.A. Obosnovanie vybora raschetnykh nerovnosti zheleznodorozhnogo puti dlya otsenki pokazatelei dinamicheskikh kachestv vagona [Justification of the choice of calculated railway track irregularities for assessing the dynamic qualities of the carriage]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: tekhnika zheleznikh dorog* [Bulletin of the Institute of Problems of Natural Monopolies: Railway Engineering], 2019, no 2, pp. 36–42.
5. Verigo M.F., Kogan A.Ya. Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava [Interaction of track and rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1986. 558 p.
6. Shevchenko P.V., Gorbenko A.P. Vagony promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta [Industrial railway transport wagons]. Kiev: Vishcha shkola Publ., 1980. 224 p.
7. Chelnokov I.I., Vishnyakov B.I., Garbuzov V.M., Estling A.A. Gasiteli kolebaniy vagonov [Vibration dampers of wagons]. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1963. 176 p.
8. Sokolov M.M., Varava V.I., Levit G.M. Gasiteli kolebaniy podvizhnogo sostava [Vibration dampers for rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1985. 216 p.
9. GOST 33749-2016. Dempfery gidravlicheskie zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Obshchie tekhnicheskie usloviya [State Standard 33749-2016. Hydraulic dampers for railway rolling stock. General specifications]. Moscow: Standartinform Publ., 2019. 15 p.
10. Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Kruchek V.A., Ivanov P.Yu. Analiz primeneniya gidravlicheskikh gasitelei kolebaniy v konstruktivnykh ressonnogo podveshivaniya podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta [Analysis of the use of hydraulic vibration dampers in spring suspension structures of railway rolling stock]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg Transport University], 2024, Vol. 21, no 3, pp. 598–608.
11. Minzhasarov M.Kh. Povyshenie dinamicheskikh kachestv lokomotiva sovershenstvovaniem buksovoi stupeni ressonnogo podveshivaniya [Improving the dynamic qualities of the locomotive by improving the axle box stage of the spring suspension]. Ph.D.'s theses. Omsk, 2016. 166 p.
12. Domnyshev D.A. Obespechenie ekspluatatsionnykh kharakteristik gidravlicheskikh amortizatorov avtomobilei, ispol'zuemykh v sel'skom khozyaistve pri nizkikh temperaturakh [Ensuring the operational characteristics of hydraulic shock absorbers used in agriculture at low temperatures]. Ph.D.'s theses. Novosibirsk, 2021. 119 p.
13. Kazorin P.S. Vliyaniye otritsatel'nykh temperatur na rabotosposobnost' gidravlicheskikh amortizatorov perspektivnykh gusenichnykh mashin, prednaznachennykh dlya ispol'zovaniya v osobo tyazhelykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh, v tom chisle Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka [The effect of negative temperatures on the performance of hydraulic shock absorbers of promising tracked vehicles designed for use in particularly harsh natural and climatic conditions, including the North, Siberia and the Far East]. *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu* [Issues of defense technology. Episode 16: technical means of countering terrorism], 2022, no 5-6 (167-168), pp. 141–148.
14. Kazorin P.S., Shik V.A. Opredeleniye vyazkosti amortizatornykh zhidkostei [Determination of the viscosity of shock-absorbing fluids]. *Materialy XXI nauchno-prakticheskoi konferentsii obuchayushchikhsya «Studenteskaya nauka ob aktual'nykh problemakh i perspektivakh innovatsionnogo razvitiya regional'nogo APK»* [Proceedings of the XXI scientific and practical conference of students «Student science on current problems and prospects of innovative development of the regional agro-industrial complex»]. Tara, 2022, pp. 74–78.
15. Trotsenko V.V., Kazorin P.S. Obespecheniye plavnosti khoda gusenichnoi mashiny po sluchainoi nerovnoi poverkhnosti v usloviyakh nizkikh temperatur [Ensuring smooth running of the tracked vehicle on random uneven surfaces at low temperatures]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University], 2024, no 1 (53), pp. 162–174.
16. Shabalin D.V., Kazorin P.S., Rakimzhanov N.E., Ivakhnenko T.A., Poyarkov S.S., Zaikin A.Yu., Kasaev A.V., Durnev D.V., Lavochkin A.N., Podrez V.M., Turchev V.F., Kobzhesarov S.Kh., Zverev E.V., Altukhov Ya.V., Shudykin A.S., Manzin M.Yu., Il'in I.N., Loginov I.E., Podol'nykh M.A. Patent RU 200121 U1, 07.10.2020.
17. Gus'kov Yu.A., Vertei M.L., Dolgushin A.A., Domnyshev D.A. Patent RU 142785 U1, 10.07.2014.
18. Vorob'ev V.I., Zlobin S.N., Izmerov O.V., Dorofeev O.V., Borzenkov M.I. Patent RU 177722 U1, 06.03.2018.
19. Ivanov P.Yu., Dul'skii E.Yu., Milovanova E.A., Ivanov V.N., Agafonov V.M., Aleksandrov A.A., Filippenko N.G., Karpov A.V., Bol'shakov R.S., Livshits A.V., Treskin S.V. Patent RU 221859 U1, 28.11.2023.
20. Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Kruchek V.A., Ivanov P.Yu. Obzor i klassifikatsiya metodov bor'by s podkozhukhovym l'doobrazovaniem v gidravlicheskikh gasitelyakh kolebaniy podvizhnogo sostava [Review and classification of methods for combating internal ice formation in hydraulic vibration dampers of rolling stock]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg Transport University], 2024, Vol. 21, no 4, pp. 825–834.
21. Treskin S.V. Patent RU 228190 U1, 19.08.2024.
22. Galiev I.I., Nekhaev V.A., Nikolaev V.A. Metody i sredstva vibrozashchity zheleznodorozhnykh ekipazhei [Methods and means of vibration protection of railway carriages]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2010. 339 p.

23. Smalev A.N. Uluchshenie pokazatelei dinamicheskikh kachestv lokomotiva na osnove modernizatsii ressnogo podveshivaniya i sovershenstvovaniya metodiki ego rascheta [Improvement of the dynamic qualities of the locomotive based on the modernization of the spring suspension and improvement of its calculation methods]. Ph.D.'s theses. Omsk, 2011. 172 p.

24. Buinosov A.P., Karamov E.A. Rezul'taty ispytaniya gidravlicheskikh gasitelei lokomotivov metodom garmonicheskikh kolebaniy [Results of testing hydraulic dampers of locomotives by harmonic oscillation method]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region], 2016, no 6, pp. 46–49.

25. Buinosov A.P. Analiz neispravnostei otechestvennogo passazhirskogo elektrovoza EP2K [Malfunction analysis of the domestic passenger electric locomotive EP2K]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region], 2021, no 8, pp. 11–14.

26. Savos'kin A.N., Lavlinskaya N.S., Ivanov P.Yu. Primenenie uprugozashchishchennogo gidravlicheskogo gasitelya kolebaniy v ressnom podveshivaniy lokomotivov [The use of an elastic-proof hydraulic vibration damper in spring suspension of locomotives]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2022, Vol. 81, no 2, pp. 134–147.

Информация об авторах

Трескин Сергей Викторович, аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sergei.tresckin@yandex.ru.

Дульский Евгений Юрьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: e.dulskiy@mail.ru.

Кручек Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры локомотивов и локомотивного хозяйства, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург; e-mail: victor.kruchek@yandex.ru.

Иванов Павел Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: savl.ivanov@mail.ru.

Information about the authors

Sergei V. Tresckin, Ph.D. Student of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sergei.tresckin@yandex.ru.

Evgenii Yu. Dul'skii, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: e.dulskiy@mail.ru.

Victor A. Kruchek, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Locomotives and Locomotive Facilities, Petersburg State Transport University named Emperor Alexander I, Saint Petersburg; e-mail: victor.kruchek@yandex.ru.

Pavel Yu. Ivanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: savl.ivanov@mail.ru.