

УДК 629.463.32

Применение программного комплекса Femar при комплексной оценке влияния неисправностей гидравлического гасителя колебаний на раму пассажирской тележки КВЗ-ЦНИИ

Л. В. Мартыненко¹, Д. П. Кононов²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Мартыненко Л. В., Кононов Д. П. Применение программного комплекса Femar при комплексной оценке влияния неисправностей гидравлического гасителя колебаний на раму пассажирской тележки КВЗ-ЦНИИ // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 3. — С. 21–28. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-21-28

Аннотация

Цель: Определение влияния неисправностей гидравлического гасителя колебаний на раму пассажирской тележки КВЗ-ЦНИИ. **Методы:** Определено напряженно-деформированное состояние рамы тележки пассажирского вагона с помощью программного комплекса Femar под действием статических и динамических нагрузок. Определены причины возникновения неисправностей гидравлических гасителей колебаний, основной из которых является забивание каналов продуктами износа, возникающего в результате трения штока о внутреннюю поверхность цилиндра. **Результаты:** Проведенные расчеты, которые согласуются с результатами эксплуатации тележек пассажирских вагонов, показали наличие слабых мест в тележке. Это места крепления гидравлического гасителя колебаний к раме тележки. И если при исправном гасителе эквивалентные напряжения в этих местах не превышают допустимых значений, то при выходе из строя образуются трещины в раме тележки. Поэтому необходимо применять дополнительные конструктивные решения, повышающие надежность работы гасителя колебаний. **Практическая значимость:** Модернизация гидравлического гасителя колебаний тележки КВЗ-ЦНИИ типов I и II путем добавления в него неодимового магнита диаметром 20 мм позволит удалять из масла металлическую стружку, образующуюся из-за трения штока о стенки цилиндра, что повысит его надежность.

Ключевые слова: Безопасность движения, плавность хода, гидравлический гаситель колебаний, центральное люлочное подвешивание, гашение колебаний.

Введение

Отклонения в пути следования приводят к опасным последствиям, что для пассажирского движения недопустимо, так как обеспечение безопасности перевозки пассажиров является основной задачей ОАО «РЖД» [1].

Для оценки прочности вагона применяются физико-математическое моделирование и различные виды испытаний [2, 3]. Одним из инструментов, используемых для расчетов, является программный комплекс Femar. Он позволяет определить места в тележке пассажирского вагона, в которых действующие напряжения достигают максимальных значений и возможно образование трещин. Модель рамы пассажирской тележки, выполненная в программном комплексе Femar, представлена на рис. 1.

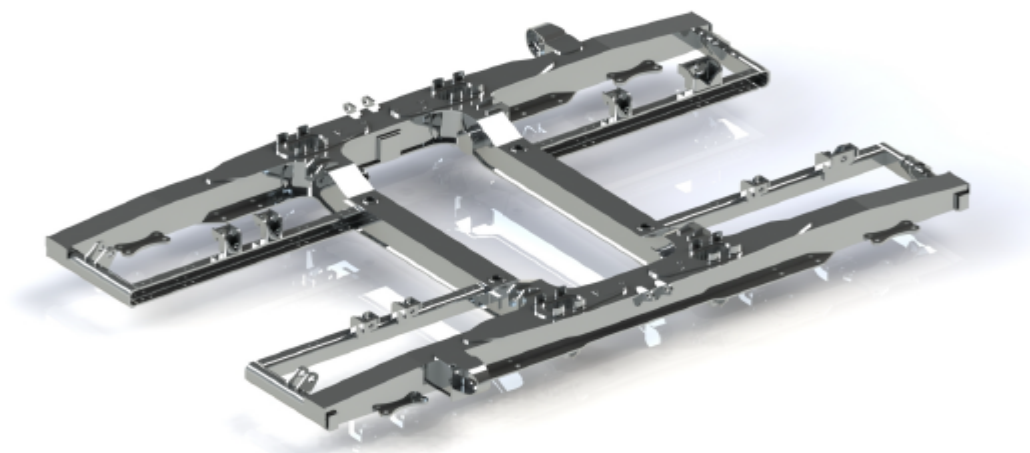


Рис. 1. 3D-модель рамы пассажирской тележки

Для определения напряжений, действующих в тележке, необходимо приложить нагрузки, возникающие в пути следования. Для этого используются Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог (рис. 2) [4].

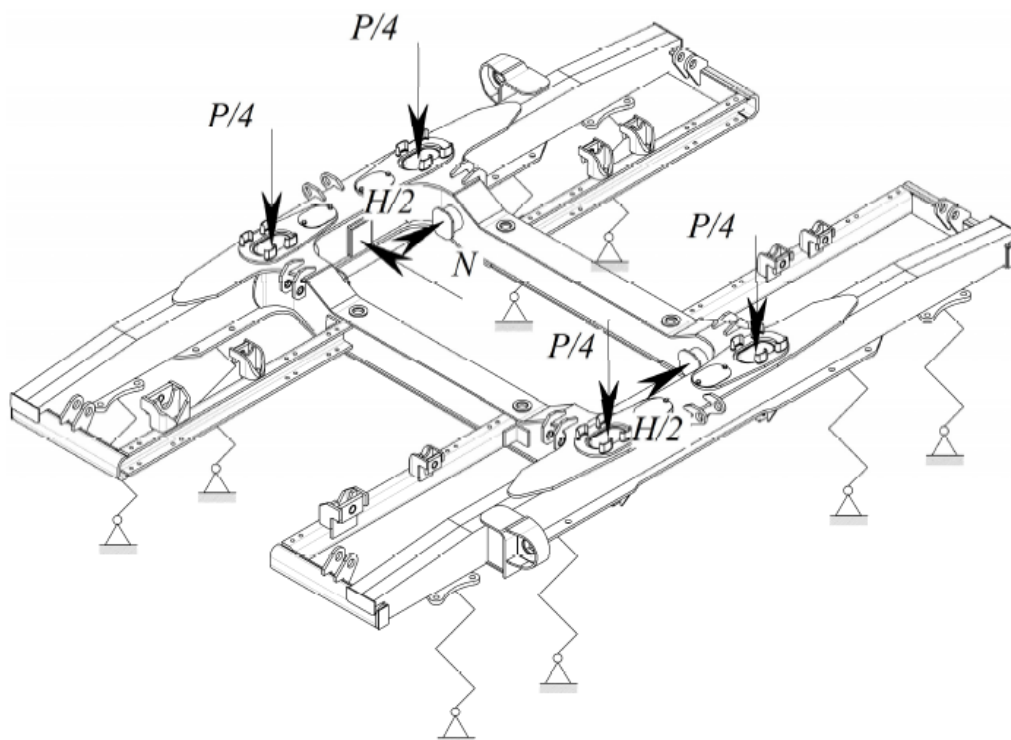


Рис. 2. Расчетная схема нагрузок на раму пассажирской тележки КВЗ-ЦНИИ

Тем не менее нагрузочная модель, приведенная в [4], не полностью учитывает динамическую составляющую, возникающую во время движения подвижного состава.

1. Исследование неисправностей гидравлического гасителя колебаний

Колебания кузова вызываются многими факторами [5], одним из которых является отклонение пути, создающее динамические всплески в процессе движения. Во время движения пассажирского вагона (со скоростью до 140 км/ч) неровности пути провоцируют значительные колебания кузова, характеризующиеся высокой амплитудой и частотой.

Для защиты от них используется центральное люлечное подвешивание. Оно должно обеспечивать максимальную защиту при движении подвижного состава. Комплект трехрядных пружин гасит вибрации, создавая плавное движение, но при этом вызывает колебания. Для их гашения применяется гидравлический гаситель колебаний. Данный узел имеет сложную конструкцию, и при нарушении его работы нагрузка, действующая на раму и передающаяся на центральное люлечное подвешивание, будет возвращаться на раму. Это приводит к большому динамическому воздействию на вагон и образованию трещины на раме в зоне крепления гидравлического гасителя колебаний (рис. 3) [6–8].

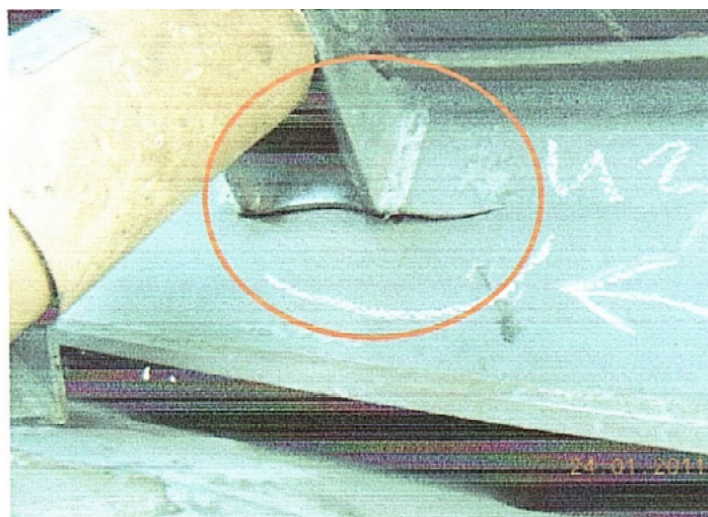


Рис. 3. Трещина в раме пассажирской тележки

Основным элементом гидравлического гасителя колебаний является шток, который создает давление внутри при движении масла, что обеспечивает гашение колебаний [9]. При работе штока (при движении вверх и вниз) контактирующие поверхности трутся друг о друга, в результате чего могут образовываться металлические включения, которые забивают проходные каналы для масла. Это приводит либо к уменьшению перетекания масла, либо к забиванию каналов, в результате чего данный узел перестает работать как гаситель. Образуется высокое внутреннее давление, которое приводит не только к образованию трещины, но и увеличивает риск динамического всплеска, негативно влияющего на остальные части рамы и узлы [10].

Процесс работы гидравлического гасителя колебаний зависит от конструкции, а также правильности распределения масла по всему объему. Когда происходит уменьшение отверстий для прохода масла, возрастает нагрузка на данный узел и увеличивается амплитуда колебаний вагонов (рис. 4).

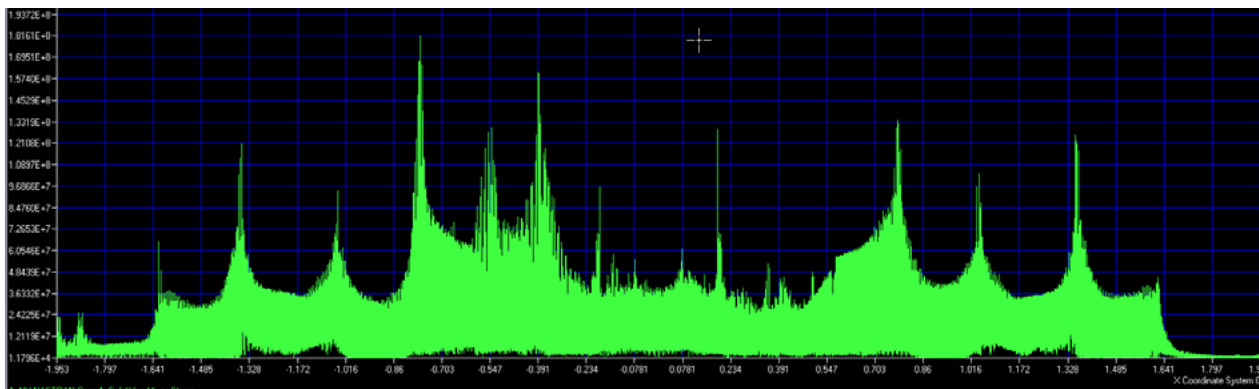


Рис. 4. Диаграмма распределения напряжений по боковой балке пассажирской тележки с учетом неправильной работы гидравлического гасителя колебаний

2. Работа гидравлического гасителя колебаний

Давление масла в подпоршневой полости цилиндра при ходе сжатия и растяжения повышенное. Поэтому масло вытесняется из цилиндра в резервуар через кольцевой зазор между штоком и его направляющей при обоих ходах (рис. 5). Увеличение этого зазора будет снижать сопротивление гасителя. Интенсивное падение сопротивления начинается при величине зазора 0,08 мм и более (рис. 6) [11].

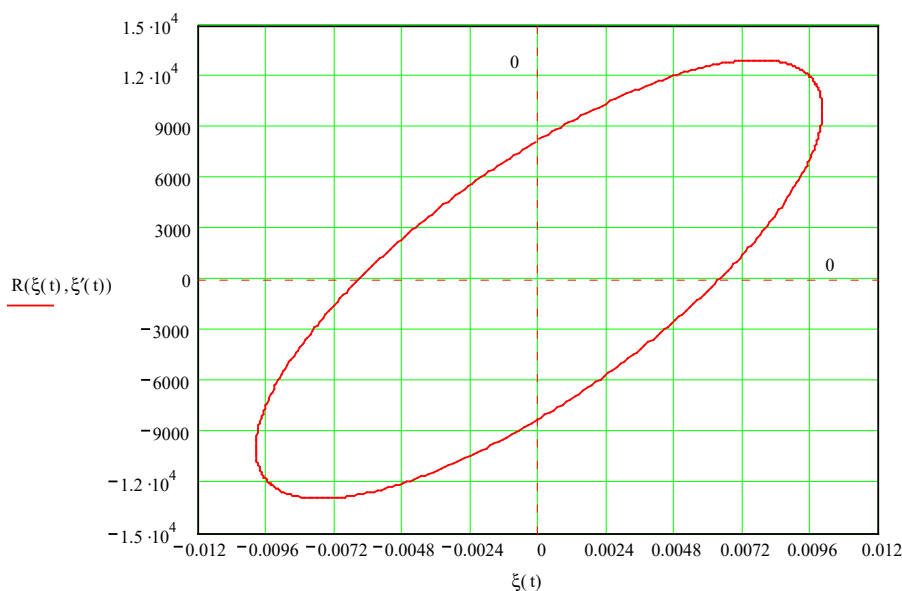


Рис. 5. Работа на сжатие гасителя колебаний:
 $\xi'(t)$ — скорость деформации связи во времени; $\xi(t)$ — изменение деформации во времени; R — реакция упруго-вязкой связи

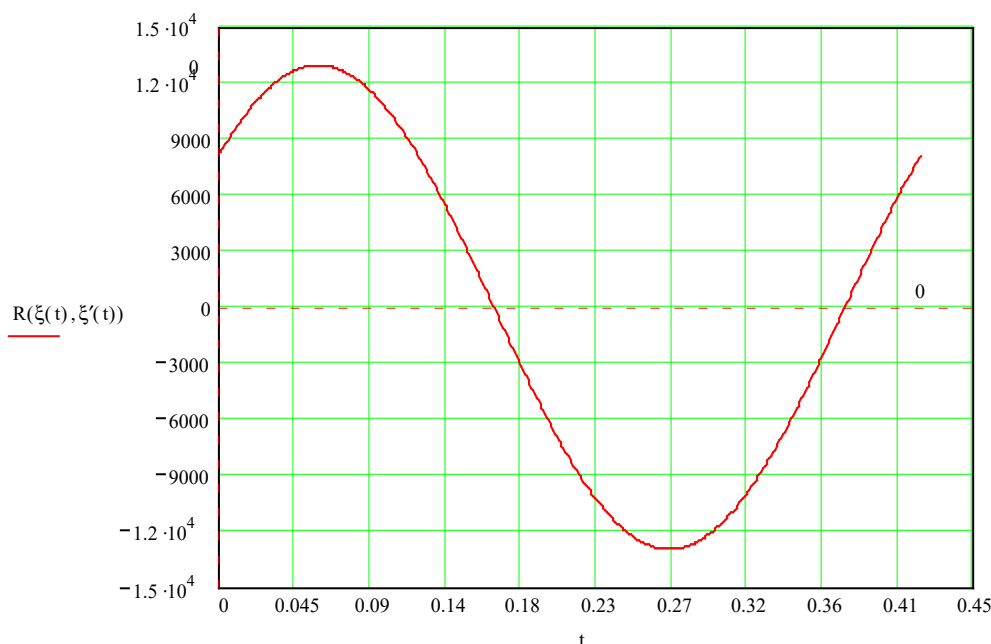


Рис. 6. Зависимость реакции упруго-вязкой связи от времени работы гидравлического гасителя колебаний

Кроме этого, при длительной эксплуатации масло, которое применяется в гидравлическом гасителе колебаний, имеет свойство работать как растворитель. В результате чего резиновые элементы могут разрушаться под его воздействием. Рабочая поверхность цилиндра со временем изнашивается, что приводит к выходу из строя поршневых колец. Кроме того, в процессе работы гасителя кольца теряют упругость и иногда лопаются [12].

Эти дефекты уменьшают компрессию между подпоршневой и надпоршневой полостями цилиндра. Во время хода растяжения масло дополнительно перетекает через зазор между стенками цилиндра и поршнем, что приводит к снижению силы сопротивления гасителя.

При неисправных гасителях колебаний кузов вагона более продолжительное время раскачивается на рессорном подвешивании. Гашение толчков и ударов происходит жестко, что создает условия для возникновения более серьезных неисправностей в узлах тележки. При эксплуатации гасителей колебаний происходит износ и повреждение деталей, включая сопряженные с ними каркасы сальников. Шток и внутренняя поверхность цилиндра получают местные выработки. По мере нарастания износа штока и его направляющей увеличивается кольцевой зазор между этими деталями.

Гидравлический гаситель колебаний тележки КВЗ-ЦНИИ (тип I, II) можно сделать более надежным за счет добавления неодимового магнита диаметром 20 мм. Это позволит удалять из масла металлическую стружку, образующуюся из-за трения штока о стенки цилиндра.

Заключение

Анализ расчетов, согласующихся с эксплуатационными данными тележек пассажирских вагонов, выявил слабое место конструкции — узлы крепления гидравлического гасителя колебаний к раме. И если при исправном гасителе эквивалентные напряжения в этих местах не превышают допустимых значений, то при выходе из строя образуются трещины в раме тележки. Поэтому необходимо применять дополнительные конструктивные решения, повышающие надежность работы гасителя колебаний.

Список источников

1. Стрекалина Р. П. Экономика и организация вагонного хозяйства / Р. П. Стрекалина. — М.: Маршрут, 2005. — 436 с.
2. Лукин В. В. Вагоны. Общий курс: учебник / В. В. Лукин, П. С. Анисимов, Ю. П. Федосеев. — М.: УМЦ ЖДТ, 2004. — 424 с.
3. Лукин В. В. Конструирование и расчет вагонов / В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. И. Хотуранов, А. А. Хохлов. — М.: УМК МПС России, 2000. — 732 с.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 317 с.
5. Егоров В. П. Устройство и эксплуатация пассажирских вагонов (для проводников): учеб. пособие / В. П. Егоров. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: УМК МПС России, 1999. — 335 с.
6. Быков Б. В. Технология ремонта вагонов: учебник / Б. В. Быков, В. Е. Пигарев. — М.: ИПК «Желдориздат», 2001. — 559 с.
7. Пантюхин А. С. Справочник осмотрщика вагонов / А. С. Пантюхин. — М.: Желдориздат, 2008. — 209 с.
8. Устич П. А. Вагонное хозяйство / П. А. Устич, И. И. Хаба, В. А. Ивашов. — М.: Маршрут, 2003. — 560 с.
9. Челноков И. И. Гидравлические гасители колебаний пассажирских вагонов / И. И. Челноков. — М.: Транспорт, 1975. — 72 с.
10. Пригожаев С. С. Анализ влияния характеристик гидравлического гасителя колебаний на напряженно-деформированное состояние тележки пассажирского вагона / С. С. Пригожаев, А. А. Пыхалов, Н. О. Бурмакин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2022. — № 2(74). — С. 130–141. — DOI: 10.26735/1813-9108.2022.2(74).130-141.
11. Трескин С. В. Анализ применения гидравлических гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, В. А. Кручек, П. Ю. Иванов // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2024. — Т. 21. — № 3. — С. 598–608. — DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-598-608.

12. Трескин С. В. Причины неисправностей гидравлических гасителей колебаний подвижного состава железнодорожного транспорта и возможные пути совершенствования их конструкции / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов и др. // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2025. — № 5. — С. 21–31. — DOI: 10.36535/0236-1914-2025-05-3.

Дата поступления: 09.06.2025

Решение о публикации: 11.07.2025

Контактная информация:

МАРТЫНЕНКО Любовь Викторовна — ст. преподаватель; liuba.martinenko@yandex.ru

КОНОНОВ Дмитрий Павлович — д-р техн. наук, проф.; d_kononov@mail.ru

A Comprehensive Assessment of the Impact of the Hydraulic Vibration Damper Malfunctions on the KVZ-TsNII Passenger Bogie Frame Using the Femap Software Package

L. V. Martynenko¹, D. P. Kononov²

¹Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevskogo str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

²Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Martynenko L. V., Kononov D. P. A Comprehensive Assessment of the Impact of the Hydraulic Vibration Damper Malfunctions on the KVZ-TsNII Passenger Bogie Frame Using the Femap Software Package. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 3, pp. 21–28. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-21-28

Summary

Purpose: To determine the effect of malfunctions of the hydraulic vibration damper on the KVZ-TsNII passenger bogie frame. **Methods:** The stress-strain state of the passenger car bogie frame under the influence of static and dynamic loads has been determined by applying the Femap software package. The causes of malfunctions in hydraulic vibration dampers have been identified, with the primary cause being the accumulation of wear products in the channels, resulting from the friction of the rod against the inner surface of the cylinder. **Results:** The calculations have demonstrated a high degree of agreement with the operational data from the actual passenger car bogie operation, and have identified the weak points in the bogie. These are the points of the hydraulic vibration damper attachment to the bogie frame. In the event of the damper functioning correctly, the equivalent stresses in these locations do not exceed the permissible values. However, in the event of failure, cracks are formed in the bogie frame. It is imperative, therefore, to implement supplementary design solutions with the objective of enhancing the reliability of the operation of the vibration damper. **Practical significance:** The modification of the hydraulic vibration damper of the I and II KVZ-TsNII type bogie by the incorporation of a neodymium magnet with a diameter of 20 mm will facilitate the removal of metal shavings from the oil resulting from the friction of the rod against the cylinder walls, thereby enhancing its reliability.

Keywords: Safety of operation, smooth running, hydraulic vibration damper, central cradle suspension, vibration damping.

References

1. Strekalina R. P. *Ekonomika i organizatsiya vagonnogo khozyaistva* [Economics and organization of carriage facilities]. Moscow: Marshrut Publ., 2005, 436 p. (In Russian)
2. Lukin V. V., Anisimov P. S., Fedoseev Yu. P. *Vagoni. Obshchii kurs: uchebnik* [Carriages. General course: textbook]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2004, 424 p. (In Russian)
3. Lukin V. V., Shadur L. A., Khoturanov V. I., Khokhlov A. A. *Konstruktsiya i raschet vagonov* [Design and calculation of carriages]. Moscow: UMKS MPS Rossii Publ., 2000, 732 p. (In Russian)
4. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznnykh dorog MPS koley 1520 mm (nesamokhodnykh)* [Standards for calculation and design of non-self-propelled carriages for 1520 mm gauge]. Moscow: GosNIIV-VNIIZHT Publ., 1996, 317 p. (In Russian)
5. Egorov V. P. *Ustroistvo i ekspluatatsiya passazhirskikh vagonov: ucheb. posobie, 2-e izd., pererab. i dop.* [Design and operation of passenger carriages (for conductors): textbook, 2nd ed., revised and enlarged]. Moscow: UMKS MPS Rossii Publ., 1999, 335 p. (In Russian)
6. Bykov B. V., Pigarev V. E. *Tekhnologiya remonta vagonov: uchebnik* [Carriage repair technology: textbook]. Moscow: IPK "Zheldorizdat" Publ., 2001, 559 p. (In Russian)
7. Pantyukhin A. S. *Spravochnik osmotschika vagonov* [Carriage inspector's handbook]. Moscow: Zheldorizdat Publ., 2008, 209 p. (In Russian)
8. Ustich P. A., Khaba I. I., Ivashov V. A. *Vagonnoe khozyaistvo* [Carriage facilities]. Moscow: Marshrut Publ., 2003. 560 p. (In Russian)
9. Chelnokov I. I. *Gidravlicheskie gasiteli kolebanii passazhirskikh vagonov* [Hydraulic dampers of passenger carriages]. Moscow: Transport Publ., 1975, 72 p. (In Russian)
10. Prigozhaev S. S., Pykhalov A. A., Burmakin N. O. Analiz vliyaniya kharakteristik gidravlicheskogo gasitelya kolebanii na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie telezhki passazhirskogo vagona [Analysis of the influence of hydraulic damper characteristics on the stress-strain state of a passenger carriage bogie]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling]. 2022, vol. 2(74), pp. 130–141. DOI: 10.26735/1813-9108.2022.2(74).130-141. (In Russian)
11. Treskin S. V., Dul'skiy E. Yu., Kruchek V. A., Ivanov P. Yu. Analiz primeneniya gidravlicheskikh gasitelei kolebanii v konstruktsiyakh ressnogo podveshivaniya podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta [Analysis of the application of hydraulic vibration dampers in the designs of spring suspension of railway rolling stock]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Proceedings of the Petersburg Transport University]. Saint Petersburg, 2024, vol. 21, Iss. 3, pp. 598–608. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-03-598-608. (In Russian)
12. Treskin S. V., Dul'skiy E. Yu., Ivanov P. Yu. et al. Prichiny neispravnostei gidravlicheskikh gasitelei kolebanii podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta i vozmozhnye puti sovershenstvovaniya ikh konstruktsii [Causes of malfunctions of hydraulic vibration dampers of railway rolling stock and possible ways to improve their design]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyi informatsionnyi sbornik* [Transport: science, technology, management. Scientific information collection]. 2025, Iss. 5, pp. 21–31. DOI: 10.36535/0236-1914-2025-05-3. (In Russian)

Received: June 09, 2025

Accepted: July 11, 2025

Author's information:

Lyubov' V. MARTYNENKO — Senior Lecturer; liuba.martinenko@yandex.ru

Dmitry P KONONOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; d_kononov@mail.ru