

Научная статья
УДК 658.562.4+620.1.08
doi:10.52170/1815-9265_2026_80_39

Анализ работы автоматизированной системы измерения геометрических параметров пружин рессорного подвешивания

Дарья Ивановна Школина^{1✉}, Сергей Алексеевич Бехер²,
Артем Антонович Попков³, Владимир Сергеевич Выплавень⁴

^{1, 2, 3, 4} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Россия

¹ dashashkolina@mail.ru✉

² behers@mail.ru

³ zabagy@gmail.com

⁴ vladimir97927@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается автоматизированная система измерения геометрических параметров пружин рессорного подвешивания. Рессорное подвешивание является важным элементом ходовой части вагона, оно обеспечивает уменьшение динамических нагрузок на элементы вагона, плавность хода, в том числе на кривых участках пути, и уменьшает интенсивность нарастания износов во всех узлах и деталях вагонов. В нормативной документации установлены требования к высотам пружин, находящимся в одном комплекте, так как правильно сформированный комплект обеспечивает безопасную эксплуатацию подвижного состава. В настоящее время контроль геометрических параметров пружин рессорного подвешивания проводится с использованием ручных штатных средств, что требует значительных временных затрат. Для сокращения времени измерения и влияния человеческого фактора на результаты измерения и, следовательно, уменьшения погрешности необходима разработка специализированных систем, которые позволят в автоматическом режиме определять геометрические размеры и формировать комплекты для установки на вагон.

Цель исследования заключалась в анализе работы автоматизированной системы измерения геометрических параметров пружин рессорного подвешивания и подбора комплектов в соответствии с требованиями нормативной документации. Принцип действия установки основан на автоматической фотосъемке пружины на контрастном светящемся фоне с разных ракурсов и анализе полученных изображений специализированными алгоритмами. С использованием технологии технического зрения определяются геометрические параметры объекта в двух режимах работы: сплошной контроль пружин и формирование комплектов. Проанализированы результаты функционирования системы в вагонных ремонтных депо за один календарный год. Установлено, что время контроля одной пружины не превышает 5 с, а формирование комплекта занимает не более 3 мин без необходимости замены пружин.

Ключевые слова: система автоматизированного контроля, рессорное подвешивание, геометрические размеры, формирование комплектов, техническое зрение

Для цитирования: Анализ работы автоматизированной системы измерения геометрических параметров пружин рессорного подвешивания / Д. И. Школина С. А. Бехер А. А. Попков В. С. Выплавень // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 3 (80). С. 39–46. DOI 10.52170/1815-9265_2026_80_39.

Original article

Analysis of the operation of an automated system for measuring the geometric parameters of suspension spring coils

Darya I. Shkolina^{1✉}, Sergey A. Bekher², Artem A. Popkov³, Vladimir S. Vyplaveny⁴

^{1, 2, 3, 4} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ dashashkolina@mail.ru✉

² behers@mail.ru

³ zabagy@gmail.com

⁴ vladimir97927@gmail.com

Abstract. The article discusses an automated system for measuring geometric parameters of suspension spring coils. Spring suspension is an important element of the carriage undercarriage, it reduces the dynamic loads

on the carriage elements, ensures smooth running, including on curved sections of the track, and reduces the intensity of wear build-up in all nodes and parts of the wagons. The regulatory documentation establishes requirements for the heights of springs located in one set, since a properly formed set ensures the safe operation of rolling stock. Currently, the geometric parameters of the suspension spring coils are monitored using manual standard tools. Carrying out these measurements requires considerable time. In order to reduce the measurement time and the influence of the human factor on the measurement results, and therefore reduce the error, it is necessary to develop specialized systems that will automatically determine the geometric dimensions and form kits for installation on the car.

The purpose of the study was to analyze the operation of an automated system for measuring the geometric parameters of suspension spring coils and selecting kits in accordance with the requirements of regulatory documentation. The principle of the installation is based on the automatic photographing of the spring on a contrasting luminous background from different angles and the analysis of the resulting images by specialized algorithms. Using the technology of technical vision, the geometric parameters of the object are determined in two modes of operation: continuous control of springs and the formation of sets. The results of the system's operation in wagon repair depots for one calendar year are analyzed. It is established that the control time of one spring does not exceed 5 seconds, and the formation of a set takes no more than 3 minutes without the need to replace the springs.

Keywords: automated control system, spring suspension coil, geometric dimensions, formation of sets, technical vision

For citation: Shkolina D. I., Bekher S. A., Popkov A. A., Vyplaven V. S. Analysis of the operation of an automated system for measuring geometric parameters of suspension spring coils. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2026;(80):39–46. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_80_39.

Введение

Вагонное хозяйство является важнейшим в железнодорожной отрасли и предназначено для перевозки грузов и пассажиров, а также содержания парка вагонов в исправном состоянии. Функционирование производственной базы вагонного хозяйства основывается на планово-предупредительной системе обслуживания и ремонта вагонов [1, 2]. Система определяет периодичность и вид ремонта для каждого типа вагона. Для грузовых вагонов предусмотрено несколько видов технического обслуживания, деповской и капитальный ремонт [3–5]. Деповской ремонт проводится в вагонных ремонтных депо после пробега 160 тыс. км. В случае внезапного отказа одного или нескольких элементов вагона выполняется текущий отцепочный ремонт.

Неисправности ходовых частей вагонов – наиболее распространенные причины отцепок грузовых вагонов в межремонтный период [6–8]. В отказах грузовых вагонов основное место занимают неисправности ходовой части, которая подвержена влиянию знакопеременных динамических нагрузок различной величины. В период с 2023 по 2025 г. 51 % грузовых вагонов отцеплены по причине неисправностей в деталях ходовой части (рис. 1, а), из них 71 % приходится на причины неисправностей элементов тележки вагона (см. рис. 1, б).

Ходовая часть вагона включает рессорное подвешивание, основная функция которого состоит в смягчении ударов и уменьшении амплитуды колебаний вагона при прохождении по неровностям пути между рамой вагона и колесной парой [9–13]. В качестве упругих

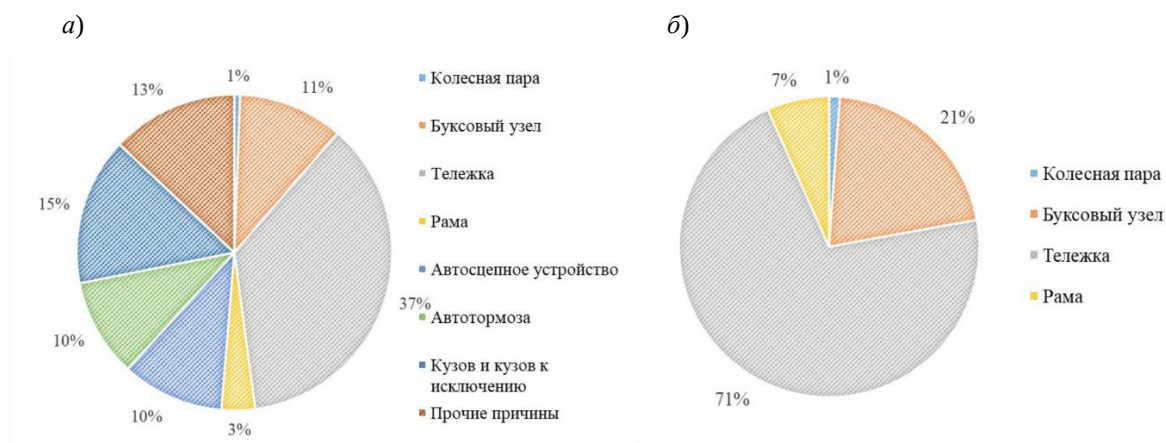


Рис. 1. Распределение отцепок вагонов за 2023–2025 гг.: а – по узлам; б – по дефектам в элементах ходовой части

элементов применяют винтовые пружины. Появление дефектов связано не только с условиями эксплуатации, но и с неправильным формированием комплекта рессорного подвешивания [14, 15]. Подбор комплекта рессорного подвешивания, осуществляемый для обеспечения нормальной эксплуатации вагонов и безопасности движения поездов, выполняется по геометрическим параметрам. Требованиями действующей нормативной документации жестко регламентированы диапазоны высот пружин, находящихся в одном комплекте, а также место каждой пружины, например у тележек модели 18-100 самые высокие пружины в комплекте устанавливаются под клин фрикционного гасителя колебаний.

В настоящее время контроль геометрических параметров пружин рессорного подвешивания проводится с использованием ручных штатных средств, как то: штангенциркуль, штангенглубиномер, калибр-стакан и калибр-пробка. Учитывая, что на одном вагоне может быть установлено до 56 пружин рессорного подвешивания, проведение измерений требует значительных временных затрат. Для уменьшения времени измерения и повышения точности результатов необходима разработка специализированных систем, которые позволят в автоматическом режиме определять геометрические размеры и формировать комплекты для установки на вагон.

Целью исследования является анализ работы автоматизированной системы измерения геометрических параметров пружин рессорного подвешивания и подбора комплектов в соответствии с требованиями нормативной документации.

Материалы и методы исследования

Для решения задачи измерения геометрических размеров пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов разработана установка, принцип действия которой основан на автоматической фотосъемке пружины на контрастном светящемся фоне с разных ракурсов и анализе полученных изображений специализированными алгоритмами. С использованием технологии технического зрения определяются геометрические параметры объекта: высота пружины, внешний и внутренний диаметры, диаметр прутка, отклонение от перпендикулярности (рис. 2, а). Для определения параметров пружин используются пять камер (см. рис. 2, б). Три камеры для измерения высоты пружины, которые расположены на разных высотах, обеспечивают измерение широкого диапазона высот – от 233 до 294 мм. Одна камера служит для измерения наружного диаметра, еще одна – для определения диаметра прутка. Эти камеры используются для контроля отклонения от перпендикулярности оси пружины. По измеренным параметрам система может определять тип пружины и ее состояние: годен или брак.

Комплекс позволяет проводить контроль геометрических параметров пружин в нескольких режимах: контроль пружин, при котором измеряются все пружины подряд; контроль комплектов, при котором измеряется набор пружин в соответствии с выбранным типом тележки, после чего из проконтролированных пружин подбирается комплект, а также непрерывный контроль комплектов, при котором пружины измеряются последовательно, после контроля всех пружин будут сформированы комплекты (рис. 3). В случае



Рис. 2. Внешний вид (а) и устройство (б) автоматизированной системы измерения геометрических параметров пружин рессорного подвешивания

невозможности подбора комплекта из проконтролированных пружин система предложит поменять некоторые из них.

Результаты исследования

Согласно статистическим данным за три года, более 21 тыс. грузовых вагонов были отцеплены по неисправностям деталей и узлов тележек. В эксплуатации тележки подвержены нагрузкам, которые носят случайный характер и зависят от скорости движения, состояния железнодорожного пути и полезной нагрузки, вследствие чего возникают износы трущихся элементов и дефекты усталостного происхождения. Из общего количества неисправностей деталей тележки 60,7 % приходится на изломы пружин рессорного подвешивания (код дефекта 214, рис. 4, а), при этом в 2025 г. наблюдается увеличение количества

отцепок более чем в два раза по сравнению с 2023 и 2024 гг.

Рессорное подвешивание обеспечивает уменьшение динамических нагрузок на элементы вагона, плавность хода, а также интенсивности нарастания износов во всех узлах и деталях вагонов, на количество которых оказывает влияние формирование комплекта рессорного подвешивания. За рассматриваемый период в текущий отцепочный ремонт поступило 12,9 тыс. вагонов с неисправностью по коду 214 (излом пружин). Распределение количества отцепленных вагонов по излому пружин представлено на рис. 4, б. Среднее значение пробега грузового вагона до отцепки составляет 61,6 тыс. км.

В соответствии с требованиями ГОСТ 1452 циклическая долговечность пружин рессорного подвешивания должна обеспечивать

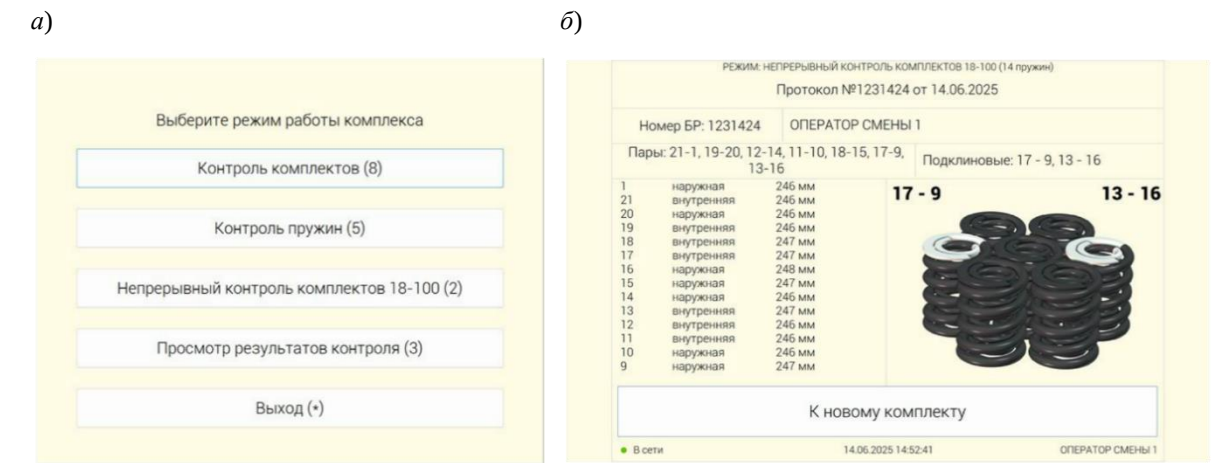


Рис. 3. Внешний вид программного обеспечения:
а – интерфейс выбора режима работы; б – интерфейс результата формирования комплекта

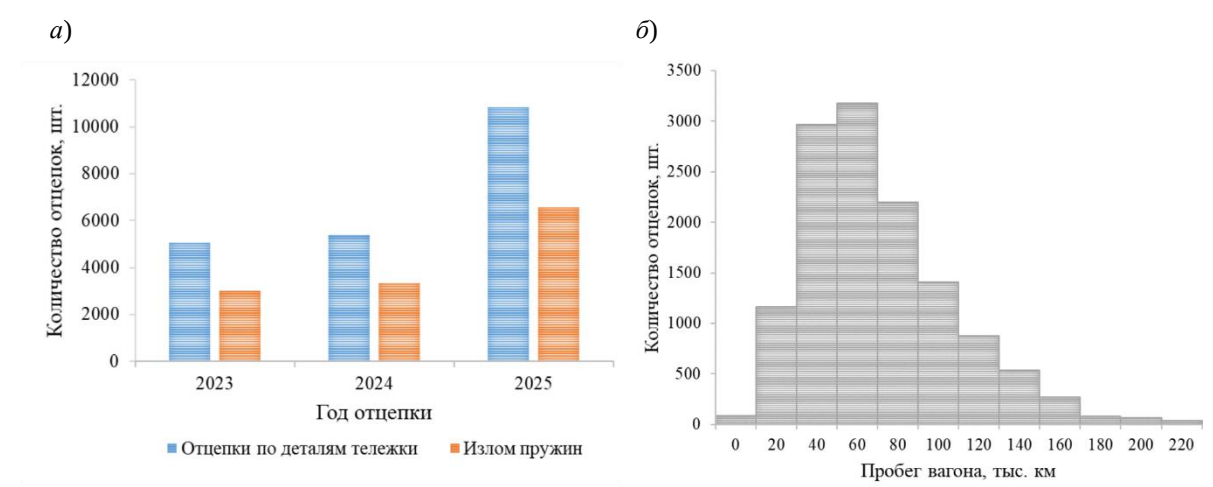


Рис. 4. Количество отцепленных вагонов по излому пружин (а) и распределение отцепленных вагонов по излому пружин в зависимости от пробега вагона (б)

срок их эксплуатации не менее 16 лет, однако у 96 % вагонов, поступивших в отцепочный ремонт, срок эксплуатации пружин не достигает даже следующего деповского ремонта, который производится спустя 160 тыс. км после проведения предыдущего вида ремонта.

Согласно накопленной статистике результатов измерений пружин за один календарный год в вагонных ремонтных депо проконтролировано более 500 тыс. пружин рессорного подвешивания, среднее количество забракованных составляет 12 %, из общего количества забракованных пружин 66,6 % приходится на несоответствия пружин по высоте, 24 % – на отклонения от перпендикулярности

оси пружины, 9,4 % – на прочие причины (рис. 5).

За рассматриваемый период сформировано 26 тыс. комплектов пружин рессорного подвешивания, среднее время контроля одной пружины не превышает 5 с, среднее время формирования комплекта при необходимости замены пружин – 4 мин (рис. 6), среднее время сборки одного комплекта без необходимости замены пружин – 3 мин.

Комплект рессорного подвешивания состоит из 14 пружин – семи внутренних и семи наружных. 7,7 тыс. комплектов сформировано без дополнительного измерения пружин, в 67 % формирования потребовалось измерение

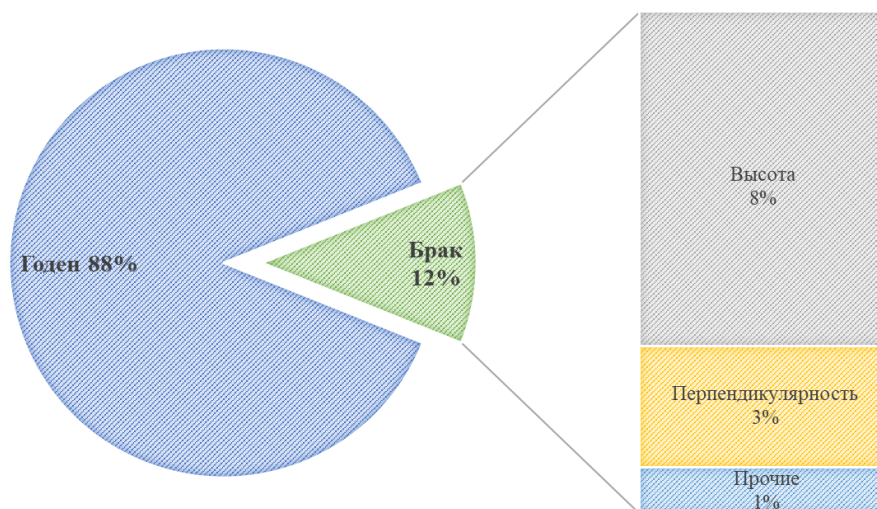


Рис. 5. Распределение результатов контроля пружин

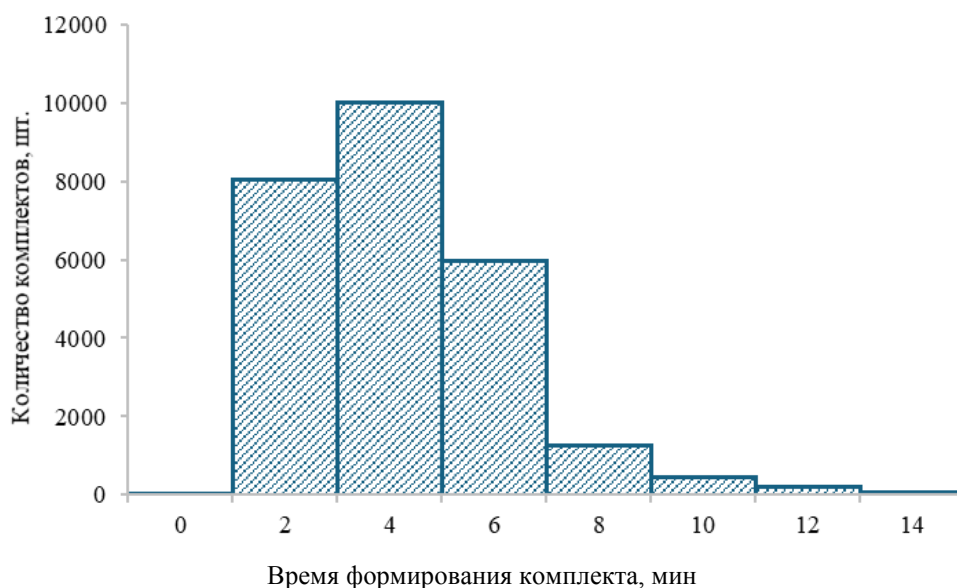


Рис. 6. Распределение времени формирования комплектов

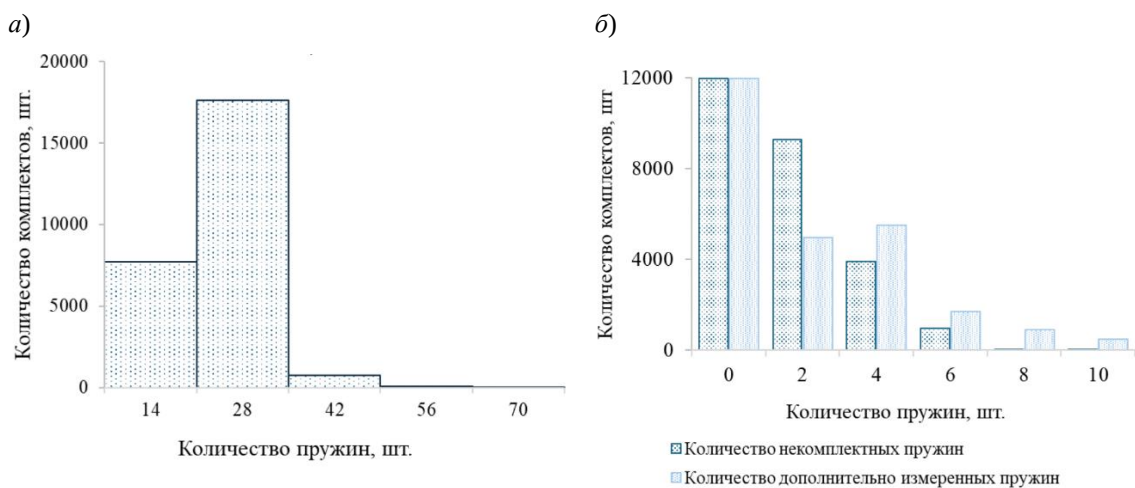


Рис. 7. Распределение измеренных для формирования одного комплекта пружин (а) и дополнительно измеренных пружин для формирования одного комплекта (б)

от 14 до 28 пружин для формирования одного комплекта (рис. 7, а). В 35 % случаев потребовалось измерение и замена двух пружин, однако всего в половине случаев удалось сформировать комплекты после измерения двух дополнительных пружин, в оставшихся случаях потребовалась от трех до четырех дополнительных измерений (см. рис. 7, б).

Выводы

Внедрение автоматизированной системы измерения геометрических параметров пружин рессорного подвешивания позволило уменьшить влияние человеческого фактора и сократить время контроля, а также осуществлять автоматизированный подбор комплектов в соответствии с нормативной документа-

цией. Создание базы данных с результатами контроля в дальнейшем предоставит возможность встроить комплекс в концепцию цифровизации технологических процессов на вагоноремонтных предприятиях.

При входном контроле бракуется 12 % всех пружин, в среднем одна пружина на комплект, в том числе по недопустимой высоте 66,6 %, по отклонению от перпендикулярности 24 %.

В среднем в одном комплекте требуется замена двух пружин. 45 % комплектов не требует ни одной замены пружины. При этом среднее время формирования одного комплекта составляет 4 мин, среднее время формирования одного комплекта без необходимости замены пружин – 3 мин.

Список источников

1. Сирина Н. Ф., Колодин А. Е. Функциональная архитектура цифровой модели технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов // Транспорт Урала. 2023. № 1 (76). С. 14–19. DOI 10.20291/1815-9400-2023-1-14-19.
2. Шинкарук А. С., Беспалько С. В. Оптимизация системы технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов // Транспортное машиностроение. 2024. № 11 (35). С. 64–70. DOI 10.30987/2782-5957-2024-11-64-70.
3. Смольянинов А. В., Кармацкий В. Ф., Волков Д. В. Анализ организационно-структурных преобразований вагоноремонтных предприятий // Инновационный транспорт. 2022. № 4 (46). С. 37–43. DOI 10.20291/2311-164X-2022-4-37-43. EDN WOUZEO.
4. Смольянинов А. В., Кармацкий В. Ф., Волков Д. В. Реформирование вагонного комплекса: итоги, проблемы, перспективы // Инновационный транспорт. 2021. № 4 (42). С. 57–61.
5. Смольянинов А. В., Кармацкий В. Ф., Соломенников А. А. Анализ текущего состояния, проблемы и перспективы вагоноремонтного производства в Уральском федеральном округе // Инновационный транспорт. 2020. № 4 (38). С. 37–43.

6. Черепов О. В., Лапшин В. Ф., Звягина М. А. Анализ отцепок вагонов для перевозки минеральных удобрений с осевой нагрузкой 25 тс в текущий ремонт // *Транспорт Урала*. 2024. № 1 (80). С. 18–23. DOI 10.20291/1815-9400-2024-1-18-23. EDN GYQVMD.
7. Рожкова Е. А. Оценка и прогнозирование технического состояния грузового вагона // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2021. № 5 (102). С. 40–47. DOI 10.30987/1999-8775-2021-5-40-47. EDN KDWYTC.
8. Шмойлов А. Н. Совершенствование технического обслуживания вагонов с применением автоматизированных систем теплового контроля букс // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022. № 2. С. 617–620. DOI 10.24412/2071-6168-2022-2-617-621. EDN SBIVAJ.
9. Наговицын В. С., Буйносов А. П., Динисламов А. Р. Выбор и обоснование применения винтовых рессор для железнодорожного подвижного состава // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2019. № 2. С. 38–41. EDN YXGCAH.
10. Fatigue Crack Propagation of 51CrV4 Steels for Leaf Spring Suspensions of Railway Freight Wagons / Vítor M. G. Gomes, Grzegorz Lesiuk, José Correia, Abili Jesus // *Materials*. 2024. Vol. 17. P. 1831. DOI 10.3390/ma17081831.
11. Tursunov N., Absattarov S., Abdulazizovna M. D. Enhancing the mechanical and functional characteristics of structural spring steel through the advancement of heat treatment technologies // *Vibroengineering Procedia*. 2025. Vol. 58. P. 327–332. <https://doi.org/10.21595/vp.2025.24992>.
12. Absattarov S., Yunusov S., Tursunov N. Research of the stress-strain state and durability of freight wagon trolley springs by the method of finite element modeling in ANSYS // *Vibroengineering Procedia*. 2025. Vol. 60. P. 664–669. DOI 10.21595/vp.2025.25532.
13. Kuleshov A., Morozov D., Pykhalov A. Analysis of impact of static and dynamic loads on the structural elements of the rolling stock // *Spravochnik : Inzhenernyi zhurnal*. 2024. Vol. 4. P. 43–50. DOI 10.14489/hb.2024.04.
14. Балалаев А. Н., Жебанов А. В. Выявление на виртуальном испытательном стенде пружин рессорного подвешивания с недопустимыми в эксплуатации параметрами // *Транспорт Урала*. 2025. № 2 (85). С. 2936. DOI 10.20291/1815-9400-2025-2-29-36. EDN FMUGKL.
15. Бороненко Ю. П., Меркушев С. В. Причины излома пружин тележек типа 18-100 в эксплуатации // *Транспорт Российской Федерации*. 2021. № 4 (95). С. 41–43. EDN BLUTGQ.

References

1. Sirina N. F., Kolodin A. E. Functional architecture of digital model of maintenance and repair of freight cars. *Transport of the Urals*. 2023;(76):14–19. (In Russ.). DOI 10.20291/1815-9400-2023-1-14-19.
2. Shinkaruk A. S., Bepalko S. V. Optimization of maintenance and repair system of passenger cars. *Transport Engineering*. 2024;(35):64–70. (In Russ.). DOI 10.30987/2782-5957-2024-11-64-70.
3. Smolyaninov A. V., Karmatsky V. F., Volkov D. V. Analysis of organizational and structural transformations of railway car repair enterprises. *Innotrans*. 2022;(46):37–43. (In Russ.). DOI 10.20291/2311-164X-2022-4-37-43. EDN WOUEZO.
4. Smolyaninov A. V., Karmatsky V. F., Volkov D. V. Reforming the wagon complex: results, problems, prospects. *Innotrans*. 2021;(42):57–61. (In Russ.).
5. Smolyaninov A. V., Karmatsky V. F., Solomennikov A. A. Analysis of the current state, problems and prospects of car repair production in the Ural Federal District. *Innotrans*. 2020;(38):37–43. (In Russ.).
6. Cherepov O. V., Lapshin V. F., Zvyagina M. A. Analysis of uncoupling cars for the transportation of mineral fertilizers with an axle load of 25 ton-force for current repairs. *Transport of the Urals*. 2024;(80):18–23. (In Russ.). DOI 10.20291/1815-9400-2024-1-18-23. EDN GYQVMD.
7. Rozhkova E. A. Assessment and forecasting of freight car technical state. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2021;(102):40–47. (In Russ.). DOI 10.30987/1999-8775-2021-5-40-47. EDN KDWYTC.
8. Shmoilov A. N. Improving the maintenance of wagons with the use of automated thermal control systems buks. *Izvestiya Tula State University*. 2022;(2):617–620. DOI 10.24412/2071-6168-2022-2-617-621. EDN SBIVAJ.
9. Nagovitsyn V. S., Buinosov A. P., Dinislamov A. R. Selection and justification of the use of helical springs for railway rolling stock. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2019;(2):38–41. (In Russ.). EDN YXGCAH.
10. Gomes Vítor M. G., Lesiuk Grzegorz, Correia José, Jesus Abili. Fatigue Crack Propagation of 51CrV4 Steels for Leaf Spring Suspensions of Railway Freight Wagons. *Materials*. 2024;17:1831. DOI 10.3390/ma17081831.
11. Tursunov N., Absattarov S., Abdulazizovna M. D. Enhancing the mechanical and functional characteristics of structural spring steel through the advancement of heat treatment technologies. *Vibroengineering Procedia*. 2025;58:327–332. <https://doi.org/10.21595/vp.2025.24992>.

12. Absattarov S., Yunusov S., Tursunov N. Research of the stress-strain state and durability of freight wagon trolley springs by the method of finite element modeling in ANSYS. *Vibroengineering Procedia*. 2025;60:664–669. DOI 10.21595/vp.2025.25532.

13. Kuleshov A., Morozov D., Pykhalov A. Analysis of impact of static and dynamic loads on the structural elements of the rolling stock. *Spravochnik. Inzhenernyi Zhurnal*. 2024;4:43–50. DOI 10.14489/hb.2024.04.

14. Balalaev A. N., Zhebanov A. V. Identification of spring suspension springs with parameters unacceptable for operation on a virtual test bench. *Transport of the Urals*. 2025;(85):29–36. (In Russ.). DOI 10.20291/1815-9400-2025-2-29-36. EDN FMUGKL.

15. Boronenko Iu. P., Merkushev S. V. Causes of fracture of 18-100 type bogie springs in operation. *Transport of the Russian Federation*. 2021;(95):41–43. (In Russ.). EDN BLUTGQ.

Информация об авторах

Д. И. Школина – кандидат технических наук, руководитель НИГ «Лаборатория неразрушающего контроля и технической диагностики» НИЛ «Физические методы контроля качества» Сибирского государственного университета путей сообщения.

С. А. Бехер – доктор технических наук, заведующий НИЛ «Физические методы контроля качества» Сибирского государственного университета путей сообщения.

А. А. Попков – кандидат технических наук, руководитель НИГ «Интеллектуальные методы и средства управления техническими системами» НИЛ «Физические методы контроля качества» Сибирского государственного университета путей сообщения.

В. С. Выплавень – кандидат технических наук, научный сотрудник НИЛ «Физические методы контроля качества» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

D. I. Shkolina – Candidate of Engineering, Head of the Research Group, Physical Methods of Quality Control Research Laboratory, Siberian State University.

S. A. Bekher – Doctor of Engineering, Head of the Physical Methods of Quality Control Research Laboratory, Siberian State University.

A. A. Popkov – Candidate of Engineering, Head of the Research Group, Physical Methods of Quality Control Research Laboratory, Siberian State University.

V. S. Vyplavenny – Candidate of Engineering, Research Associate of the Physical Methods of Quality Control Research Laboratory, Siberian State University.

Статья поступила в редакцию 05.05.2026; одобрена после рецензирования 29.06.2026; принята к публикации 30.06.2026.

The article was submitted 05.05.2026; approved after reviewing 29.06.2026; accepted for publication 30.06.2026.