

Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.463

doi: 10.30987/2782-5957-2026-6-42-50

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ РЕМОНТА ТЕЛЕЖКИ МОДЕЛИ 18-9855 НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Елена Александровна Круглова✉

Забайкальский институт железнодорожного транспорта (филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, Чита, Россия
helenuys@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1088-8181>

Аннотация

Увеличение конкурентной способности железнодорожного транспорта требует повышение провозной способности железных дорог России и уменьшение расходов на перевозку грузов. В свою очередь, провозная способность перевозки железных дорог России и расходы на перевозку зависят от грузоподъемности подвижного состава. Чтобы значительно увеличить грузоподъемность подвижного состава необходимо увеличить нагрузки ось, увеличить объем вагона для размещения дополнительного груза, снизить вес подвижного состава. Ещё одной проблемой является силы, влияющие на боковые рамы тележек во движения состава. Завышение расчетных усилий приводит к увеличению нагрузок на тележки, а уменьшение усилий ведет к угрозе безопасности. Поэтому для создания новых вагонов встает задача создания научно-технического обеспечения и проектирования нового подвижного состава.

Целью данной работы является определение оптимизационной структуры ремонта и технического обслуживания инновационных вагонов на основе оценки показателей надежности. В данной работе были решены следующие задачи: рассмотрен опыт эксплуатации инновационных грузовых вагонов с нагрузками на ось 25 и 27 тс, определены интенсивности износов основных элементов тележек моделей 18- 9810 и 18-9855; выполнена оценка интенсивности износов гребней колесных пар у грузовых вагонов моделей 12-9853; рассчитана оптимальная структура ремонта тележек моделей 18-9810 и 18-9855; определен оптимальный срок службы вагона с учетом его морального старения.

Ключевые слова: грузовая тележка, износ, деталь, пробег, подвижной состав, узел трения, модель, колесная пара.

Ссылка для цитирования:

Круглова Е.А. Оптимизация структуры ремонта тележки модели 18-9855 на основе оценки показателей надежности и прогнозирования величины износа в узлах трения / Е.А. Круглова // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 6. – С. 42-50. doi: 10.30987/2782-5957-2026-6-42-50.

Original article

Open Access Article

OPTIMIZING THE REPAIR STRUCTURE OF BOGIE 18-9855 BASED ON THE EVALUATION OF INDICATORS OF RELIABILITY AND FORECAST OF WEAR VALUE IN FRICTION UNITS

Elena Aleksandrovna Kruglova✉

Zabaikalsk Railway Transport Institute (branch of Irkutsk State Transport University), Chita, Russia
helenuys@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1088-8181>

Abstract

Increasing the competitive ability of rail transport requires increasing the carrying capacity of Russian railways and reducing freight transportation costs. In its turn, the transportation capacity of Russian railways and transportation costs depend on the carrying capacity of the rolling stock. In order to increase the carrying capacity of the rolling stock significantly, it is necessary to increase the axle loads, enlarge carriage capacity to accommodate additional cargo, and reduce the weight of the rolling stock. Another problem is the forces affecting the side frames of bogies during the train movement. Overestimating the calculated effort leads to an increase in the loads on bogies, and reducing the effort leads to a threat to safety. Therefore, in order to make new carriages, the task is to create scientific and technical support and design new rolling stock.

Reference for citing:

Kruglova E.A. *Optimizing the repair structure of bogie 18-9855 based on the evaluation of indicators of reliability and forecast of wear value in friction units. Transport Engineering. 2026;6:42-50. doi: 10.30987/2782-5957-2026-6-42-50.*

Введение

Основными критериями инновационности грузовых вагонов считается: большая нагрузка на ось от 23,5 тс и выше, пробег от изготовления до первого планового ремонта не менее 500 тысяч километров, межремонтный пробег не менее 250 тысяч километров, конструкционная скорость не менее 90 км/ч.

В настоящее время освоено производство инновационных полувагонов практически всеми вагоностроительными предприятиями Российской Федерации. В частности, инновационными являются полувагоны моделей 12-196-01 и 12-197-02 производства «Уралвагонзавод», а также моделей 12-1304 и 12-2123 производства «Промтрактор-вагон» с нагрузками на ось 25 тс.

Анализируя эффективность эксплуатации парка грузовых вагонов, можно выделить, что за последние десять лет статическая нагрузка возросла в среднем на 10% и в настоящее время составляет 61,9 тонн. При этом максимальное использование грузоподъемности полувагона достигается при перевозке железной и марганцевой руд, в этом случае коэффициент использования грузоподъемности составляет 98,5%.

В структуре инвентарного парка по наличию инновационных вагонов можно выделить три крупные компании-оператора: УВЗ-Логистик (предпочтение

The study objective of this paper is to determine the optimized structure of repair and maintenance of innovative carriages based on an assessment of reliability indicators. In this paper, the following tasks are solved: the experience of operating innovative freight carriages with axle loads of 25 and 27 tons is considered, the wear rates of the main elements of bogies 18-9810 and 18-9855 are determined; the wear rate of wheelset crowns of freight carriages 12-9853 is estimated; the optimal repair structure of bogies 18-9810 and 18-9855 is calculated; the optimal service life of the carriage is determined, taking into account its obsolescence.

Keywords: freight bogie, wear, part, run, rolling stock, friction unit, model, wheelset.

отдано полувагонам 12-196-01), СУЭК и Восток 1520 (предпочтение отдано полувагонам модели 12-9853).

Грузовая инновационная тележка модели 18-9855 обладает улучшенными техническими и эксплуатационными показателями. Повышенные показатели надежности тележки модели 18-9855 подтверждаются результатами эксплуатации.

В данной работе решалась задача определения ресурсных показателей инновационной тележки модели 18-9855. В качестве основы для расчетов прогнозирования узлов и деталей подвижного состава использовались данные инструментальных замеров тележек модели 18-9855 на полувагонах 12-9853 в период поднадзорной эксплуатации. Критериями целевой функции для останковки расчета по прогнозированию износа в основных узлах трения тележки использовались данные по максимальным состояниям узлов тележки, определенных конструкторской документацией.

Известно, что интенсивность износов фрикционных узлов подвижного состава и механизмов определяется линейным законом. На основе данной гипотезы были промоделированы основные уравнения тенденции износов, основных узлов тележек модели 18-9855. За основу математической модели принят метод наименьших

квадратов.

Алгоритм расчета строился следующим образом, вначале на основе данных поднадзорной эксплуатации определялось уравнение, описывающее интенсивность

износа рассматриваемого элемента тележки. Далее на основе полученного уравнения определялся ресурс элемента до максимального износа.

Прогнозирование максимального износа узлов и деталей инновационных тележек

Определение наработки вагона до максимального износа подпятника по диаметру. Максимальный результат износа подпятника наддрессорной балки показывает 9 мм (рис.1).

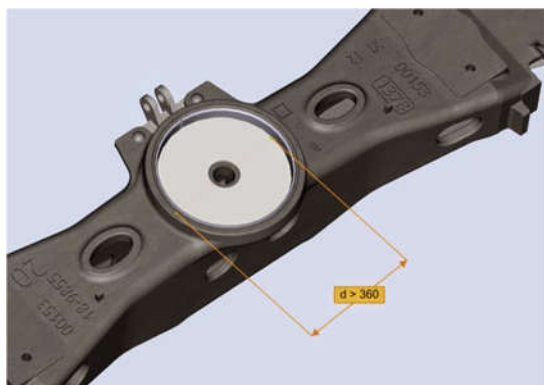


Рис.1. Износ подпятника наддрессорной балки
Fig. 1. Wear of thrust bearing of bolster

Табл. 1 включает значения коэффициентов линейной зависимости, вычисленные посредством метода наименьших квадратов (износ подпятника).

Линейная функция, рассчитывающая величину износа, имеет вид

$$y = 0,082x + 0,085. \quad (1)$$

На основании полученных результатов наблюдений составлен график, представленный на рис. 2. Анализ данного графика показывает, что приведенное уравнение соответствует экспериментальным данным на 91,6 %.

На рис. 3 изображен график зависимости пробега подвижного состава от степени износа подпятника наддрессорной балки до достижения предельного состояния.

Таблица 1

Таблица для вычисления коэффициентов линейной зависимости (износ подпятника)

Table 1

Table for calculation of linear dependence coefficients (axial bearing wear)

k	x	x^2	y	xy	\hat{y}
1	0	0	0	0	0.09
2	65	4225	0.6	39	0.62
3	145	21025	1.6	232	1.28
4	210	44100	1.6	336	1.81
Σ	420	69350	3.8	607	3.54

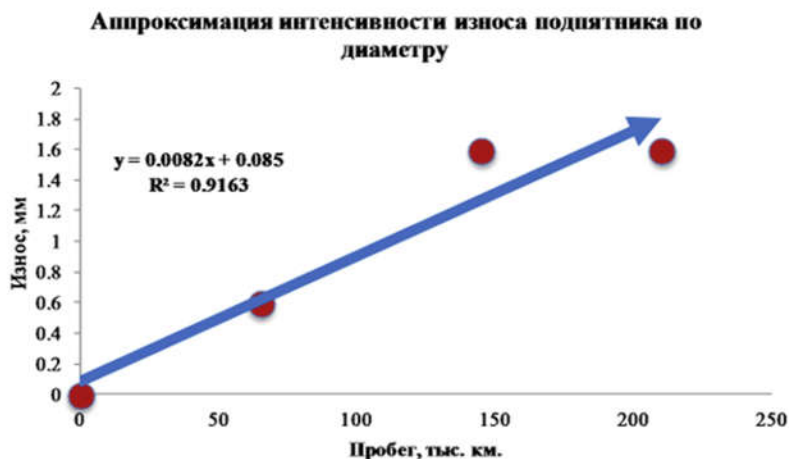


Рис. 2. График аппроксимации интенсивности износа подпятника по диаметру
Fig. 2. Curve of approximation of axial bearing wear intensity by diameter



Рис. 3. График прогнозирования износа подпятника по диаметру до предельного состояния
Fig. 3. Forecast plot of axial bearing wear by diameter to limit state

Таким образом, максимальный износ подпятника достигнет при наработке подвижного состава 1050 тысяч километров.

Определение наработки вагона до максимального износа отверстия под шкворень. Максимальная величина износа отверстия под шкворень надрессорной балки, согласно проведенным замерам, достигает 3,5 мм, что наглядно представлено на рис. 4.

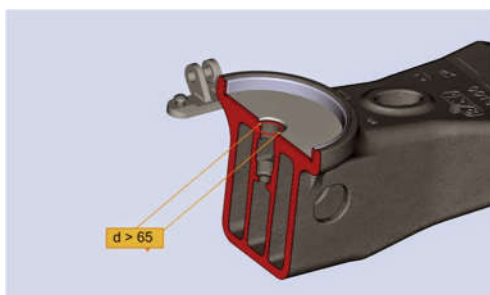


Рис. 4. Износ отверстия под шкворень
Fig. 4. Pin hole wear

В табл. 2 приведены результаты расчетов коэффициентов линейной функции, выполненных методом наименьших квадратов, которые позволяют оценить степень износа отверстия под шкворень.

Функция линейного типа, отражающая степень износа, выглядит следующим образом:

$$y = 0,0054x + 0,0697. \quad (2)$$

На рис. 5 представлен график линейной зависимости вместе с фактическими показателями контролируемой эксплуатации. Анализ графика показывает, что рассматриваемое уравнение объясняет опытные данные с точностью 90,6 %.

На рис. 6 представлен график зависимости пробега подвижного состава от степени износа отверстия под шкворень вплоть до достижения предельного значения.

Таблица 2

Таблица для вычисления коэффициентов линейной зависимости
 (износ отверстия под шкворень)

Table 2

Reference table for calculating linear dependence coefficients by the least squares method
 (wear of bushing hole)

k	x	x ²	y	xy	\hat{y}
1	0	0	0	0	-0.07
2	65	4225	0.1	6.5	0.28
3	145	21025	0.9	130.5	0.72
4	210	44100	1	210	1.07
Σ	420	69350	2	347	2.21

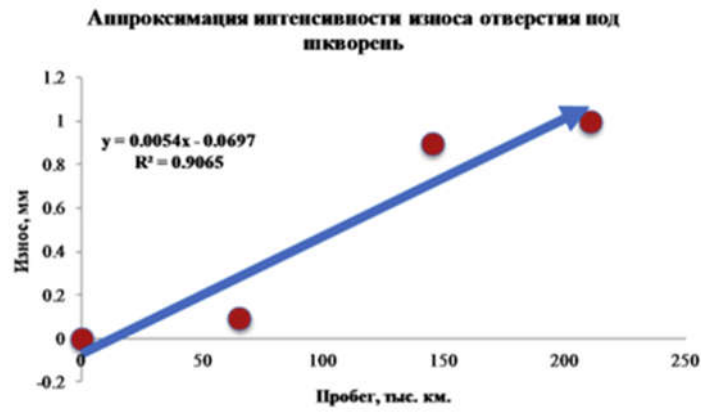


Рис. 5. График аппроксимации интенсивности износа отверстия под шкворень

Fig. 5. Curve of approximation of caliper hole wear intensity

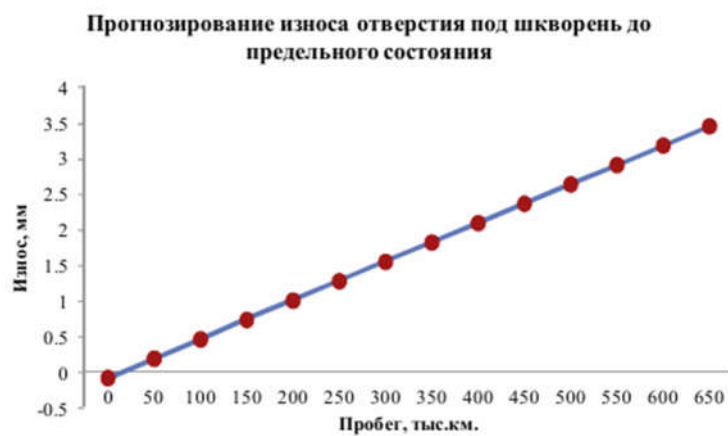


Рис. 6. График прогнозирования износа отверстия под шкворень до предельного состояния

Fig. 6. Chart for predicting wear of the bushing hole up to a limit condition

Из графика можно сделать вывод, что наибольший износ отверстия под шкворень произойдет при наработке подвижного состава около 650 тысяч километров.

Аналогично был определен максимальный износ в узлах и деталях инновационных тележек. Были получены следующие параметры (рис.7).



Рис. 7. Параметры пробегов вагонов до предельных износов элементов тележки 18-9855

Fig. 7. Parameters of car runs to limit wear of trolley elements 18-9855

Максимальный износ:

– на опорной поверхности колпака скользуна достигнет при наработке подвижного состава 950 тысяч километров [1].

– на опорных упорах буксовых проемов боковых рам в продольном направлении достигнет при наработке подвижного состава 350 тысяч километров [1].

– у фрикционного клина достигнет при наработке подвижного состава 450 тысяч километров.

– у планок клинового кармана достигнет при наработке вагона 750 ты-

сяч километров.

– на рабочей поверхности вставки клинового кармана достигнет при наработке вагона 400 тысяч километров.

– на вертикальных поверхностях адаптера достигнет при наработке подвижного состава 1500 тысяч километров.

– на опорной поверхности адаптера достигнет при наработке подвижного состава 1250 тысяч километров.

Расчеты показывают, что элементы грузовой тележки обладают различной степенью выработки ресурса до достижения предельного износа.

Статистическое моделирование наработки колесных пар инновационных полувагонов до первой обточка

Для математической модели ресурса колеса типа РВ2-Ш до первой обточка возьмем сетевую статистику (табл. 3).

Для построения статистической модели примем предположение, согласно которому ресурс работы колеса до первой обточка подчиняется нормальному рас-

пределению (распределение Гаусса) [2]. Последовательность обработки опытных данных представлена в табл. 4, характеристики статистического распределения приведены в табл. 5, графическое отображение закона распределения показано на рис. 8.

Таблица 3

Статистическое распределение наработки колес РВ2-Ш до первой обточка

Table 3

Statistical distribution of RV2-Sh wheels operating time before the first turning

Нарботка, тыс.км	Интервалы					
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600
Частота	20	40	27	9	3	1

Таблица 4

Выравнивание наработок колес РВ2-Ш до первой обточка по нормальному закону распределения

Table 4

Leveling of RV2-Sh wheels operating time to the first turning by normal distribution law

Середина интервала	Частота	Относительная частота	Выборочное среднее	Значение аргумента	Значение функции	Теоретическая частота	Значение χ^2
X	n	W	XW	$t = \frac{(x - \bar{x})}{\sigma}$	$\varphi(t)$	n'	$\chi^2 = \frac{(n_i - n'_i)}{n'_i}$
150	20	0.20	30	-1.31	0.1619	16.01	0.99
250	40	0.40	100	-0.36	0.3739	35.4	0.60
350	27	0.27	94.5	0.59	0.3352	31.74	0.71
450	9	0.09	40.5	1.53	0.1238	11.72	0.63
550	3	0.03	16.5	2.48	0.0148	1.40	1.82
650	1	0.01	6.5	3.43	0.0034	0.32	1.43
Σ	100	1.00	288				6.18

Согласованность по критерию Пирсона

$\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{кр}}(\alpha; k) = 6,18 < 7,8(0,05; 5)$ – условие выполняется



Рис. 8. График распределения наработки инновационных колесных пар до первой обточки
 Fig. 8. Chart of distribution of running hours for innovative wheelsets before the first reprofiling

Таблица 5

Основные характеристики нормального распределения наработки колес РВ2-Ш до первой обточки

Table 5

Main characteristics of normal distribution of RV2-Sh wheels operating time before the first turning

Основные параметры распределения	Расчетная формула, обозначение параметра	Значение параметра
Плотность вероятности	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$	—
Параметры распределения	$\begin{cases} \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \\ \sigma = \sqrt{D(x)} \end{cases}$	$\begin{cases} \bar{x} = 288 \\ \sigma = 105.62 \end{cases}$

Из приведенных результатов статистического моделирования следует вывод, что ресурс работы колес типа РВ2-Ш до проведения первой обточки соответствует

нормальному распределению вероятностей. Среднее значение ресурса до первой обточки составляет 288 тыс. км [2].

Оптимизация структуры ремонта тележки модели 18-9855

На основе проведенных расчетных данных составляем оптимальную структуру ремонта грузовой тележки (замены и восстановления элементов).

Под оптимальной структурой будем понимать структуру ремонта по техниче-

скому состоянию, то есть по достижению наработки элементов до максимального износа.

Оптимальная структура ремонта грузовых тележек модели 18-9855 показана в табл. 6.

Выводы

В результате расчетов определены уравнения интенсивности износов и ресурсы следующих элементов тележки модели 18-9855: подпятника, отверстия под шкво-

рень, опорной поверхности колпака скользуна, опорных упоров буксовых проемов, фрикционных клиньев, износостойких планок клинового кармана, рабочих по-

верхностей вставок и упора клинового кармана, вертикальных и опорных поверхностей адаптера.

Наименьший пробег до максимального износа от 350 до 450 тысяч километров имеют узлы и детали: фрикционные клинья, вкладыш клинового кармана, упорные планки буксовых проемов [3, 4]. В свою очередь наибольший пробег до максимального износа имеют узлы и детали: адаптер и подпятник надрессорной балки, который варьируется от 1 до 1,5 млн. км.

Выполнено статистическое моделирование наработки колесной пары до максимального износа гребня колеса по сетевым данным отцепок инновационных вагонов. Нарботка колесных пар до максимального износа гребня колеса хорошо согласуется с нормальным распределением. Математическое ожидание наработки равно 288 тысяч километров

На основе полученных ресурсных показателей узлов тележки модели 18-9855 обоснована оптимальная структура ремонта.

Таблица 6

Оптимальная структура ремонта грузовых тележек модели 18-9855

Table 6

Optimal repair structure of freight trolleys model 18-9855

Параметр	Нарботка детали на отказ, тыс. км	Нарботка вагона, тыс. км							
		250	350	450	650	750	900	1000	1250
Текущий ремонт колесной пары с обточкой поверхности катания	288	+	-	+	-	+	-	+	+
Восстановление опорных упоров буксовых проёмов боковых рам в продольном направлении	350	-	+	-	+	-	+	-	+
Замена рабочей поверхности вставки клинового кармана	400	-	-	+	-	+	-	-	+
Замена фрикционного клина	450	-	-	+	-	-	+	-	-
Восстановление отверстия под шкворень	650	-	-	-	+	-	-	-	+
Замена износостойких планок клинового кармана	750	-	-	-	-	+	-	-	-
Восстановление наружного упора клинового кармана	800	-	-	-	-	+	-	-	-
Замена колпака скользуна	900	-	-	-	-	-	+	-	-
Восстановление подпятника	1050	-	-	-	-	-	-	+	-
Замена адаптера	1250	-	-	-	-	-	-	-	+

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Иванова Т. В., Белов А. Ю., Налабордин Д. Г. Прогнозирование износов в элементах трения тележки модели 18-9855 // Вагоны и вагонное хозяйство. 2019. № 4. С. 34-35.
- Налабордин, Д. Г., Иванова Т. В. Прогнозирование износов в элементах тележки. Образование - наука - производство // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 07-08 декабря 2018 года. Том 1. 2018. С. 20-26.
- Ковригина И. В. Определение межремонтного ресурса грузового вагона // Наука и образование транспорту. 2017. № 1. С. 45-48.
- Иванова Т. В., Налабордин Д. Г., Рудаков В. А., Белов А. Ю. Обоснование межремонтного ресурса и параметров безопасности буксовых узлов грузовых вагонов с роликовыми подшипниками. Образование - наука - производство // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Чита, 20 декабря 2019 года. Том 1. 2019. С. 21-30.
- Рожкова Е. А. Оценка и прогнозирование технического состояния грузового вагона // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. № 5(102). С. 40-47.
- Рожкова Е. А., Ковригина И. В. Разработка технологической оснастки для смены элементов рессорного комплекта тележек грузовых вагонов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 3(71). С. 158-164.
- Рожкова Е. А., Ковригина И. В., Налабордин Д. Г. Разработка и моделирование автоматизированной линии ремонта колесных пар. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 3(71). С. 158-164.

менные технологии // Системный анализ. Моделирование. 2020. № 3(67). С. 32-40.

8. Иванова Т. В., Налабордин Д. Г. Оценка предотказных состояния буксового узла грузового вагона // Вагоны и вагонное хозяйство. 2017. № 1(49). С. 46-47.
9. Кривова Е. Ю., Рожкова Е. А. Автоматизированная линия ремонта боковой рамы тележки. Образование - наука – производство // Материалы VI Всероссийской научно-практической

конференции (с международным участием). В 2-х томах, Чита, 18 ноября 2022 года. Том 1. 2022. С. 35-41.

10. Астафьева А. Н., Рожкова Е. А. Автоматизация технологического процесса ремонта колесной пары. Образование - наука – производство // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Чита, 07 октября 2021 года. Том 1. 2021. С. 8-16.

REFERENCES

1. Ivanova TV, Belov AYu, Nalabordin DG. Forecasting of wear in the friction elements of bogie model 18-9855. Vagoni and Vagonnoe Khozyastvo. 2019;4:34-35.
2. Nalabordin DG, Ivanova TV. Forecasting of wear in bogie elements. Proceeding of the All-Russian Scientific and Practical Conference, December 07-08, 2018: Education - Science - Production. Chita; 2018.
3. Kovrigina IV. Determination of the inter-repair life of a freight car. Science and Education of Transport. 2017;1:45-48.
4. Ivanova TV, Nalabordin DG, Rudakov VA, Belov AYu. Justification of inter-repair life and safety parameters of axle boxes of freight cars with roller bearings. Proceeding of the III All-Russian Scientific and Practical Conference, December 20, 2019: Education - Science - Production. Chita; 2019;1:21-30.
5. Kruglova EA. Assessment and forecasting of freight car technical state. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2021;5(102):40-47.

6. Rozhkova EA, Kovrigina IV. Development of technological equipment for changing elements of the spring set of trucks of freight wagons. Modern Technologies. System Analysis. Modeling. 2021;3(71):158-164.
7. Rozhkova E. A., Kovrigina I. V., Nalabordin D. G. Development and modeling of an automated wheelset repair line. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2020. No. 3(67). pp. 32-40.
8. Ivanova TV, Nalabordin DG. Assessment of the pre-service condition of the axle box of a freight car. Vagoni and Vagonnoe Khozyastvo. 2017;1(49):46-47.
9. Krivova EYu, Rozhkova EA. Automated repair line for the side frame of the bogie. Proceeding of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference, November 18, 2022: Education - Science - Production. Chita; 2022;1:35-41.
10. Astafieva AN, Rozhkova EA. Automation of the technological process of wheelset repair. Proceeding of the V All-Russian Scientific and Practical Conference, October 07, 2021: Education - Science - Production. Chita; 2021;1:8-16.

Информация об авторе:

Круглова Елена Александровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог»; тел.: 89243846617, Author-ID-РИНЦ 701490. SPIN-код: 6745-6802.

Kruglova Elena Aleksandrovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Railway Rolling; phone: 89243846617; Author-ID-RSCI 701490. SPIN code: 6745-6802.

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

Статья поступила в редакцию 20.01.2026; одобрена после рецензирования 06.05.2026; принята к публикации 27.05.2026. Рецензент – Измеров М.А., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 20.01.2026; approved after review on 06.05.2026; accepted for publication on 27.05.2026. The reviewer is Izmerov M.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.