

УДК 629.463.66

Апробация методики обоснования срока службы грузовых вагонов на основании результатов испытаний вагонов-аналогов

Л. В. Цыганская¹, Э. Р. Хамраева¹, Е. А. Наркизова²

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

² АО «НВЦ «Вагоны», Россия, 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 22м, 1-й этаж, пом. 5н

Для цитирования: Цыганская Л. В., Хамраева Э. Р., Наркизова Е. А. Апробация методики обоснования срока службы грузовых вагонов на основании результатов испытаний вагонов-аналогов // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 4. С. 15–23. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-15-23

Аннотация

Цель: разработка и внедрение усовершенствованных несущих металлоконструкций кузовов и рам, унификация элементов и узлов с использованием наиболее оправдавших себя в эксплуатации конструкций, технологической отработке отдельных элементов, систем и подсистем вагонов; повышение надежности, ремонтпригодности и совершенствование систем технического обслуживания подвижного состава поднимают вопрос о назначении срока службы грузовых вагонов с учетом экономической составляющей производства и эксплуатации. **Метод:** для подтверждения срока службы грузовых вагонов выполняются оценка и сравнение результатов ресурсных и ходовых динамико-прочностных испытаний вагонов-аналогов, а также цифровое моделирование в программном комплексе «Универсальный механизм». **Результаты:** в результате апробации данной методики был подтвержден срок службы вагона-хоппера модели 19-1272-01, который составляет 32 года. **Практическая значимость:** апробация методики обоснования срока службы была проведена на вагонах-хопперах моделей 19-1272-01 и 19-1298 производства АО «Рузхиммаш».

Ключевые слова: срок службы вагона, увеличение срока службы вагона, методика обоснования срока службы.

Рассматривается вопрос, связанный с требованием подтверждения увеличенного срока службы новых грузовых вагонов на основании результатов испытаний вагонов-аналогов.

Традиционно при разработке и постановке на производство новых грузовых вагонов их срок службы устанавливается разработчиком и подтверждается на основании комплекса расчетов и испытаний, в том числе ходовых прочностных и ресурсных.

Актуальность работы связана с необходимостью соблюдения новых требований [1], предусматривающих подтверждение величины назначенного срока службы грузовых вагонов на основании сравнительных испытаний с вагонами-аналогами. Под вагонами-аналогами согласно [1] подразумеваются вагоны, имеющие подобное назначение, схожую конструкцию кузова, рамы и узлов, лимитирующие срок службы.

Для выполнения требований [1] и возможности ввода в эксплуатацию вагонов с увеличенным сроком службы была разработана и предложена методика обоснования срока службы грузовых вагонов на основании результатов испытаний вагонов-аналогов [2]. Предложенная методика предусматривает подтверждение срока службы грузового вагона в несколько этапов:

I этап — сопоставление результатов ресурсных испытаний вагонов-аналогов, на основании которого устанавливаются элементы и узлы возможного возникновения трещин. Элементы конструкции вагона, в которых в ходе ресурсных испытаний выявлены трещины, определяются как узлы, лимитирующие срок службы вагона (ресурс) [3].

II этап — проведение сравнительного анализа результатов ходовых динамико-прочностных испытаний вагона и вагонов-аналогов с целью оценки динамических показателей вагонов и показателей прочности для зон, лимитирующих срок службы (ресурс) [4].

III этап — оценка динамико-прочностных показателей вагонов на основании моделирования на цифровых моделях и прочностного анализа с пошаговой оценкой изменения динамических показателей вагонов и динамических амплитуд напряжений в конструкции вагонов с максимально допустимыми в эксплуатации износами, а также с учетом допустимых коррозионных, контактных, абразивных износов и возможного изменения характера взаимодействия между элементами вследствие смятия или износа сопрягаемых поверхностей или других возможных деградационных процессов, связанных с эксплуатацией подвижного состава [5]. Характер процессов и необходимость их учета выбираются в зависимости от условий эксплуатации конкретного вида подвижного состава. Основной задачей цифрового моделирования является получение зависимостей изменения уровня динамических напряжений в конструкциях рассматриваемых вагонов в процессе жизненного цикла.

IV этап — сравнительная расчетная оценка срока службы вагона с учетом результатов ходовых динамико-прочностных испытаний новых вагонов и результатов моделирования вагонов с допустимыми износами [6].

После проведения сравнительных испытаний на основании анализа конструкторской и технологической документации подтверждается целесообразность технических и технологических решений, влияющих на срок службы.

Апробация предложенной методики проводилась на вагонах-хопперах моделей 19-1272-01 и 19-1298 производства АО «Рухиммаш». В качестве вагонов-аналогов для вагона-хоппера модели 19-1272-01 были выбраны вагоны-хопперы моделей 19-1272 и 19-1273-02, основные параметры и технические характеристики вагонов приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Основные параметры и технические характеристики вагонов-хопперов моделей 19-1272-01, 19-1272 и 19-1273-02

Наименование параметра и единица измерения	Значение показателя вагона		
	19-1272-01	19-1272	19-1273-02
1. Грузоподъемность, т	79,5	74,0	77
2. Масса тары, т: – минимальная – максимальная	19,7 20,5	19,2 20,0	22,0 23,0
3. Минимально допустимое значение массы тары для вагона, находящегося в эксплуатации, т	18,4	17,9	20,7
4. Объем кузова, м ³	72	72	107
5. Максимальная расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс)	245,25 (25,0)	230,5 (23,5)	245,5 (25,0)
6. Длина вагона, мм: – по осям сцепления автосцепок – по концевым балкам рамы	12020 ± 20 10800 ± 20	12020 ± 20 10800 ± 20	14220 13000
7. База вагона, мм	7800 ± 8	7800 ± 8	10000
8. Высота от уровня головок рельсов, мм: – максимальная – до оси зацепления автосцепки	4420 ± 20 1060 ± 20	4420 ± 20 1060 ± 20	4940 1060 ± 20
9. Ширина максимальная, мм	3275 ± 15	3270 ± 15	3250
10. Количество люков, шт.: – загрузочных – разгрузочных	4 4	4 4	4 6
11. Модель двухосной тележки, тип 3 по ГОСТ 9246	18-9891	18-9801	18-9891
12. Срок службы не более, лет	32	32	32

В ходе проведения ударных ресурсных испытаний по ГОСТ 337882016 симулировано нагружение, соответствующее 43 годам эксплуатации для вагона-хоппера модели 19-1272, 54,36 года для модели 191272-01 и 46,3 года для модели 19-1273-02. Плотность распределения усилий в испытаниях на ресурс при соударениях приведена на рис. 1. Подтвержденный срок службы для всех испытуемых и моделей вагонов-хопперов составил не менее 32 лет.

По результатам проведенных ресурсных испытаний вагонов-хопперов модели 191273, 19-1272-01 и 191273-02 на циклическую долговечность (соударения) выявлены зоны трещинообразования: зона сварных швов стоек торцевой стены вагона, зона крепления торцевой стены и крыши, зона сварных швов раскосов торцевой стены.

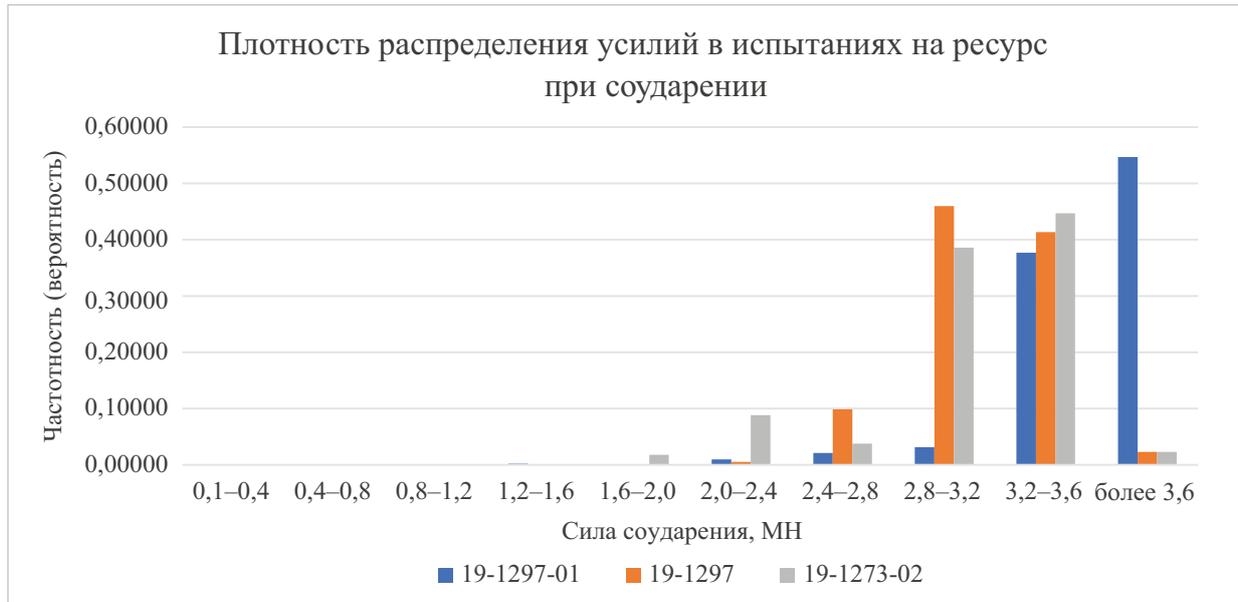


Рис. 1. Частотность возникновения сил при проведении ресурсных испытаний

Сравнительная оценка эквивалентных амплитуд динамических напряжений $\sigma_{a,3}$ и коэффициентов запаса сопротивления усталости n , полученных при проведении ходовых динамико-прочностных испытаний вагонов-хопперов моделей 191273, 19-1272-01 и 191273-02, представлена в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Сравнительная оценка результатов моделирования динамики и результатов динамико-прочностных испытаний вагонов-хопперов

Зона	19-1272-01		19-1272		19-1273-02		Норматив [n]
	$\sigma_{a,3}$	n	$\sigma_{a,3}$	n	$\sigma_{a,3}$	n	
по «Нормам...»							
Стойки торцевой стены	20,86	2,07	10,77	4,02	1,49	29,03	1,5
	5,70	7,59	2,21	19,59	0,50	86,45	
Крепление крыши к торцевой стене	4,30	10,06	1,40	30,96	0,74	58,72	1,5
	0,62	70,33	1,47	29,40	1,91	22,65	
Раскосы торцевой стены	11,96	3,62	5,57	12,12	9,78	4,42	1,5
	15,12	2,86	1,42	30,47	9,15	4,73	
по ГОСТ 33211-2014							
Стойки торцевой стены	6,71	1,57	7,57	1,40	5,18	2,83	1,15
	1,63	6,48	0,86	54,83	5,88	2,49	
Крепление крыши к торцевой стене	0,30	35,56	8,07	1,31	7,38	2,82	1,15
	0,39	26,99	9,10	1,16	1,76	11,81	
Раскосы торцевой стены	2,58	4,07	9,14	1,16	4,53	12,79	1,5
	4,96	2,12	3,45	3,07	13,83	4,19	

Оценка динамико-прочностных показателей вагонов выполнялась на основании моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм». Расчет динамических качеств выполнялся в том числе и с максимальными износами при эксплуатации.

Графики зависимости вертикальных динамических сил, действующих на пружины рессорного комплекта, от времени движения груженого вагона модели 19-1272-01 на прямом участке пути и на кривой радиусом 650 м приведены на рис. 2.

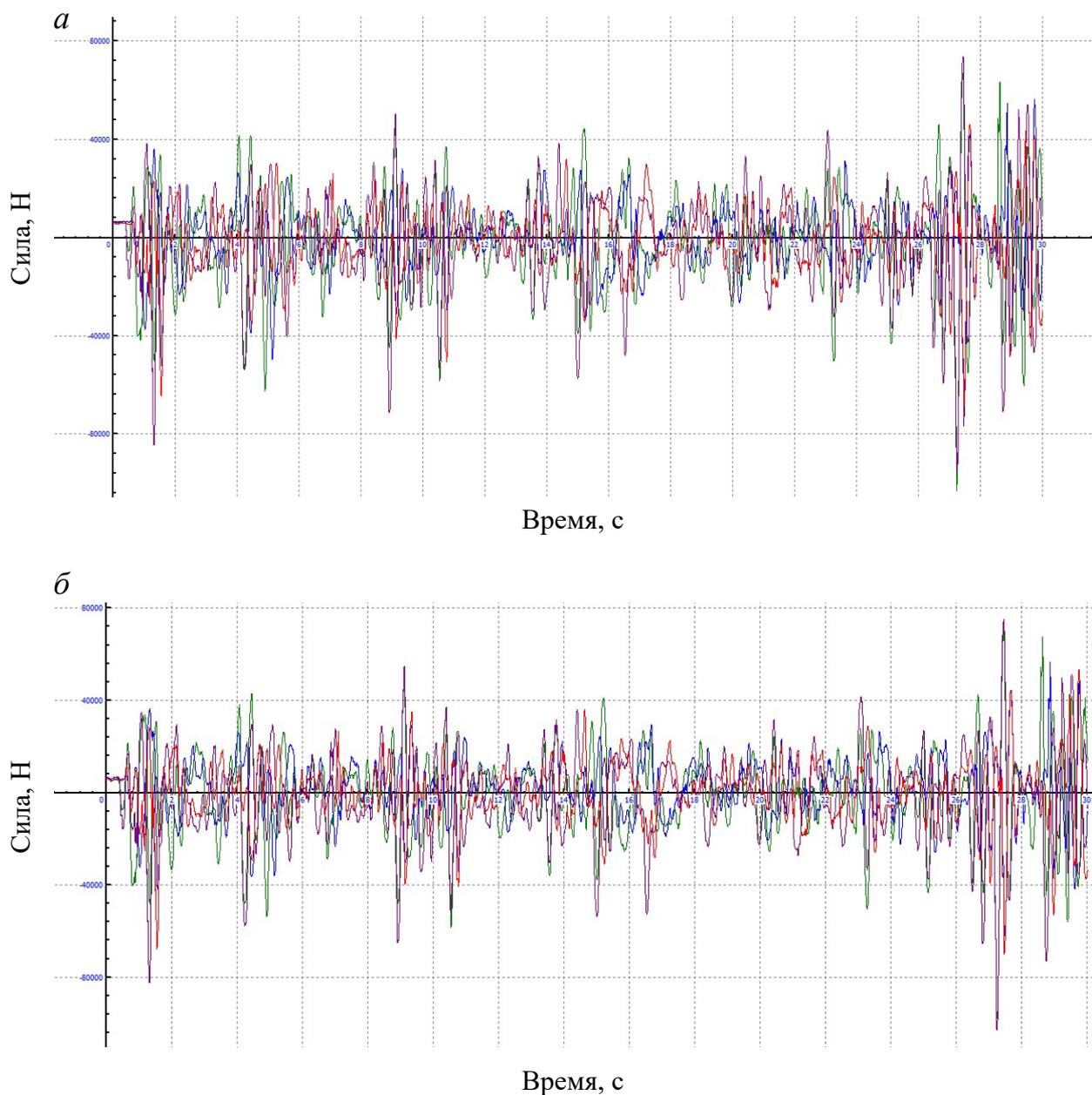


Рис. 2. График зависимости поперечных горизонтальных сил, действующих на колесную пару со стороны боковых рам, от времени движения груженого вагона по прямому участку пути: *а* — нового; *б* — с износами

Расчет срока службы (ресурса) проводится для каждого вагона с максимальными износами по следующей формуле:

$$T_{\kappa} = \frac{\left(\frac{\sigma_{a, N}}{[n]} \right)^m \cdot N_0}{B \cdot \mu f_{\circ} \sum_{j=1}^n K_{yzj} \sum P_{Vi} \sum \sigma_{ai}^m P_{\sigma i}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{a, N}$ — предел выносливости (по амплитуде) для контрольной зоны при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения при базовом числе циклов $N_0 = 107$;

$[n]$ — допускаемый коэффициент запаса усталости;

N_0 — базовое число циклов;

m — показатель степени в уравнении кривой усталости в амплитудах;

μ — коэффициент, полученный по результатам моделирования динамики вагонов, учитывающий влияние деградации в процессе эксплуатации конструкции вагонов (фрикционного и коррозионного износа);

B — коэффициент перевода календарного расчетного срока службы балки в годах во время непрерывного движения в секундах, с/год;

f_{\circ} — частота изменения коэффициента динамической добавки;

K_{yzj} — средняя доля протяженности участков пути;

$P_{\sigma i}$ — вероятность появления амплитуды с уровнем σ_{ai} в i -м интервале скоростей движения вагона;

P_{Vi} — доля времени, приходящаяся на эксплуатацию в i -м интервале скоростей;

σ_{ai} — уровень амплитуд напряжений от действия вертикальных динамических сил в интервале i , приведенных к эквивалентному симметричному циклу.

Сравнительные испытания вагонов-хопперов моделей 19-1272, 19-1272-01 и 19-1273-02 и результаты расчетно-экспериментальной оценки подтвердили назначенный срок службы вагона-хоппера модели 19-1272-01, который составляет 32 года.

Библиографический список

1. Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении (СТОИР): утв. Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества, протокол от 16–17 октября 2012 г. № 57.

2. Цыганская Л. В., Наркизова Е. А. Методика обоснования срока службы грузовых вагонов на основании результатов испытаний вагонов аналогов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: материалы XVII Международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 09–12 июля 2024 г.). СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2024.

3. Галов В. В., Башмаков В. А., Григорьев А. В. Оценка ресурса при соударении вагонов-цистерн современных конструкций производства АО «Руххимаш» // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2021. Т. 18, № 2. С. 153–168. DOI 10.20295/1815–588X-2021-2-159-168. EDN HOJRAI

4. Коновалов Е. Н., Путято А. В. Прогнозирование ресурса несущих конструкций вагонов с различным техническим состоянием на основе результатов испытаний типового представителя // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3(51). С. 208–214. EDN WMELGT

5. Рудакова Е. А., Орлова А. М. Исследование динамических качеств сочлененного вагона-платформы на математических моделях // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2008. № 23. С. 85–88. EDN TUFFFZ

6. Воропай В. С. Прогнозирование срока службы вагонов-цистерн // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2010. № 21. С. 121–126. EDN TVTLZJ

Дата поступления: 07.09.2024

Решение о публикации: 15.10.2024

Контактная информация:

ЦЫГАНСКАЯ Людмила Валериевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»; tcyganskaya@gmail.com

ХАМРАЕВА Эльмира Рустамовна — аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»; hamrayewaelmira@gmail.com

НАРКИЗОВА Екатерина Александровна — канд. техн. наук, заместитель генерального директора по связям с общественностью АО «НВЦ «Вагоны»; ekaterina_jarova@mail.ru

Testing the methodology for justifying the service life of freight cars based on the results of analog car testing

L. V. Tsyganskaya¹, E. R. Hamraeva², E. A. Narkizova²

¹ Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

² JSC “R&D Center Wagons”, room 5n, floor 1, 22m, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190013, Russia

For citation: *Tsyganskaya L. V., Khamraeva E. R., Narkizova E. A. Testing the methodology for justifying the service life of freight cars based on the results of analog car testing // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 4. P. 15–23. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-15-23*

Abstract

Purpose: the development and implementation of advanced load-bearing metal structures for bodies and frames, the unification of elements and assemblies using the most proven designs in operation, the technological refinement of individual elements, systems, and subsystems of cars; improving reliability, maintainability, and enhancing maintenance systems for rolling stock raises the issue of determining the service life of freight cars, considering the economic aspects of production and operation. **Method:** to confirm the service life of freight cars, an assessment and comparison of the results of durability and operational dynamic-strength tests of analog cars are carried out, as well as digital modeling in the “Universal Mechanism” software package. **Results:** as a result of testing this methodology, the service life of the 19-1272-01 model hopper car, which is 32 years, was confirmed. **Practical Significance:** the testing of the service life justification methodology was carried out on hopper cars of models 19-1272-01 and 19-1298 produced by JSC “Ruzhimmash”.

Keywords: freight car service life, extending freight car service life, service life justification methodology.

References

1. Polozhenie o sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta gruzovyh vagonov, dopushchennyh v obrashchenie na zheleznodorozhnye puti obshchego pol'zovaniya v mezhdunarodnom soobshchenii (STOIR): utv. Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv — uchastnikov Sodruzhestva, protokol ot 16–17 oktyabrya 2012 g. No. 57. (In Russian)
2. Tsyganskaya L. V., Narkizova E. A. Metodika obosnovaniya sroka sluzhby gruzovyh vagonov na osnovanii rezul'tatov ispytaniy vagonov analogov // Podvizhnoj sostav XXI veka: idei, trebuvaniya, proekty: materialy HVII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (Sankt-Peterburg, 09–12 iyulya 2024 g.). SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2024. (In Russian)
3. Galov V. V., Bashmakov V. A., Grigor'ev A. V. Ocenka resursa pri soudarenii vagonov-cistern sovremennykh konstrukcij proizvodstva AO «Ruzhimmash» // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2021. T. 18, No. 2. S. 153–168. DOI 10.20295/1815-588X-2021-2-159-168. EDN HOJRAI (In Russian)
4. Konovalov E. N., Putyato A. V. Prognozirovanie resursa nesushchih konstrukcij vagonov s razlichnym tekhnicheskim sostoyaniem na osnove rezul'tatov ispytaniy tipovogo predstavatelya // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2016. No. 3(51). S. 208–214. EDN WMELGT (In Russian)
5. Rudakova E. A., Orlova A. M. Issledovanie dinamicheskikh kachestv sochlenennogo vagona-platformy na matematicheskikh modelyah // Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana. 2008. No. 23. S. 85–88. EDN TUFFFZ (In Russian)
6. Voropaj V. S. Prognozirovanie sroka sluzhby vagonov-cistern // Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2010. No. 21. S. 121–126. EDN TVTLZJ (In Russian)

Received: 07.09.2024

Accepted: 15.10.2024

Author's information:

Ludmila V. TSYGANSKAYA — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of “Wagons and Wagon Economy”; tcyganskaya@gmail.com

Elmira R. HAMRAEVA — Postgraduate Student of the Department of “Wagons and Carriage Facilities”; hamrayewaelmira@gmail.com

Ekaterina A. NARKIZOVA — PhD in Engineering, Deputy General Director for Public Relations of JSC NEC “Vagony”; ekaterina_jarova@mail.ru