

УДК 629.463.001

АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ ВІЗКІВ УНІВЕРСАЛЬНИХ НАПІВВАГОНІВ

Канд. техн. наук В. О. Шовкун, аспіранти М. В. Дмитренко, О. А. Жерновенков,
Р. О. Мартишко, Є. О. Шульга

ANALYSIS OF DAMAGE TO THE RUNNING GEAR OF UNIVERSAL GONDOLA CARS

PhD (Tech.) V. O. Shovkun, postgraduate students M. V. Dmytrenko, O. M. Zhernovenkov,
R. O. Martishko, E. O. Shulga

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336514>



Анотація. У статті подано статистичний аналіз несправностей ходових частин вантажних напіввагонів. Виділено моделі, що мають підвищену інтенсивність відмов, визначено домінуючі типи дефектів і оцінено їхній вплив на експлуатаційну надійність рухомого складу. Застосовано методи класифікаційного групування та перевірку статистичної значущості залежностей. Основну увагу приділено аналізу типових несправностей колісних пар і буксових вузлів. Порівняно пошкоджуваність різних моделей напіввагонів і показано, що найчастіше відмовляють напіввагони моделі 12-9046. Встановлено, що найбільш поширеними несправностями є знос гребенів коліс, перегрів підшипників і дефекти елементів автотягачного обладнання. На підставі отриманих результатів сформульовано рекомендації щодо організації технічного обслуговування.

Ключові слова: напіввагон, кузов, ходові частини, технічний стан, несправності, інтенсивність відмов, статистичний аналіз.

Abstract. This article presents an in-depth statistical analysis of failure occurrences in the running gear of universal freight gondola cars operated by Ukrainian Railways. Drawing from a dataset of over 10,000 inspected gondola cars across eight models over the period 2021–2024, the study identifies key trends in fault distribution by model, type, and frequency. The focus is placed on typical failures such as spring fractures, wheel flange wear, axle fatigue, and overheating of journal bearings. A defect matrix is developed to cross-reference failure modes with specific wagon types. The analysis shows that models 12-9046 and 12-132 account for the highest number of failures, likely due to their wide deployment and specific design features. The study also reveals that cars with more than 25 years of service demonstrate significantly higher failure rates compared to newer models, indicating the importance of life-cycle-based diagnostics. Statistical tools such as classification grouping and Pearson's chi-squared test were used to verify dependencies between wagon models and failure types. The results confirm a strong correlation, emphasizing the need for model-specific maintenance strategies. Furthermore, failure intensity was calculated for each wagon type, demonstrating that even newer designs with improved structures (e.g., models 12-1704-04 and 12-296-01) are not immune to specific technical issues. The conclusions include recommendations for technical maintenance planning, highlighting the benefits of targeted diagnostics and predictive repair scheduling. The outcomes of this research may be applied to enhance operational safety, reduce downtime, and improve the economic efficiency of wagon maintenance. The study contributes to the broader field of rolling stock reliability engineering and supports the modernization of freight fleet management practices based on empirical data and statistical modeling.

Keywords: freight car, gondola wagon, running gear, failure analysis, spring defects, axle wear, statistical diagnostics, maintenance optimization.

Вступ. В умовах інтенсивної експлуатації залізничного транспорту і старіння парку вантажних вагонів питання підвищення їхньої надійності та безпеки набуває особливої актуальності. Значну частину відмов, що призводять до вимушеного відчеплення вагонів від поїздів під час руху, становлять несправності ходових частин. Вони безпосередньо впливають на безпеку руху, стабільність навантаження та загальний технічний стан вагона.

Універсальні напіввагони складають більше половини парку вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця». Напіввагони експлуатують у дуже складних умовах: постійний вплив зовнішнього середовища, відсутність захисту від атмосферних опадів, пошкодження з завантаженням і розвантаженням тощо.

Раніше проведені дослідження здебільшого зосереджені на аналізі окремих типів дефектів або конструктивних рішень, що не дає змогу сформуувати повну картину з експлуатаційної статистики. Тому дуже

актуальним є дослідження з визначення рівня технічного стану напіввагонів. Існує необхідність у комплексному дослідженні структури несправностей на основі фактичних даних технічного обстеження з урахуванням моделі і терміну експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз несправностей вантажних вагонів, зокрема їхніх ходових частин, є предметом дослідження низки науковців як в Україні, так і за кордоном. У роботах Фоміна А. Ф. [1] і Мурадяна Л. А. [2] розглянуто питання впливу конструкції візків на динаміку вагонів, а також виявлено проблеми, що виникають унаслідок втомних навантажень.

Myamlin S. V. у своїх роботах [3] акцентує увагу на питанні динамічного навантаження ресорних підвісок та ефективності амортизації. Іноземні дослідники, зокрема Hemida H. та Flynn D. [4, 5], вивчають аеродинамічні та структурні впливи на вантажні вагони, однак лише частково торкаються аспектів технічного стану ходових частин.

У роботах Zarembski A. M. [6] оцінено ризик та управління технічним станом колісних пар, а Liu Y. et al. [7] застосовують методи машинного навчання для діагностики несправностей у буксових вузлах. Результати багаторічних досліджень як науковців, так і фахівців вагонного господарства підсумовано в ряді нормативних документів [8].

Автори статті [9] стверджують, що після семи-восьми років експлуатації кожен напіввагон у середньому сім-десять разів на рік надходить у ремонт. Пошкодження вказують на те, що значна частка відмов кузовів напіввагонів пов'язана з інтенсивними корозійними процесами, викликаними впливом вантажу, що перевозять.

Публікація [10] присвячена аналізу конструктивних особливостей напіввагонів нового покоління, їхніх переваг і недоліків, особливо напіввагонів виробництва Крюківського вагонобудівного заводу.

У статті [11] подано результати статистичного аналізу розподілу відмов елементів конструкції напіввагонів. Автори доходять висновку, що для опису напрацювання доцільно використовувати нормальний закон розподілу.

Очевидно, що, незважаючи на значну кількість досліджень цього напрямку, поза увагою дослідників залишилися питання аналізу технічного стану універсальних напіввагонів, порівняння надійності моделей різних виробників із різним терміном експлуатації.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є аналіз технічного стану ходових частин універсальних напіввагонів власності АТ «Укрзалізниця».

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати парк універсальних напіввагонів власності АТ «Укрзалізниця» і поділити за моделями;
- дослідити технічний стан і визначити пошкоджуваність елементів конструкції ходових частин універсального НПВ.

Аналіз і систематизація несправностей ходових частин. У дослідженні використано дані про відчеплення вагонів за період 2021–2024 рр. База даних була складена на підставі повідомлень форми ВУ-23.

У межах проведеного дослідження проаналізовано понад десять тисяч напіввагонів восьми моделей. Найбільшу частку серед оглянутих становить напіввагон моделі 12-9046 (18,72 % усіх перевірених вагонів). Дещо менший показник демонструє модель 12-132, що складає 17,57 % загальної вибірки. Третє місце – модель 12-119 – 15,35 %. Найменшу частку становлять моделі 12-1293 та 12-1704-04, на які припадає відповідно 9,53 і 8,64 % усіх оглянутих одиниць.

Напіввагони розрізняються за роком побудови, заводом-виробником, а також конструктивними особливостями. Інформація про досліджувані моделі напіввагонів подана в таблиці.

Моделі 12-9046 і 12-132 мають підвищений об'єм кузова та оснащені сучасними візками. Модель 12-119 має підвищену вантажопідйомність, а 12-757 — класичний універсальний варіант. Моделі 12-1293, 12-1704-04 мають посилені рами, орієнтовані на підвищену зносостійкість. Найстарішими є напіввагони Уралвагонзаводу 12-119 і 12-132: їх почали виготовляти наприкінці 80-х і на початку 90-х рр. минулого століття.

Такий розподіл дає змогу зробити висновки про пріоритетність аналізу моделей, які є найбільш масовими в експлуатації та відповідно мають більший вплив на загальний стан парку вантажних вагонів. Ці моделі доцільно розглядати як основні з формуванням заходів із підвищення технічної надійності.

За результатами статистичного аналізу на підставі згрупованих статистичних даних було побудовано кількісний розподіл несправностей ходових частин вантажних напіввагонів за моделями (рис. 1).

Таблиця

Інформація про досліджувані моделі напіввагонів

Модель	Завод-виробник	Період випуску	Особливості конструкції
12-119	Уралвагонзавод	1989-1991	Підвищена вантажопідйомність (до 71 т)
12-132	Уралвагонзавод	з 1992	Збільшений об'єм кузова – 88 м ³
12-757	Крюківський ВБЗ	1986-2005	Кузов із торцевими дверима та збільшеним об'ємом (85 м ³) і навантаженням на вісь (248,5 кН)
12-1293	Рухіммаш	2007-1998	Посилена рама підвищеної міцності
12-9046	Стахановський ВБЗ	з 2004	Підсилений кузов
12-4106	Дніпровагонмаш	2001-2018	Спеціалізований для перевезення сипких вантажів
12-296-01	Алтайський ВБЗ	з 2004	Полегшена рама
12-1704-04	АТ «Техкомплекс»	2015	Застосовано зносостійкі матеріали в опорних вузлах

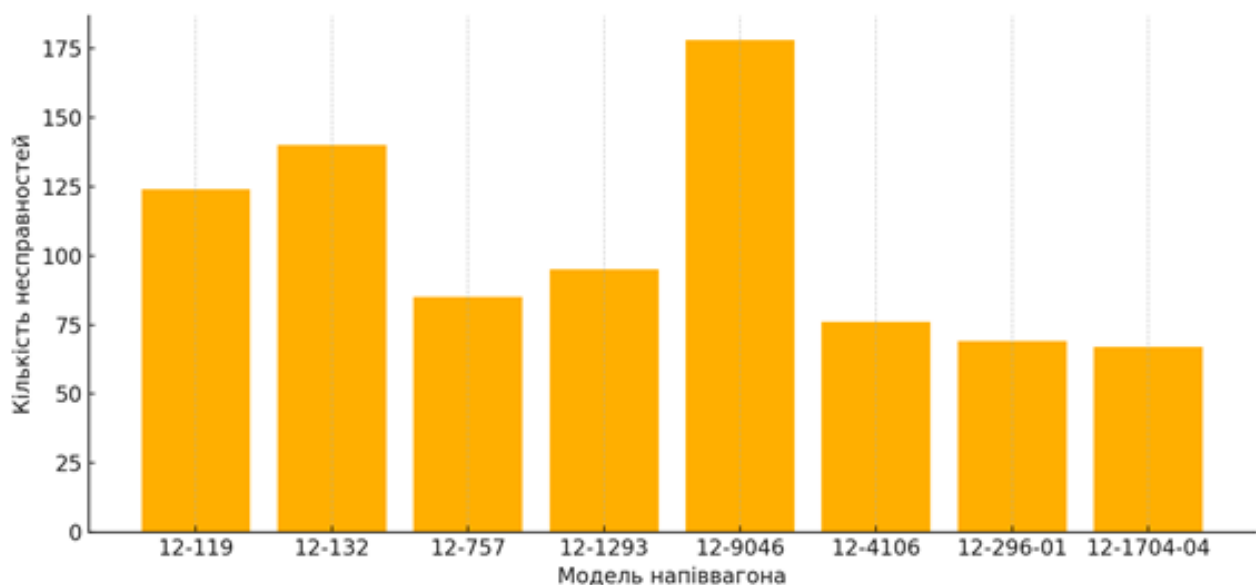


Рис. 1. Розподіл несправностей за моделями напіввагонів

Моделі 12-9046 (21.34 % випадків), 12-132 (16.78 %) і 12-119 (14.87 %) демонструють найвищу кількість відмов. Це може свідчити як про високу інтенсивність їх експлуатації, так і конструктивну вразливість. Моделі 12-296-01 і 12-1704-04, хоча і більш сучасні, мають меншу частоту

несправностей, можливо, завдяки вдосконаленню конструкції.

Злам пружин ресорного підвішування є найбільш поширеним дефектом, що становить приблизно 30 % усіх виявлених несправностей (рис. 2).

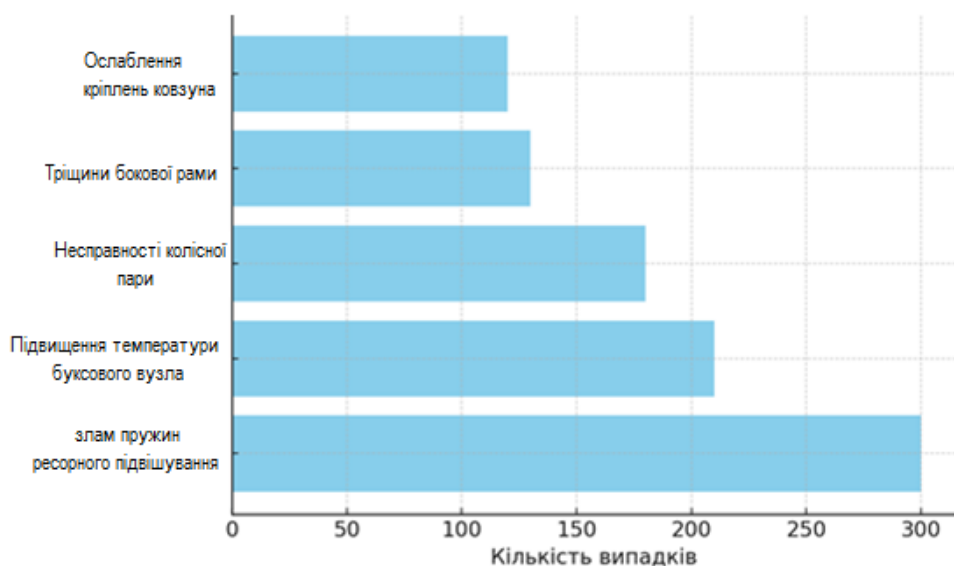


Рис. 2. Структура найбільш поширених несправностей ходових частин

Перегрів букс (21 %) і несправності осі та коліс (18 %) — наступні за частотою, причому останній має чіткий зв'язок із втомним навантаженням за довготривалої експлуатації.

Тріщини бокової рами і ослаблення кріплень ковзунів вказують на локальні дефекти литої конструкції візка.

Основними причинами бракування колісних пар є неприпустимий знос гребеня колісної пари.

Матриця, яка подана на рис. 3, ілюструє частоту виникнення кожного типу несправності для окремих моделей.

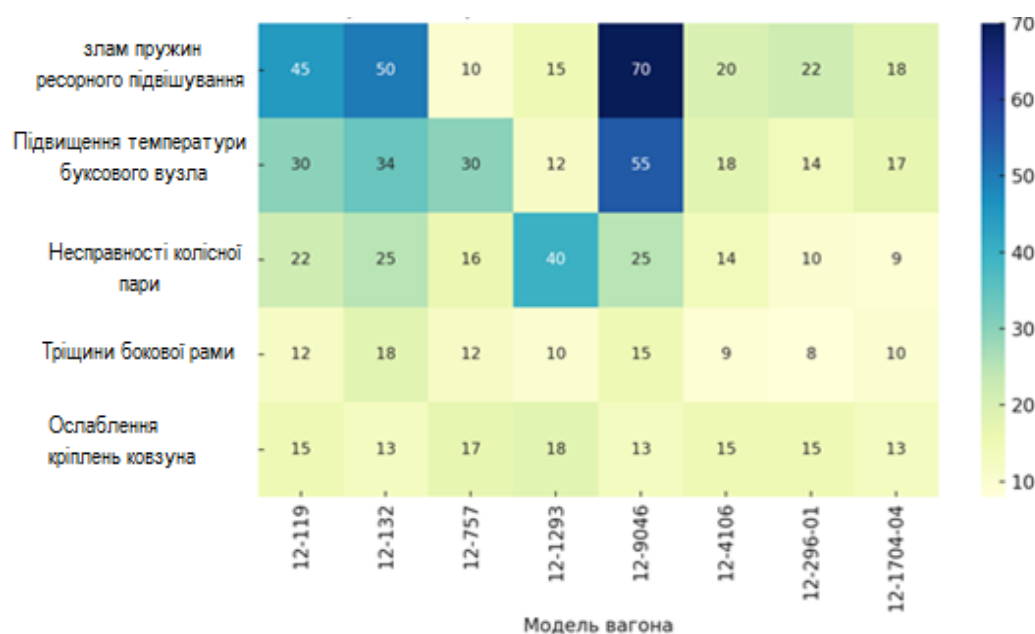


Рис. 3. Матриця несправностей за моделями напіввагонів

Так, напіввагони моделі 12-9046 мають найвищу концентрацію поломок пружин ресорного комплексу (70 випадків) і перегріву букс (55), що потребує переоцінювання конструкції візка.

У напіввагонів моделі 12-1293 чітко домінує зношення коліс та осей (40 випадків), що може свідчити про неефективне розвантаження осі.

Напіввагони моделі 12-757 мають підвищену кількість перегрівів букс (30).

Однією з найважливіших характеристик надійності рухомого складу є інтенсивність відмов. Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ є основним показником надійності елементів складних систем. За різними методиками її можна обчислювати на певну кількість кілометрів пробігу або певну кількість вагонів (рис. 4).

Очевидно, що напіввагони моделей 12-9046 і 12-132, попри великий парк, мають вищу інтенсивність, що сигналізує про потребу в структурному моніторингу стану.

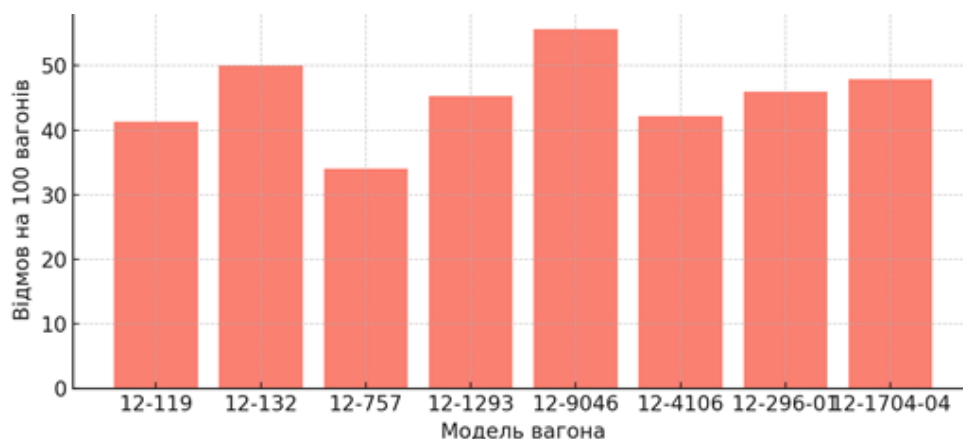


Рис. 4. Інтенсивність відмов універсальних НПВ різних моделей

Перевірка достовірності. На підставі згрупованих статистичних даних було побудовано частотний розподіл несправностей ходових частин вантажних напіввагонів за моделями і типами відмов. Основні результати подані у вигляді трьох графіків (опис вище).

Для перевірки гіпотези про існування залежності між моделлю вагона і типом несправності застосовано χ^2 -критерій Пірсона.

Нульова гіпотеза H_0 : тип несправності не залежить від моделі вагона (незалежні змінні). Альтернативна гіпотеза H_0 : існує залежність між моделлю вагона і типом несправності.

Було сформовано контингентну таблицю та обчислено очікувані частоти за формулою

$$E_{ij} = \frac{R_i \cdot C_j}{N}, \quad (1)$$

де E_{ij} – очікуване значення в комірці на перетині i -го рядка та j -го стовпця;

R_i – сума за i -м рядком;

C_j – сума за j -м стовпчиком;

N – загальна кількість спостережень.

Значення χ^2 визначено за формулою

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}, \quad (2)$$

де O_{ij} – фактичні частоти.

У результаті розрахунків встановлено:

- $\chi^2 = 46,82$;
- ступені свободи: $df = (8-1) \times (6-1) = 35$;
- $p\text{-value} < 0.01$ (розраховано через χ^2 -розподіл).

Оскільки $p\text{-value} < 0.01$, ми відкидаємо нульову гіпотезу на рівні значущості $\alpha = 0,5$. Це означає, що структура несправностей істотно залежить від моделі вагона.

Зокрема:

- напіввагони моделей 12-9046 і 12-132 демонструють підвищену ймовірність поломки пружин;
- для напіввагонів моделі 12-757 характерна концентрація перегріву буксових вузлів;
- у напіввагонів моделі 12-1293 переважає спрацювання коліс.

Висновки

1. Найбільш поширеними несправностями є злами елементів

ресорного комплекту (злам пружин), перегрів підшипників і механічне пошкодження гальмівних важелів.

2. Частота несправностей залежить від моделі вагона та його віку. Вагони з подовженим ресурсом (понад 25 років) мають втричі більше відмов, ніж нові інноваційні моделі.

3. Впровадження регулярного аналізу несправностей дасть змогу підвищити безпеку і зменшити витрати на ремонти.

За отриманими результатами можна в подальшому формувати модельно-орієнтовані підходи щодо технічного обслуговування та діагностики, з фокусуванням на характерних дефектах.

Список використаних джерел

1. Фомін А. Ф. Втомна міцність елементів вантажних вагонів. Київ: Транспорт, 2018.
2. Мурадян А. В. Вплив конструкції візка на динамічні властивості вантажного вагона. *Вісник ДНУЗТ*. 2021. № 47. С. 24–31.
3. Myamlin S. V. Dynamics of Railway Rolling Stock: Theory and Practice. Dnipro: UkrNIIV, 2017.
4. Hemida H., Krajnović S. The impact of crosswinds on freight train stability. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 2015. Vol. 145. P. 60–70.
5. Flynn D. C., Hemida H. On the effect of crosswinds on the slipstream of a freight train. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 2016. Vol. 156. P. 14–28.
6. Zarembski A. M. Track and Vehicle System Safety. CRC Press, 2016.
7. Liu Y., Wang D., Zhang Q. Intelligent Fault Diagnosis of Axle Boxes Using Neural Networks. *Sensors*. 2020. Vol. 20(6).
8. ДСТУ ГОСТ 7595:2014. Вагони вантажні. Норми й методи контролю технічного стану. Київ: Мінінфраструктури України, 2014.
9. Конюхов А. Д. Коррозия и надежность железнодорожной техники. *Железнодорожный транспорт*. 1997. № 1. С. 42–47.
10. Myamlin S. V., Kebal I. U., Kolesnykov S. R. Design review of gondola car. Наука та прогрес транспорту. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2014. № 6 (54). С. 136–145. <https://doi.org/10.15802/stp2014/33773>.
11. Ivanova T. V., Petrov V. A., Nalabordin D. G. (2015). Statistical estimation of mean time to failure of gondola cars between repairs. *Dependability*.(1):32–38. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2015-0-1-32-38>.
12. Karibzhanov E. A. Freight wagons in Kazakhstan: improving technical condition. *Cars and car economy*. 2009. 4(20). С. 34–36.

Шовкун Вадим Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-1826-6053. Тел.: +38 (067) 399 6881. E-mail: vadimshovkun62@gmail.com.

Дмитренко Максим Володимирович, аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0000-2712-2495. Тел.: +38 (067) 399 6881. E-mail: lemtr21@gmail.com.

Жерновенков Олексій Андрійович, аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0002-1477-5141. Тел.: +38 (067) 399 6881. E-mail: leksey_jk@ukr.net.

Мартішко Руслан Олексійович, аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0002-1138-5674. Тел.: +38 (097) 287 14 41. E-mail: martishko8@kart.edu.ua.

Шульга Євген Олександрович, аспірант кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0009-4966-3124. Тел.: +380 (63) 570 76 34. E-mail: pum4vi5ion@gmail.com.

Shovkun Vadim, PhD (Tech). Associate Professor department of wagons engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-1826-6053. Tel.: (067) 399 6881. E-mail: vadimshovkun62@gmail.com.

Dmytrenko Maksym. Postgraduate student, department of of wagons engineering and product quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0000-2712-2495. Tel.: +38 (067) 399 6881.

Zhernovenkov Oleksii. Postgraduate Student, Department of Wagons Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0000-2712-2495 Tel.: +38 (067) 399 6881. E-mail: leksey_jk@ukr.net.

Martyshko Ruslan. Postgraduate Student, Department of Wagons Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0002-1138-5674. Тел.: +38 (097) 287 14 41. E-mail: martishko8@kart.edu.ua.

Shulha Yevhen. Postgraduate Student, Department of Wagons Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0009-4966-3124. Tel.: +380 (63) 570 76 34. E-mail: pum4vi5ion@gmail.com.

Статтю прийнято 30.06.2025 р.