*УДК 629.463*

***Буліч Дмитрій, аспірант***
***(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)***
***Сапронова Світлана, д.т.н., проф.***
***(доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій)***
***Ткаченко Віктор, д.т.н., проф.***
***(доктор технічних наук, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний університет інфраструктури та технологій)***
***Кошель Олексій, аспірант***
***(аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій)***

# ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОГО ЗНОСУ НЕСУЧИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ

*Корозійному зносу підлягають всі елементи несучих металевих конструкцій вантажних вагонів. У даній статі проведено статистичний аналіз корозійного зносу для кожного елементу несучих металевих конструкцій. Розглянуто пошкодження несучих металевих конструкцій напіввагонів з врахуванням корозійного зносу. Запропоновано заходи збільшення можливого граничного корозійного зносу, що можуть бути використані для прогнозування залишкового ресурсу і конструктивного доопрацювання елементів несучих металевих конструкцій.*

***Ключові слова:*** *вантажний вагон, несучі металеві конструкції, корозійний знос, пошкодження, технічне діагностування.*

**Вступ.** Залізничний транспорт України є провідною галуззю в дорожньо-транспортному комплексі країни, який забезпечує майже 82% вантажних і 36% пасажирських перевезень від всіх видів транспорту. Найбільшим підприємством галузі є Акціонерне товариство «Українська залізниця». Загальний парк вантажних вагонів в 2019 році становив 83,5 тисяч одиниць. Із наявного парку вантажних вагонів робочий парк складає 57,7 тисяч одиниць вагонів (без врахування вагонів на тимчасово окупованих територіях) [1-3].

На період з 2015 року по 2019 рік знос наявного вантажного парку складає 24%, робочого парку 17%, неробочого парку 35% (рис. 1).

Через катастрофічну зношеність вантажного парку існує загроза незабезпечення потреб у перевезеннях вантажів з відповідними витратами для держбюджету, зниженням показників економічного розвитку України.

Роботи по продовженню терміну служби проводяться відповідно до «Положения о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении» [5]. Для вирішення питання про можливість подальшої експлуатації вагонів з вичерпаним терміном служби проводиться їх технічне діагностування [4]. За результатами діагностування встановлюється технічний стан кожного обстеженого вагона. Це дає можливість обґрунтувати продовження терміну його експлуатації і, таким чином, запобігти різкому скороченню вантажного парку, забезпечивши при цьому достатній рівень надійності.

***DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-5***

На рис. 2 зображена схема технічного діагностування вантажних вагонів, яка включає в себе методи продовження їх терміну експлуатації [6, 9].

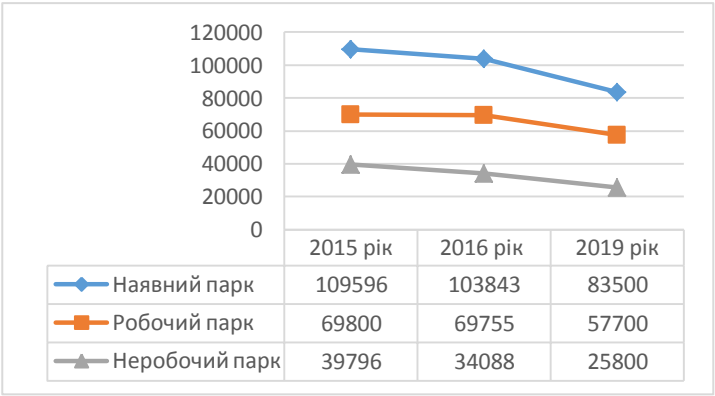



*Рис. 1.* **Знос вантажного парку АТ «Українська залізниця» за 2015-2019 рік**

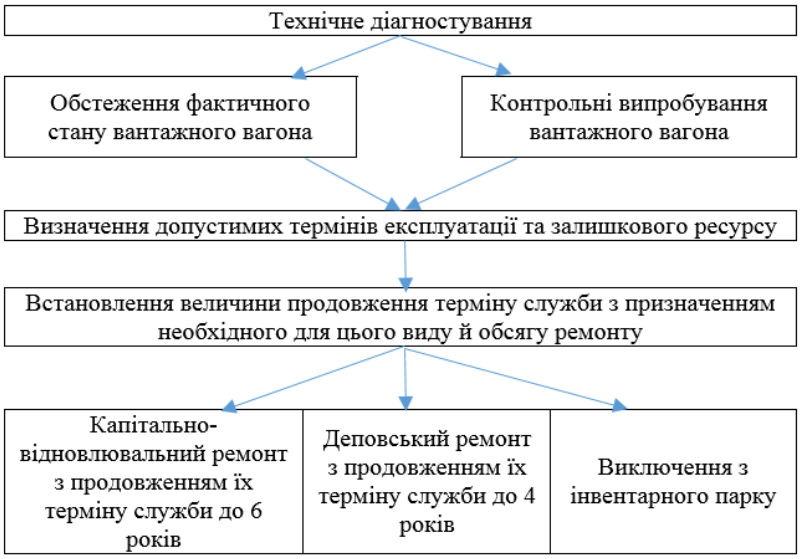



*Рис. 2.* **Схема технічного діагностування вантажних вагонів**

Система технічного діагностування являє собою сукупність об'єктів, методів і засобів, а також виконавців, що дозволяють здійснити діагностування за правилами, встановленими відповідно нормативно-технічної документації. Ця система призначається для вирішення таких завдань [6]:

оцінка технічного стану в даний момент часу, при цьому визначається якість виготовлення або ремонту вантажного рухомого складу;

технічний стан, в якому опиниться рухома одиниця через деякий період експлуатації;

встановлення технічного стану в минулому (наприклад, перед аварією, катастрофою, іншими надзвичайними подіями).

Завданням контрольних випробувань є експериментальна перевірка відповідності показників міцності конструкції вагону вимогам діючим нормативним документам [4], [7] та [8].

Контрольні випробування містять:

статичні випробування на міцність від дії вертикального навантаження;

скидання з клинів;

типові та ресурсні випробування на міцність при зіткненні.

Крім того, технічний стан вантажних вагонів багато в чому залежить від умов їх експлуатації, якості усунення типових пошкоджень підчас експлуатації та виконання планових ремонтів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Комплекс робіт з продовження терміну служби передбачені методикою технічного діагностування вантажних та рефрижераторних вагонів [4]. Питання, що виникають підчас технічного діагностування вантажних вагонів розглядалися в роботах [13,14,15,16]. Так в роботі [13] розглянуто зони і величини корозійного зносу листів шкворневої балки моделей напіввагонів 12-532 і 12-119, але недостатньо приділено увагу корозійному зносу інших вузлових елементів несучих металевих конструкцій вагона. В роботі [18] представлено аналіз проведених теоретичних та експериментальних досліджень міцнісних якостей елементів рухомого складу на прикладі хребтової балки вантажних вагонів. Методика розрахунків напруженого стану та експериментальних випробувань по визначенню рівня напружень, які створюються в умовах експлуатації в несучих конструкціях рухомого складу розглянуто в роботах [14,15], але не приділено увагу виникненню типових несправностей та корозійного зносу вантажних вагонів. Роботи [6, 9, 16, 20] містять оцінку стану робіт і перспективи щодо продовження терміну служби рухомого складу. В них описано та проаналізовано стан вантажного парку, методи продовження терміну служби, методи неруйнівного контролю які використовуються при проведені технічного діагностування та показані типові несправності які виникають при обстежені вантажних вагонів, але недостатньо приділено увагу причинам виникнення та можливості усунення корозійного зносу елементів несучих металевих конструкції. В статті [19] проведено дослідження корозійної стійкості сталі 09Г2Д яка використовується в вагонобудівництві, але не надано оцінки гранично допустимої корозії елементам несучих металевих конструкцій вантажних вагонів.

На основі аналізу наукових публікацій з'ясовано, що корозійний знос несучих металевих конструкцій вивчено тільки частково, без систематизації фактичного корозійного пошкодження та визначення фактичної швидкості корозії елементів несучої металевої конструкції вантажних вагонів.

**Мета дослідження –** дослідження корозійного зносу несучих металевих конструкцій вантажних вагонів під час проведення заходів щодо продовження терміну служби.

**Завдання дослідження:** дослідження виникнення корозійного зносу несучих металевих конструкції вантажних вагонів під час обстеження та проведення заходів щодо продовження їх терміну служби; оцінка залежності статистичного впливу корозії несучих металевих конструкцій від стану та строку експлуатації вантажних вагонів на основі аналізу виключених вагонів та наданої інформації з технічного діагностування.

**Матеріали та методи дослідження.** Метою технічного діагностування є дослідження залишкового ресурсу та обґрунтування можливості продовження експлуатації вантажних вагонів після закінчення призначеного заводом-виробником терміну служби, встановлення величини продовженого терміну служби, призначення необхідного для цього виду й обсягу ремонту (деповський чи капітальний) або виключення. На основі динаміки зносу вантажного парку за період 2015-2019 рр. (рис. 3) видно, що найбільша кількість зношених і виключених з експлуатації вагонів – напіввагони.

Фахівцями відділення надійності філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» запропоновано провести роботи з оцінки корозійного зносу несучих металевих конструкцій напіввагонів на основі наданої інформації, отриманої в процесі технічного діагностування в період з 01.01.2016 р. по 30.12.2016 р. [6, 7].

Під час технічного діагностування на кожному вагоні було виявлено ряд критичних пошкоджень несучих металевих конструкцій, які в сукупності не дають змогу безпечно експлуатувати надалі вказані вагони.

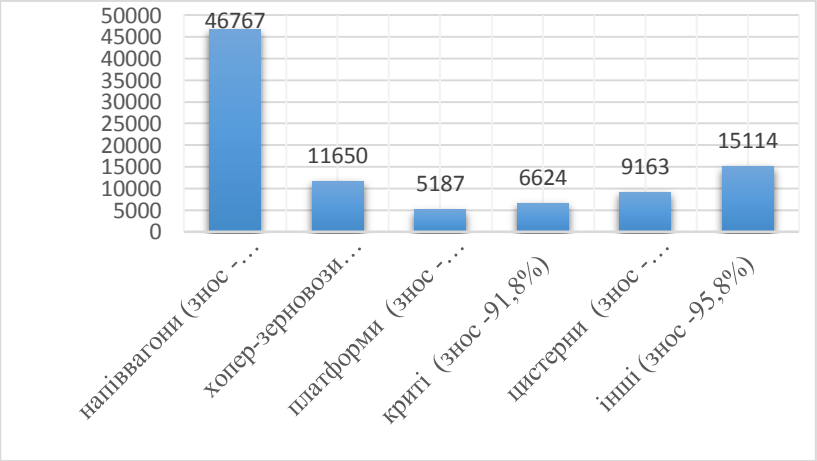



*Рис. 3.* **Структурна діаграма зносу вантажного парку по типах вагонів**

Основними пошкодженнями несучих металевих конструкцій напіввагонів були:

наскрізна корозія двотаврової балки хребтової балки;

тріщини, наскрізна корозія або корозія яка перевищую 30% номінальної товщини вертикального листа шкворневих балок;

обрив поперечних стойок від поперечних балок;

обрив шкворневих стойок від шкворневих балок;

обрив поперечних балок від хребтової балки;

деформації та тріщини поперечних балок;

корозія яка перевищує 30% номінальної товщини вертикального листа поперечних балок

деформації та тріщини верхньої обв'язки бокових стін;

деформація та тріщини нижньої обв'язки бокових стін;

наскрізна корозія кутових стойок;

наскрізна корозія обшиви бокових стін;

деформація торцевих стін.

Пошкодження несучих металевих конструкцій напіввагонів (тріщини, деформації та обриви) можна усунути підчас деповського[12] або капітального [11] ремонту.

Порядок виявлення і усунення хімічних пошкоджень у вигляді корозії несучих металевих конструкцій ускладнюється завдяки проведенню низки додаткових заходів.

Для проведення оцінки корозії несучих металевих конструкцій було відібрано 10 напіввагонів моделей 12-532 та 12-757 різних років побудови та різними датами останнього ремонту (табл. 1).

*Таблиця 1.* **Основна інформація для відібраних вагонів**

| № п/п | Номер вагона | Модель вагона | Рік будови | Вид вантажу, що перевозиться | Вид і дата останнього ремонту |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **66605643** | 12-532 | 1984 | сипучий і штучний вантаж | ДР 10.10.2015 |
| 2 | **67370684** | 12-532 | 1986 | сипучий і штучний вантаж | ДР 05.09.2016 |
| 3 | **60614906** | 12-757 | 1992 | сипучий і штучний вантаж | ДР 06.10.2016 |
| 4 | **65382004** | 12-757 | 1996 | сипучий і штучний вантаж | ДР 22.09.2016 |
| 5 | **66039512** | 12-532 | 1982 | сипучий і штучний вантаж | ДР 20.09.2016 |
| 6 | **63949218** | 12-757 | 1988 | сипучий і штучний вантаж | ДР 30.03.2017 |

*Закінчення таблиці 1*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | **66820150** | 12-532 | 1983 | сипучий і штучний вантаж | ДР 30.05.2013 |
| 8 | **65303380** | 12-757 | 1994 | сипучий і штучний вантаж | ДР 26.12.2013 |
| 9 | **60856036** | 12-532 | 1985 | сипучий і штучний вантаж | ДР 14.10.2014 |
| 10 | **67659037** | 12-757 | 1990 | сипучий і штучний вантаж | ДР 19.04.2017 |

Техніко-економічні характеристики напіввагонів моделей 12-532 та 12-757 подані в табл. 2.

*Таблиця 2.* **Основні техніко-економічні характеристики напіввагонів моделей 12-532 та 12-757**

| Основні технічні відомості | Модель напіввагона | |
|---|---|---|
| | **12-532** | **12-757** |
| Рік початку побудови | 1973 | 1986 |
| Рік закінчення побудови | 1988 | 1998 |
| Завод-виробник | 5 (Уралвагонзавод) | 27 (Крюківський вагонобудівний завод) |
| Вантажопідйомність, т | 63, 64, 69 | 69 |
| Маса- тара вагону (min /max), т | 21,9/22,8; 21,1/23,1; 22,2/23,2 | 23,8/25 |
| Обсяг кузова, м3: | 73; 73; 74 | 85 |
| Габарит (розмір) | 0-ВМ (01-Т) | 1-ВМ (0-Т) |
| Довжина, мм:<br>- по осях зчеплення автозчепів<br>- по кінцевим балкам рами | <br>13920<br>12700 | <br>13920<br>12800 |
| Ширина максимальна, мм | 3134 | 3220 |
| Висота від рівня верху головок рейок, мм:<br>- максимальна<br>- до нижньої обв'язки | <br>3484<br>1416 | <br>3746<br>1423 |

Для виявлення хімічних пошкоджень несучих металевих конструкцій вагонів підчас технічного діагностування проводять заміри товщин стінок несучих конструкцій за допомого ультразвукових товщиномірів із занесенням фактичних значень до відповідних карт контролю вантажного вагона. Після чого проводиться статистичний аналіз фактичної товщини елемента конструкції $S_ф$ і фактичних замірів товщин стінок несучих металевих конструкцій $S_{ном}$ з номінальними товщинами, закладеними при виробництві несучих металевих конструкцій вантажного вагона. На основі отриманих замірів визначається відсоток корозійного пошкодження

$$S_{кор} = 100 - \left( \frac{S_ф \cdot 100}{S_{ном}} \right), \% \quad (1)$$

і фактична швидкість корозії

$$V_{кор} = \frac{S_{ном} - S_ф}{T}, \text{ мм/рік}, \quad (2)$$

де $S_{ном}$ – номінальна товщина елемента конструкції за результатами вимірювань, мм;

$S_ф$ – фактична товщина елемента конструкції за результатами вимірювань, мм;

$T$ – термін служби вагона до моменту проведення вимірювань, років.

Для визначення фактичного корозійного пошкодження та фактичної швидкість корозії елементу несучої металевої конструкції проведемо розрахунок за формулами (1) та (2) на прикладі вертикального листа шкворневої балки вагона **66605643 (**$S_{\text{ном}} = 8{,}0$ мм; $S_{ф} = 4{,}2$ мм)

$$S_{кор} = 100 - \left( \frac{S_{ф} \cdot 100}{S_{ном}} \right) = 100 - \left( \frac{4{,}2 \cdot 100}{8{,}0} \right) = 47{,}5\ \%,$$

$$V_{кор} = \frac{S_{ном} - S_{ф}}{T} = \frac{8{,}0 - 4{,}2}{35} = 0{,}108 \text{ мм/рік}$$

Результати розрахунків фактичної корозії та фактичної швидкості корозії елементів несучих металевих конструкцій для 10 відібраних вагонів наведені в табл. 3 та табл. 4.

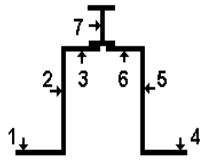
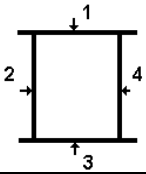
Статистичний аналіз корозійного зносу несучих металевих конструкцій показує, що найбільшу (100%) корозію несучої металевої конструкції має двотаврова балка хребтової балки. Достатньо велику корозію має вертикальний лист шкворневої балки - від 40 до 50%.

Також можна виділити декілька конструктивних елементів, корозія яких досягає 43%:

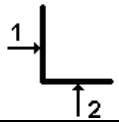
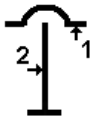
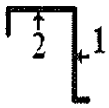
кінцева балка – від 0 до 26%;
стойки проміжні – від 1 до 18%;
нижня обв'язка бокових стін – від 5 до 43 %;
поперечні балки – від 1,4 до 43 %;
стойки кутові – від 0 до 32%.

Швидкість $V_{кор}$ корозії елементу несучої металевої конструкції дуже сильно різняться в залежності від років побудови вагона. Наприклад, для вагона №63949218 швидкість корозії вертикального листа поперечної балки складає $V_{кор} = -0{,}006$. Це показує, що поперечна балка була замінена підчас планового ремонту.

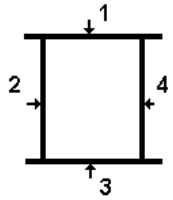
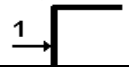
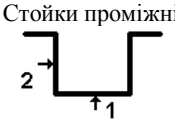
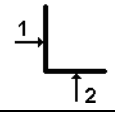
*Таблиця 3.* **Результати розрахунків фактичної корозії та фактичної швидкості корозії елементів несучих металевих конструкцій відібраних вагонів**

| Схематичне зображення елементів вагона | Контрольна точка | **66605643** | | **67370684** | | **60614906** | | **65382004** | | **66039512** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ |
| Хребтова балка:   | 1 | 7,50 | 0,034 | 9,38 | 0,045 | 1,95 | 0,015 | 4,88 | 0,043 | 11,25 | 0,049 |
| | 2 | **6,67** | 0,017 | 17,78 | 0,048 | 4,17 | 0,019 | 3,33 | 0,017 | 10,00 | 0,024 |
| | 3 | 10,48 | 0,031 | 15,24 | 0,048 | 4,62 | 0,022 | 1,54 | 0,009 | 13,33 | 0,038 |
| | 4 | 7,50 | 0,034 | 10,00 | 0,048 | 0,98 | 0,007 | 1,95 | 0,017 | 10,00 | 0,043 |
| | 5 | 7,78 | 0,020 | 16,67 | 0,045 | 5,83 | 0,026 | 5,00 | 0,026 | 1,11 | 0,003 |
| | 6 | 7,62 | 0,023 | 16,19 | 0,052 | 7,69 | 0,037 | 3,85 | 0,022 | 14,29 | 0,041 |
| | 7 | 100,0 | 0,200 | 100,0 | 0,212 | 100,0 | 0,333 | 100,0 | 0,391 | 100,0 | 0,189 |
| Шкворнева балка:   | 1 | 8,00 | 0,023 | 12,00 | 0,036 | - | - | 7,00 | 0,030 | - | - |
| | 2 | 47,50 | 0,109 | 46,25 | 0,112 | 100,0 | 0,296 | 41,25 | 0,143 | 100,0 | 0,216 |
| | 3 | 10,00 | 0,034 | 13,33 | 0,048 | - | - | 6,67 | 0,035 | - | - |
| | 4 | 46,25 | 0,106 | 46,25 | 0,112 | 100,0 | 0,296 | 43,75 | 0,152 | 100,0 | 0,216 |
| | 1 | 9,00 | 0,026 | 16,00 | 0,048 | - | - | 10,00 | 0,043 | - | - |
| | 2 | 48,75 | 0,111 | 18,75 | 0,045 | 100,0 | 0,296 | 37,50 | 0,130 | 100,0 | 0,216 |
| | 3 | 48,33 | 0,166 | 48,33 | 0,176 | - | - | 6,67 | 0,035 | - | - |
| | 4 | 21,25 | 0,049 | 45,00 | 0,109 | 100,0 | 0,296 | 17,50 | 0,061 | 100,0 | 0,216 |
| Кінцева балка: | 1 | -34,29 | -0,069 | 21,43 | 0,045 | 3,75 | 0,011 | 22,50 | 0,078 | 22,86 | 0,043 |
| | 1 | -20,00 | -0,040 | 22,86 | 0,048 | 8,75 | 0,026 | 22,50 | 0,078 | 25,71 | 0,049 |

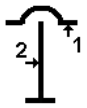
*Закінчення таблиці 3*

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Стійки проміжні: | 1 | 9,00 | 0,026 | 15,00 | 0,045 | 7,69 | 0,037 | 11,54 | 0,065 | 8,00 | 0,022 |
| | 2 | 6,67 | 0,017 | 16,67 | 0,045 | 8,89 | 0,030 | 7,78 | 0,030 | 10,00 | 0,024 |
| | 1 | 9,00 | 0,026 | 16,00 | 0,048 | 3,85 | 0,019 | 10,00 | 0,057 | 6,00 | 0,016 |
| | 2 | 6,67 | 0,017 | 18,89 | 0,052 | 6,67 | 0,022 | 5,56 | 0,022 | 7,78 | 0,019 |
| Нижня обв'язка:  | 1 | 9,00 | 0,026 | 17,00 | 0,052 | 36,00 | 0,133 | 7,00 | 0,030 | 10,00 | 0,027 |
| | 2 | 7,00 | 0,020 | 17,00 | 0,052 | 45,00 | 0,167 | 10,00 | 0,043 | 16,00 | 0,043 |
| | 1 | 6,00 | 0,017 | 16,00 | 0,048 | 40,00 | 0,148 | 6,00 | 0,026 | 9,00 | 0,024 |
| | 2 | 7,00 | 0,020 | 17,00 | 0,052 | 43,00 | 0,159 | 4,00 | 0,017 | 20,00 | 0,054 |
| Поперечні основні балки:  | 1 | - | - | 18,75 | 0,045 | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 12,86 | 0,026 | 22,86 | 0,048 | 22,86 | 0,059 | 41,43 | 0,126 | 28,57 | 0,054 |
| | 1 | - | - | 21,25 | 0,052 | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 8,57 | 0,017 | 22,86 | 0,048 | 14,29 | 0,037 | 44,29 | 0,135 | 25,71 | 0,049 |
| | 1 | - | - | 18,75 | 0,045 | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 11,43 | 0,023 | 24,29 | 0,052 | 25,71 | 0,067 | 14,29 | 0,043 | 27,14 | 0,051 |
| | 1 | - | - | 20,00 | 0,048 | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 12,86 | 0,026 | 24,29 | 0,052 | 8,57 | 0,022 | 12,86 | 0,039 | 27,14 | 0,051 |
| Стойки кутові:  | 1 | 16,00 | 0,023 | 32,00 | 0,048 | 24,00 | 0,089 | 10,00 | 0,043 | 20,00 | 0,027 |
| | 2 | 18,00 | 0,026 | 30,00 | 0,045 | 10,00 | 0,037 | 9,00 | 0,039 | 32,00 | 0,043 |
| | 1 | 18,00 | 0,026 | 34,00 | 0,052 | 17,00 | 0,063 | 2,00 | 0,009 | 22,00 | 0,030 |
| | 2 | 14,00 | 0,020 | 30,00 | 0,045 | 16,00 | 0,059 | 19,00 | 0,083 | 28,00 | 0,038 |

*Таблиця 4.* **Результати розрахунків відібраних вагонів**

| Перетин елемента вагона | Кон. точка | **63949218** | | **66820150** | | **65303380** | | **60856036** | | **67659037** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ | $S_{кор}$ | $V_{кор}$ |
| Хребтова балка: | 1 | 1,95 | 0,013 | 3,75 | 0,017 | 6,34 | 0,052 | 0,63 | 0,003 | 3,90 | 0,028 |
| | 2 | 1,67 | 0,006 | 4,44 | 0,011 | 15,83 | 0,076 | 3,33 | 0,009 | 2,50 | 0,010 |
| | 3 | 0,77 | 0,003 | 2,86 | 0,008 | 12,31 | 0,064 | 4,76 | 0,015 | 5,38 | 0,024 |
| | 4 | 0,49 | 0,003 | 0,63 | 0,003 | 6,34 | 0,052 | 2,50 | 0,012 | 3,41 | 0,024 |
| | 5 | 1,67 | 0,006 | 3,33 | 0,008 | 13,33 | 0,064 | 7,78 | 0,021 | 5,00 | 0,021 |
| | 6 | -0,77 | -0,003 | 3,81 | 0,011 | 10,77 | 0,056 | 5,71 | 0,018 | 4,62 | 0,021 |
| | 7 | **100,00** | **0,290** | **100,0** | **0,194** | **100,0** | **0,360** | **100,0** | **0,206** | **100,0** | **0,310** |
| Шкворнева балка:  | 1 | 2,00 | 0,006 | - | - | - | - | - | - | 7,00 | 0,024 |
| | 2 | 7,50 | 0,019 | 100,0 | 0,222 | 100,0 | 0,320 | 100,0 | 0,235 | 5,00 | 0,014 |
| | 3 | 1,67 | 0,006 | - | - | - | - | - | - | 5,83 | 0,024 |
| | 4 | 1,25 | 0,003 | 100,0 | 0,222 | 100,0 | 0,320 | 100,0 | 0,235 | 8,75 | 0,024 |
| | 1 | -8,00 | -0,026 | - | - | - | - | - | - | 7,00 | 0,024 |
| | 2 | 2,50 | 0,006 | 100,0 | 0,222 | 100,0 | 0,320 | 100,0 | 0,235 | 3,75 | 0,010 |
| | 3 | 0,83 | 0,003 | - | - | - | - | - | - | 5,00 | 0,021 |
| | 4 | 2,50 | 0,006 | 100,0 | 0,222 | 100,0 | 0,320 | 100,0 | 0,235 | 7,50 | 0,021 |
| Кінцева балка:  | 1 | 2,50 | 0,006 | 20,00 | 0,039 | 10,00 | 0,032 | 5,71 | 0,012 | 5,00 | 0,014 |
| | 1 | 1,25 | 0,003 | 8,57 | 0,017 | - | - | 12,86 | 0,026 | 8,75 | 0,024 |
| Стойки проміжні:  | 1 | 2,31 | 0,010 | 10,00 | 0,028 | 6,15 | 0,032 | 2,00 | 0,006 | 5,38 | 0,024 |
| | 2 | - | - | 6,67 | 0,017 | 6,67 | 0,024 | 1,11 | 0,003 | 7,78 | 0,024 |
| | 1 | 0,77 | 0,003 | 12,00 | 0,033 | 6,92 | 0,036 | 2,00 | 0,006 | 5,38 | 0,024 |
| | 2 | - | - | 10,00 | 0,025 | 17,78 | 0,064 | 13,33 | 0,035 | 8,89 | 0,028 |
| Нижня обв'язка:  | 1 | 18,00 | 0,058 | 16,00 | 0,044 | 6,00 | 0,024 | 9,00 | 0,026 | 7,00 | 0,024 |
| | 2 | 16,00 | 0,052 | 17,00 | 0,047 | 17,00 | 0,068 | 10,00 | 0,029 | 7,00 | 0,024 |
| | 1 | 7,00 | 0,023 | 15,00 | 0,042 | 13,00 | 0,052 | 9,00 | 0,026 | 3,00 | 0,010 |
| | 2 | 24,00 | 0,077 | - | - | 19,00 | 0,076 | 5,00 | 0,015 | 4,00 | 0,014 |

*Закінчення таблиці 4*

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Поперечні основні балки:  | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 8,57 | 0,021 |
| | 2 | 2,86 | 0,006 | 48,57 | 0,094 | 25,71 | 0,072 | 14,29 | 0,029 | 4,29 | 0,010 |
| | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 8,57 | 0,021 |
| | 2 | -2,86 | -0,006 | 51,43 | 0,100 | 24,29 | 0,068 | 10,00 | 0,021 | 4,29 | 0,010 |
| | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,29 | 0,010 |
| | 2 | -2,86 | -0,006 | 37,14 | 0,072 | 21,43 | 0,060 | 14,29 | 0,029 | 5,71 | 0,014 |
| | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,29 | 0,010 |
| | 2 | 1,43 | 0,003 | 41,43 | 0,081 | 18,57 | 0,052 | 2,86 | 0,006 | 4,29 | 0,010 |
| Стойки кутові: | 1 | -1,00 | -0,003 | 100,0 | 0,139 | 7,00 | 0,028 | 20,00 | 0,029 | 7,00 | 0,024 |
| | 2 | 2,00 | 0,006 | 100,0 | 0,139 | 17,00 | 0,068 | - | - | 4,00 | 0,014 |
| | 1 | 4,00 | 0,013 | 100,0 | 0,139 | 10,00 | 0,040 | 6,00 | 0,009 | 4,00 | 0,014 |
| | 2 | 3,00 | 0,010 | 100,0 | 0,139 | 16,00 | 0,064 | - | - | 3,00 | 0,010 |

Основні елементи вантажних вагонів виготовляють головним чином із низьколегованих сталей з гарантованим складом міді (09Г2Д, 09Г2СД, 10Г2С1Д, 10ХСНД,15ХСНД, 10ХНДП) [17]. Тому швидкість корозії хребтової балки з номінальною товщинною 16,0…20,5 мм під час експлуатації в нормальних умовах в середньому становить 0,05 мм/рік.

Окрім хребтової балки, вагон складається з інших несучих конструкцій, які мають набагато більшу швидкість корозії. Двотаврова балка має 100% корозію з середньою швидкістю корозії 0,2 мм/рік при нормальних умовах експлуатації. Але в агресивному середовищі швидкість корозії збільшується в 1,5 рази і становить 0,3…0,4 мм/рік. Так наприклад, через десять років експлуатації вагонів завдяки дії високих температур вантажу, кліматичних умов та обривів кріплень люків виникають тріщини на двотавровій балці, які обумовлюють виникнення наскрізної корозії.

Аналіз швидкості виникнення корозії показує, що:

шкворнева балка – 0,1…0,15 мм/рік, в п’яти випадках «–» свідчить про наявність наскрізної корозії;

кінцева балка – 0,1 мм/рік;

стійка проміжна – 0,07 мм/рік;

нижня обв’язка – 0,17 мм/рік;

балка поперечна – 0,14 мм/рік;

стійка кутова – 0,14 мм/рік.

З дослідження вагону №66605643 найбільший корозійний знос мають вертикальний лист шкворневої балки 48,75% та двотаврова балка 100%. Корозія всіх інших елементів не перевищує 25%. Це дає можливість безпечно експлуатувати вантажний вагон за умови заміни пошкоджених елементів.

Значний відсоток вагонів експлуатується з корозією деяких елементів несучих металевих конструкцій більше 30%. Це показує можливість збільшення допуску порога корозійного зносу вагонів, що дасть можливість зменшити виключення вантажних вагонів з інвентарного парку. Для такої оцінки потрібно провести роботи з випробувань кожного елемента несучих металевих конструкцій, оскільки кожний елемент має різний вплив середовища та різну несучу спроможність.

**Висновки.** Великий влив на корозію мають не вчасно виявлені тріщини та злами, які в процесі експлуатації переходять в наскрізну корозію. Для визначення корозійного сносу вантажного вагона потрібно індивідуальний підхід до кожного елемента несучих конструкцій вагона з врахуванням експлуатаційних показників та часу проведеного ремонту.

Дослідження показали, що половина вантажних вагонів експлуатувалось з корозією деяких елементів несучих металевих конструкцій більше 30%. Це показує можливість збільшення допуску порога корозійного зносу вагонів, який впливатиме на можливість зменшити виключення вантажних вагонів з інвентарного парку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інформація про Українські залізниці. URL.: https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainski-zaliznici.html.

2. Пояснювальна записка до консолідованого проекту фінансового плану ПАТ «Українська залізниця» на 2016 рік. URL.: https://mtu.gov.ua/news/26510.html.

3. Пояснювальна записка до консолідованого проекту фінансового плану ПАТ «Українська залізниця» на 2017 рік. URL.: https://mtu.gov.ua/news/29134.html.

4. Единые методические указания по техническому диагностированию грузовых и рефрижераторных вагонов государств-участников Соглашений о совместном использовании грузовых и рефрижераторных вагонов в международном сообщении. URL.: https://www.ldz.lv/lv/system/files/13_KV_Padome_52_7%20v_Piel.%2039.pdf.

5. Положение о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении. Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 14 мая 2010 года. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_539.

6. Сапронова, С.Ю., Буліч, Д.І., Ткаченко, В.П. Продовження терміну експлуатації вантажних вагонів. *Вісник СНУ ім. В.Даля*. 2017. №3(233). С. 158−162.

7. РД 24.050.37-90. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. Москва, 1990. 37 с.

8. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. Москва, 1995. 102 с.

9. Сапронова, С.Ю., Кошель, О.О., Ткаченко, В.П., Буліч, Д.І., Радкевич, М.М. Аналіз методів продовження терміну служби вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: Вид-во ДУІТ, 2019. №1(33). 118-129. DOI: https://doi.org/10.32703/617-9040-2019-33-1-11.

10. Петренко, В.О., Буліч, Д.І. Оцінка стану несучих конструкцій вантажних вагонів з продовженим терміном служби. *Залізничний транспорт України*. Київ: Вид-во філії «НДКТІ», 2017. №1(122). С.48-52.

11. Вагони вантажні залізничного транспорту колії 1520 (1524) мм. Настанова з капітального ремонту. СТП 04-016: 2018. Київ: Девалта, 2018. 150 с.

12. Вагони вантажні залізниць України колії 1520 (1524 ) мм. Настанова з деповського ремонту. ВНД УЗ 32.2.04.037-2013. ЦВ-0142. Наказ № 468-Ц/од 26.12.2013. Київ: Девалта, 2014. 159 с.

13. Ануфрієв В.Г., Донєв О.А., Мацюк А.С., Оберняк С.М. Аналіз виникнення несправностей та зносу елементів шкворневої балки піввагону. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2012. Вип. 41. С. 7-10.

14. Бондарєв О.М., Горобець В.Л., Мямлін С.В. Методика та дослідження з продовження терміну служби несучих конструкцій тягового рухомого складу для промислового транспортую. *Наука та прогрес транспорту*, 2014. № 2 (50). С. 130-151.

15. Горобець В.Л., Бондарєв О.М., Скобленко В.М. Аналіз експлуатаційної наробки несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації. *Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2010. Вип. 35. С. 10-16.

16. Третьяков А.В. Продление сроков службы подвижного состава (история, текущее состояние, проблемы и перспективы). *Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : сб. науч. ст. Петербург. гос. ун-т путей сообщ*. Санкт-Петербург, 2011. Вып. 6. С. 41-44.

17. Герасименко А.А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: справочник. Москва, 1987. 688 с.

18. Недужа Л.О., Швець А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 1 (73). С. 131-147.

19. Большаков В.І., Дрожевська Г.В., Узлов О.В., Пучіков О.В. Дослідження корозійної стійкості перспективних Низьколегованих конструкційних сталей. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. № 7-8 (209). С. 10-21.

20. *Кошель, О.О.,* Сапронова, С.Ю., Буліч, Д.І., Ткаченко, В.П. Визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій вагонів хопер-дозаторів та думпкарів (самоскидів) на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології»*. Київ: ДУІТ, 2020. Вип.35. С.14-23. DOI: https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2.

## REFERENCES

1. Informatsiya pro ukrayins′ki zaliznytsi. [Information about Ukrainian railways]. (in Ukrainian). URL.: https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainski-zaliznici.html.

2. Poyasnyuval′na zapyska do konsolidovanoho proektu finansovoho planu PAT “Ukrayins′ka zaliznytsya” na 2016 rik. [Explanatory note to the consolidated draft financial plan of PJSC "Ukrainian Railways" for 2016]. (in Ukrainian). URL.: https://mtu.gov.ua/news/26510.html.

3. Poyasnyuval′na zapyska do konsolidovanoho proektu finansovoho planu PAT “Ukrayins′ka zaliznytsya” na 2017 rik. [Explanatory note to the consolidated draft financial plan of PJSC "Ukrainian Railways" for 2017]. (in Ukrainian). URL.: https://mtu.gov.ua/news/29134.html.

4. Yedinyye metodicheskiye ukazaniya po tekhnicheskomu diagnostirovaniyu gruzovykh i refrizheratornykh vagonov gosudarstv-uchastnikov Soglasheniy o sovmestnom ispol'zovanii gruzovykh i refrizheratornykh vagonov v mezhdunarodnom soobshchenii. [Unified guidelines for technical diagnostics of freight and refrigerated wagons of the states parties to the Agreements on the joint use of freight and refrigerated wagons in international traffic]. (in Russian).
URL.: https://www.ldz.lv/lv/system/files/13_KV_Padome_52_7%20v_Piel.%2039.pdf.

5. Polozheniye o prodlenii sroka sluzhby gruzovykh vagonov, kursiruyushchikh v mezhdunarodnom soobshchenii. Utverzhdeno Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva ot 14 maya 2010 goda. [Regulation on the extension of the service life of freight cars plying in international traffic. Approved by the Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States on May 14, 2010]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_539. (in Russian).

6. Sapronova, S.Yu., Bulich, D.I. & Tkachenko, V.P. (2017). Prodovzhennya terminu ekspluatatsiyi vantazhnykh vahoniv. [Extension of service life of freight cars].*Visnyk SNU im. V. Dalya. [Bulletin of the EUNU named after Vladimir Dahl]. 3(233).* 158−162. (in Ukrainian).

7. RD 24.050.37-90. Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost' i khodovyye kachestva. [Freight and passenger cars. Test methods for strength and driving performance]. Moscow, 1990. 37 p. (in Russian).

8. RD 24.050.37-95. Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost' i khodovyye kachestva. [Freight and passenger cars. Test methods for strength and driving performance]. Moscow, 1995. 102 c. (in Russian).

9. Sapronova, S.Y., Koshel, O.O., Tkachenko, V.P., Bulich, D.I. & Radkevich M.M. (2019). Analiz metodiv prodovzhennya terminu sluzhby vantazhnykh vahoniv. [Analysis of methods for extending the service life of freight cars]. *Transportni systemy i tekhnolohiyi. [Transport Systems and Technologies]. 1(33).* 118-129. https://doi.org/10.32703/617-9040-2019-33-1-11. (in Ukrainian).

10. Petrenko, V.O. & Bulich, D.I. (2017). Otsinka stanu nesuchykh konstruktsiy vantazhnykh vahoniv z prodovzhenym terminom sluzhby. [Assessment of the condition of load-bearing structures of freight cars with extended service life]. *Zaliznychnyy transport Ukrayiny. [Railway transport of Ukraine]. №1(122).* 48-52. (in Ukrainian).

11. Vahony vantazhni zaliznychnoho transportu koliyi 1520 (1524) mm. Nastanova z kapital′noho remontu. STP 04-016: 2018. [Freight cars of rail transport of a track of 1520 (1524) mm. Guidelines for overhaul. STP 04-016: 2018]. Kiev: Devalta,2018. 150 p. (in Ukrainian).

12. Vahony vantazhni zaliznyts′ Ukrayiny koliyi 1520 (1524 ) mm. Nastanova z depovs′koho remontu. VND UZ 32.2.04.037-2013. TSV-0142. [Freight cars of the railways of Ukraine of a track of 1520 (1524) mm. Guidelines for depot repairs. GNI UZ 32.2.04.037-2013. ІЦВ-0142]. Kiev: Devalta, 2014. 159 p. (in Ukrainian).

13. Anufriev V.G., Donev O.A., Matsyuk A.S. & Obernyak S.M. (2012). Analiz vynyknennya nespravnostey ta znosu elementiv shkvornevoyi balky napivvahonu. [Analysis of malfunctions and wear of the elements of the pivot beam of the gondola]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Academician V. Lazaryan]. 41.* 7-10. (in Ukrainian).

14. Bondarev O.M., Gorobets V.L. & Myamlin S.V. (2014). Metodyka ta doslidzhennya z prodovzhennya terminu sluzhby nesuchykh konstruktsiy tyahovoho rukhomoho skladu dlya promyslovoho transportuyu. [Methods and research to extend the service life of load-bearing structures of traction rolling stock for industrial transport*]. Nauka ta prohres transportu [Science and progress of transport]. 2(50).* 130-151. (in Ukrainian).

15. Gorobets V.L., Bondarev O.M. & Skoblenko V.M. (2010). Analiz ekspluatatsiynoyi narobky nesuchykh konstruktsiy rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennya terminu yoho ekspluatatsiyi . [Analysis of operational life of bearing structures of rolling stock in the tasks of extending its service life]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazaryana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Academician V. Lazaryan]. 35*. 10-16. (in Ukrainian).

16. Tretyakov A.V. (2011). Prodleniye srokov sluzhby podvizhnogo sostava (istoriya, tekushcheye sostoyaniye, problemy i perspektivy). [Extension of the service life of rolling stock (history, current state, problems and prospects).] *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty: sbornik nauchnykh statey Peterburskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects: collection of scientific articles of the St. Petersburg State University of Railways] 6.* 41-44. (in Russian).

17. Gerasimenko A.A. Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdenii mashin, oborudovaniya i sooruzheniy: spravochnik. [Protection against corrosion, aging and bio-damage of machines, equipment and structures: a reference book]. Moscow, 1987. 688. (in Russian).

18. Neduzha L.O. & Shvets A.O. (2018). Teoretychni ta eksperymental′ni doslidzhennya mitsnisnykh yakostey khrebtovoyi balky vantazhnoho vahona. *Nauka ta prohres transportu [Science and progress of transport]. 1(73).* 131-147. (in Ukrainian).

19. Bolshakov V.I., Drozhevskaya G.V., Uzlov O.V. & Puchikov O.V. (2015). Doslidzhennya koroziynoyi stiykosti perspektyvnykh nyz′kolehovanykh konstruktsiynykh staley. [Investigation of corrosion resistance of promising low-alloy structural steels]. Visnyk Prydniprovs′koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury. [Bulletin of the Dnieper State Academy of Civil Engineering and Architecture] 7-8 (209). 10-21. (in Ukrainian).

20. Koshel O.O., Sapronova S.Y., Bulich D.I. & Tkachenko V.P. (2020). Vyznachennya zalyshkovoho resursu nesuchykh metalevykh konstruktsiy vahoniv khoper-dozatoriv ta dumpkariv (samoskydiv) na osnovi rezul′tativ tekhnichnoho diahnostuvannya ta typovykh vyprobuvan′. [Determination of the residual life of load-bearing metal structures of hopper dispensers and dump trucks (dump trucks) based on the results of technical diagnostics and standard tests]. *Transportni*

*systemy i tekhnolohiyi. [Transport Systems and Technologies]. 35.* 14-23. URL: https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2. (in Ukrainian).

***Булич Дмитрий, аспирант***
***(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)***
***Сапронова Светлана, д.т.н., проф.***
***(доктор технических наук, профессор, Государственный университет инфраструктуры и технологий)***
***Ткаченко Виктор, д.т.н., проф.***
***(доктор технических наук, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав железных дорог», Государственный университет инфраструктуры и технологий)***
***Кошель Алексей, аспирант***
***(аспирант, Государственный университет инфраструктуры и технологий)***

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА НЕСУЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДОЛЖЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ

*Коррозионному износу подлежат все элементы несущих металлических конструкций грузовых вагонов. В данной статье проведен статистический анализ коррозионного износа для каждого элемента несущих металлических конструкций. Рассмотрены повреждения несущих металлических конструкций полувагонов с учетом коррозионного износа. Предложены меры увеличения возможного предельного коррозионного износа, которые могут быть использованы для прогнозирования остаточного ресурса и конструктивной доработки элементов несущих металлических конструкций.*

***Ключевые слова:*** *грузовой вагон, несущие металлические конструкции, коррозионный износ, повреждения, техническое диагностирование.*

***Dmitry Bulich, graduate student***
***(graduate student, State University of Infrastructure and Technology)***
***Svetlana Sapronova, prof.***
***(Doctor of Technical Sciences, Professor, State University of Infrastructure and Technology)***
***Victor Tkachenko, prof.***
***(Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technologies)***
***Alexey Koshel, graduate student***
***(graduate student, State University of Infrastructure and Technology)***

## INVESTIGATION OF CORROSION WEAR OF SUPPORTING METAL STRUCTURES OF FREIGHT CARS DURING MEASURES TO EXTEND THE TERM OF SERVICE

*All elements of load-bearing metal structures of freight cars are subject to corrosion wear. In this article, a statistical analysis of corrosion wear for each element of load-bearing metal structures. Damage to load-bearing metal structures of gondola cars taking into account corrosion wear is considered. Measures to increase the possible maximum corrosion wear, which can be used to predict the residual life and structural finishing of the elements of load-bearing metal structures. Cracks and fractures that are not detected in time, which turn into through-corrosion during operation, have a great impact on corrosion. To determine the corrosion of the freight car requires an individual approach to each element of the load-bearing structures of the car, taking into account the performance and time of repair.Studies have shown that half of freight cars were operated with corrosion of some elements of load-bearing metal structures more than 30%. This shows the possibility of increasing the tolerance of the threshold of corrosion wear of cars, which will affect the ability to reduce the exclusion of freight cars from the inventory.*

***Keywords:*** *freight car, bearing metal structures, corrosion wear, damage, technical diagnostics.*