

УДК 629.45

Радкевич Микола, 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)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЧНОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕКУПЕЙНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ПОБУДОВИ КВЗ

У статті проведено дослідження залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій (НМК) пасажирських вагонів на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. Зроблено висновок про те, що стан несучих металевих конструкцій пасажирських вагонів побудови Крюківського вагонобудівного заводу (КВЗ) після тривалої експлуатації не наближається до граничного. Отримані практичні та теоретичні результати дають змогу продовжити термін служби пасажирським вагонам побудови КВЗ понад встановлений заводом-виробником.

Ключові слова: *некупейний пасажирський вагон, несучі металеві конструкції, контрольні випробування, залишковий ресурс.*

Вступ. У зв'язку зі скороченням інвентарного парку пасажирських вагонів після досягнення нормативного терміну служби, закупівлею в недостатній кількості нових вагонів був викликаний дефіцит парку пасажирських вагонів. Комплекс робіт з продовження терміну служби передбачений методикою технічного діагностування пасажирських вагонів, що вислужили призначений термін [1, 13], та нормативними документами. Але ні існуюча методика не враховує деяких особливостей пошкодження елементів конструкції у період експлуатації. У таких випадках звичайні засоби технічного діагностування згідно з [1] не дають змогу повною мірою оцінити ймовірність продовження терміну служби вагона.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Ресурс (техніка) – наробіток пристрою (механізму) від початку його експлуатації або після ремонту і до досягнення їм граничного стану, який визначається нормативно-технічною документацією [15, 2]. Для різних механізмів ресурс може виражатися в різних одиницях вимірювання, наприклад, в годинах роботи, кілометрах пробігу, роках, тощо. Залишковий ресурс – сумарний наробіток, що прогнозується за результатами технічного діагностування обладнання, від початку контролю його технічного стану до переходу у граничний стан [15].

Обґрунтування необхідності уточнення терміну продовження корисної експлуатації пасажирських вагонів розглядалися як в Україні так і в закордонних публікаціях [16,17]. В науковому дослідженні [3] обґрунтовано продовження терміну служби пасажирських вагонів з осередками корозії хребтової балки. Розробка рекомендацій із продовження терміну корисної експлуатації пасажирських вагонів розглянуто в роботі [4]. В роботах [5, 6, 7] досліджувалися проблеми та особливості технічного діагностування пасажирських вагонів. А в [8, 9],

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-6

виконувались числові розрахунки на базі скінченно-елементної моделі з оцінкою міцності по I та III розрахункових режимах. Далі з урахуванням попередніх результатів виконувались розрахунки втомної пошкодженості елементів конструкції для оцінки залишкового терміну служби. Крім того, в [8] були виконані розрахунки для нових вагонів і вагонів з мінімальними товщинами елементів (внаслідок корозії) та розрахунковим шляхом був встановлений суттєвий вплив механічних або зварних пошкоджень (підрізів), залежно від розмірів останніх, на термін служби вагонів.

В більшості перерахованих наукових публікаціях досліджується збільшення строку експлуатації різних типів пасажирських вагонів шляхом удосконалення їх конструктивних властивостей.

Дослідження залишкового ресурсу вантажних вагонів в Україні проводиться філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» публічного акціонерного товариства «Українська залізниця»

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є проведення дослідження залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій (НМК) некупейного пасажирського вагона побудови КВЗ із строком служби, що перетнув 41 рік від дати виготовлення для встановлення можливості подальшого продовження строку служби

Завданням дослідження є визначення залишкового ресурсу НМК некупейного пасажирського вагона побудови КВЗ із строком служби, що перетнув 41 рік від дати виготовлення для оцінки показників міцності та опору втомі методами технічного діагностування та типових випробувань.

Матеріали та методи дослідження. Найбільш поширеними вагонами, які використовуються в пасажирських перевезеннях є вагони відкритого типу побудови КВЗ (рис. 1).

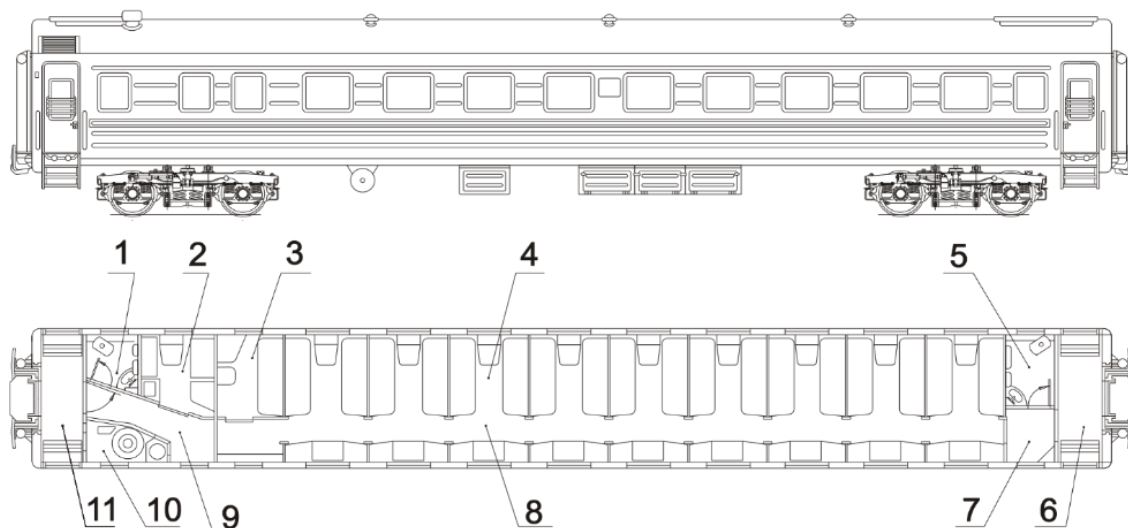


Рис. 1. Пасажирський некупейний вагон

- 1, 5 – туалетні відділення; 2 – службове приміщення; 3 – купе для провідників;
4 – дев'ять шестимісних пасажирських відділень; 6, 11 – два тамбури;
7, 9 – два малі коридори; 8 – коридор вздовж вагона

Рама складається з хребтової балки, що проходить по всій довжині кузова, двох шворневих, трьох поперечних і двох кінцевих балок. Хребтова балка складається з трьох частин: середня полегшена зроблена з швелера №30 (ГОСТ 8240-72), а кінцеві посилені – з швелера № 30 В-1 (ГОСТ 5267-63). Стики частин хребтової балки розташовані між шворневою і встановленими поблизу них поперечними балками. Стики косі і виконані в різних поперечних площинах рами. Шворневі балки зварені з вертикальних стінок, перекритих верхніми і нижніми листами товщиною 10 мм. Спільно вони утворюють закрите коробчатий змінний перетин. Всі поперечні балки штамповані з листа товщиною 6 мм. Для кінцевих балок застосований швелер, частини якого знизу і зверху підсилюють листами, підкріпленими косинцями і ребрами жорсткості.

Настил підлоги покладений над рамою і приварений до неї електродуговим зварюванням. Настил включає три металевих листа, один з яких, має товщину 2 мм і для збільшення жорсткості має поздовжні гофри. Кінцеві листи гладкі, їх товщина 3 мм. Бічними обвязками рами служать гарячекатаний зетподібний профіль (100x75x75x6,5 мм) [10, 12].

Використані методи випробувань для пасажирського некупейного вагона:

скидання з клинів – оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах НМК рами і кузова вагона. В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагона визначені види коливання при проході і скиданні вагона з клинів;

ресурсні випробування на міцність при зіткненні – визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в НМК рами та кузова вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання [2, 13, 14];

випробування на співудар, проведені шляхом накочування локомотивом вагона-бойка на дослідний вагон, який знаходиться в підпертому та вільному станах. Співудари при типових випробуваннях проводились за швидкостями, які указані в табл. 1;

статичні випробування на міцність – визначення напруженого стану, деформацій, стійкості елементів конструкції кузова, рами вагона та рами візка з реально наявними товщинами на період обстеження при дії статично прикладеного навантаження.

На рис. 2 наведено схеми установки тензорезисторів на рамі пасажирського вагона відповідно при проведенні контрольних випробувань.

На підставі проведення технічного діагностування та типових випробувань визначається можливість встановлення нового призначеного терміну служби вагонів [10].

Таблиця 1. Кількість співударів вагона в кожному стані

Діапазон швидкості зіткнення, км/год	Кількість співударів	
	Підпертий стан	Вільний стан
Від 3 до 6 вкл.	3	3
Від 6 до 10 вкл.	3	3
Від 10 до 12 вкл.	1	1

Залишковий ресурс встановлювався по одному з мінімальних розрахункових значень, отриманих за математичною залежністю для розрахунку залишкового терміну служби. Якщо за результатами розрахунків виявиться, що ресурс вичерпаний, то залишковий термін служби визначається за результатами стендових випробувань на втому.

При визначенні залишкового ресурсу під час типових випробувань проводилась оцінка показників запасу опору втомі з врахуванням напруження несучих конструкцій вагону під час випробувань.

Оцінку запасу опору втомі проведено таким чином:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n], \quad (1)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу та сталого режиму навантаження на базі випробування $N_0=10^7$ циклів, МПа.

$\sigma_{a,e}$ – розрахункове значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до бази N_0 , еквіваленте за пошкоджуваною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби, МПа.

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

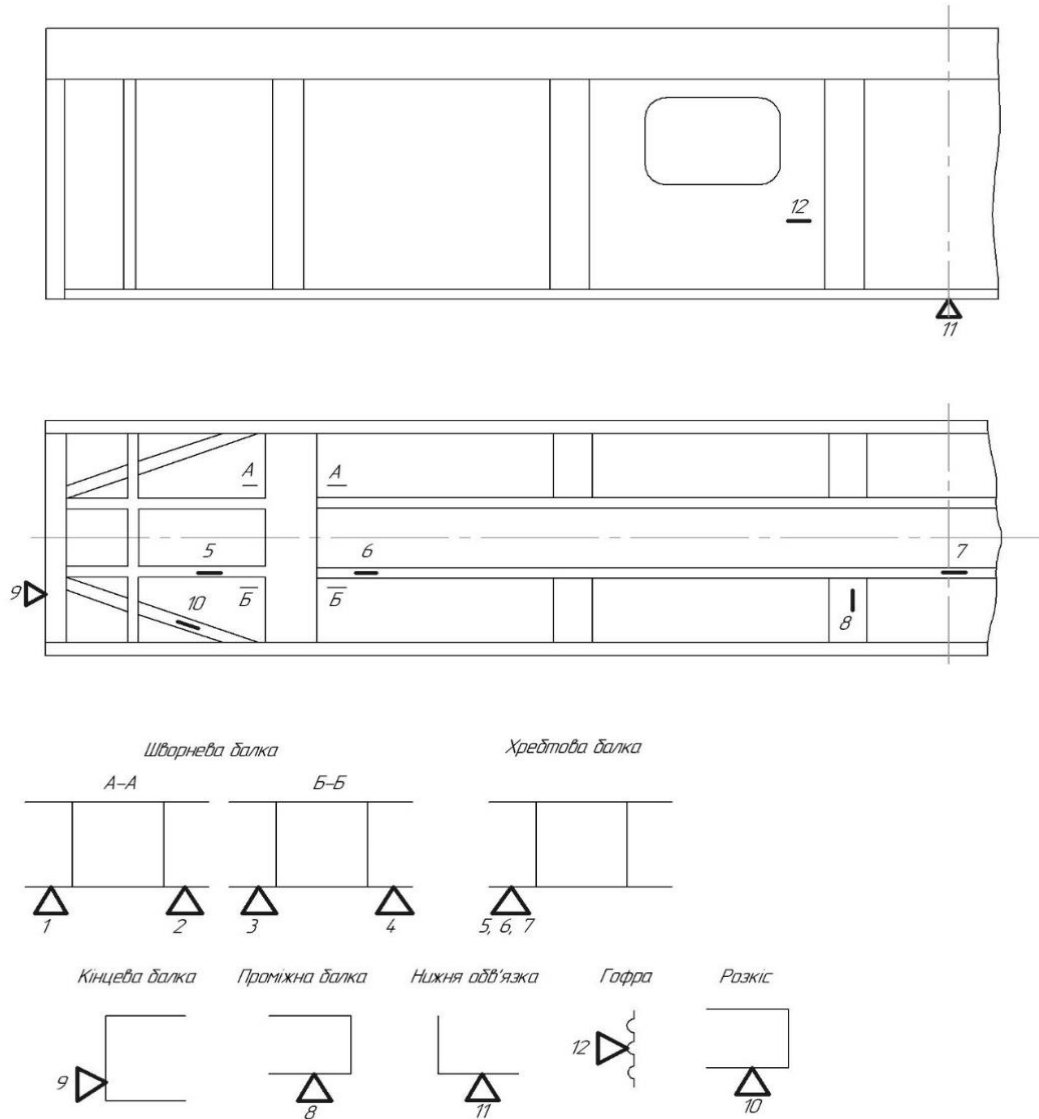


Рис. 2. Схема встановлення тензорезисторів на несучих металевих конструкціях вагона

Розрахункове значення границі витривалості визначається за формулою

$$\sigma_{a,N} = \overline{\sigma_{a,N}} \times (1 - z_p \times \vartheta_{\sigma_{a,N}}), \quad (2)$$

де $\overline{\sigma_{a,N}}$ – середнє (медіанне) значення границі витривалості дослідного зразка;

$z_p = 1,645$ – квантиль розподілу, що відповідає односторонній ймовірності $P = 0,95$;

$\vartheta_{\sigma_{a,N}} = 0,5$ – коефіцієнт варіації границі витривалості.

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{(K_\sigma)_K}, \quad (3)$$

де $\sigma_{-1} = 170$ МПа – границя витривалості;

$(K_\sigma)_K$ – значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі згідно [2] для зон:

- 1, 2, 3, 4 складає 2,8;
- 5, 6, 7 складає 2,45;
- 8, 9, 10 складає 3,0;
- 11 складає 2,8.

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{N_c}{N_0} \times \sum \sigma^m P}, \quad (4)$$

де $N_0 = 10^7$ – базова кількість циклів;

m – показник ступеню в рівнянні кривої втоми у амплітуді;

N_c – сумарна кількість циклів динамічних напружень на розрахунковий термін служби.

Приймається фактичний термін служби – 41 рік;

$\sigma^m P$ – значення рівня напружень з урахуванням її масової долі під час експлуатації.

$$m = \frac{A}{(K_b)_k}, \quad (5)$$

де A – коефіцієнт згідно [11];

$(K_b)_k$

m – 4 згідно з [11].

$$N_c = \mathcal{G}_e \times T_p, \quad (6)$$

де T_p – сумарний час дії динамічних напружень.

$$T_p = B \times T_K, \quad (7)$$

де B – коефіцієнт переводу календарного розрахункового строку служби у роках в час неперервного руху в секундах;

T_K – фактичний сумарний час дії динамічних напружень, $T_K = 41$ рік;

$$\mathcal{G}_e = \frac{a}{2\pi} \times \sqrt{\frac{g}{f_{CT}}}, \quad (8)$$

де $a = 1,1$ – коефіцієнт для кузова вагона;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

f_{CT} – статичний прогин підвішування.

$$B = 365 \times \frac{10^3 \overline{L_c}}{V}, \quad (9)$$

де $\overline{L_c}$ – 904 км – середньодобовий пробіг некупейного пасажирського вагона;

V – 25 м/с, середня швидкість поїзда;

Розрахункові значення n – коефіцієнта запасу опору втомі у дослідних місцях вагону згідно ДСТУ 7774:2015 [11] приведено у табл. 3.

Таблиця 3. Розрахункові значення n у дослідних місцях вагона

Номер каналу	Напруження від сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитамиці з урахуванням повного завантаження вагона, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагону з локомотивом, гальмування, співударів, з урахуванням її масової долі під час експлуатації, МПа	Запас опору втомі n
1	13,69	9,13	1,74
2	17,80	11,87	1,62
3	13,30	8,87	1,91
4	18,43	12,29	1,61
5	11,44	7,63	1,48
6	10,59	7,06	1,41
7	5,23	3,49	3,21
8	8,28	5,52	1,90
9	3,9	2,6	3,35
10	4	2,67	3,11
11	6,18	4,12	2,37
12	5,01	3,34	3,33

Допустиме напруження матеріалу несучих конструкцій складає: $0,9\sigma_T = 221$ МПа згідно [11]. Зона 6 дослідного вагону має сумарний рівень напружень 213,69 МПа та не перевищує значення допустимих напружень для нових та модернізованих вагонів (табл. 4).

Таблиця 4. Сумарні значення напружень у дослідних місцях вагону в рамках І режиму

Номер каналу	Напруження від власних сил тяжіння конструкції (тари), обладнання, пасажирів, багажу та ін., МПа	Напруження від сил, що виникають під час руху вагона під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитамиці, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів, у тому числі аварійних зіткнень (250 т.), МПа	Сумарні значення напружень, МПа
1	10,9	9,13	180,63	200,66
2	10,9	11,87	78,25	101,02
3	10,9	8,87	134,68	154,45
4	10,9	12,29	58,36	81,55
5	10,9	7,63	138,47	157
6	10,9	7,06	195,73	213,69
7	10,9	3,49	64,75	79,14
8	10,9	5,52	49,51	65,93
9	10,9	2,6	58,12	71,62
10	10,9	2,67	69,84	83,41
11	8,3	4,12	57,56	69,98
12	-	3,34	32,31	35,65

Враховуюче те, що одночасне поєднання максимальних повздовжніх (250 т на автозчепному пристрою) та вертикальних навантажень є рідким поєднанням несприятливих факторів

(частість сил складає 0,0000001), подальша безпечна експлуатація вагонів некупейних побудови КВЗ можлива за межами 41 року від побудови при періодичному технічному діагностуванні несучих конструкцій.

Висновки. За результатами проведених досліджень, було визначено, що стан несучих металевих конструкцій пасажирських вагонів побудови КВЗ після тривалої експлуатації не наближається до граничного.

Таким чином, отримані практичні та теоретичні результати дають можливість продовжувати строк служби пасажирських вагонів побудови КВЗ понад 41 рік від побудови при періодичному технічному діагностуванню несучих конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження: ЦІ-0070. Київ: Нескінчене джерело, 2008. 60 с.
2. 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>.
3. Мямлін, С.В., Рейдемейстер, О.Г., Пуларія, А.Л., Калашник В.О. Обґрунтування продовження терміну служби пасажирських вагонів з осередками корозії хребтової балки. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2015. № 5. С. 132-140.
4. Мямлін, С.В., Рейдемейстер, О.Г., Пуларія, А.Л., Калашник В.О. Розробка рекомендацій із продовження терміну корисної експлуатації пасажирських вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2015. № 6(60). doi: <https://doi.org/10.15802/stp2015/57096>.
5. Мямлин, С.В., Анофриев, В.Г., Пулария А.Л. Диагностирование подвижного состава с целью продления срока службы. *Материали LXVI Міжнарод. науч.-практ. конф. «Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта» (11.05–12.05 2006)*. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Днепропетровск, 2006. С. 108-109.
6. Мямлин, С.В., Пулария, А.Л. Проблемы технического диагностирования пассажирских вагонов. *Материали Міжнар. наук. - техн. конф. «Розвиток наукової школи трансп. механіки»*. Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2013. С. 65-67.
7. Мямлин, С.В., Анофриев, В.Г., Пулари, А.Л. Особенности технического диагностирования подвижного состава. *Материали I Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми та ефективні шляхи ремонту і відновлення залізничного рухомого складу»*. Київ: ДП «ПВІТБ «Київдипротранс», 2006. С. 16-17.
8. Шикун, О.А., Рейдемейстер, О.Г., Анофриев, В.Г. Дослідження граничного стану пасажирських вагонів. *Вагонний парк*. 2012. № 12. С. 4-6.
9. Мямлин, С.В., Горобец, В.Л. Научные методы оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. Дніпропетровськ, 2011. № 8. С. 12-17.
10. НДКТІ/НВЦ УІ 005-19. «Дослідження залишкового ресурсу та встановлення граничного терміну експлуатації некупейних пасажирських вагонів побудови КВЗ». Київ: НДКТІ, 2020.
11. ДСТУ 7774:2015. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахунку та проектування механічної частини вагонів. Київ, 2015.
12. Сапронова, С.Ю., Кошель, О.О., Ткаченко, В.П., Будіч, 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/10.32703/2617-9040-2019-33-1-11>.
13. Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку: ЦІ-0069. Київ: Нескінчене джерело, 2008. 40 с.
14. Програма і методика проведення ударних ресурсних випробувань пасажирських вагонів, що виступили призначений термін служби: узгодж. ЦІ, ЦРБ, ЦТехУкрзалізниці та УкрНДІВ: ПМ 01-13/ВЛІВ. Дн -ськ, 2013. 16 с.
15. Политехнический словарь: редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ПИО Большая Российская Энциклопедия, 2000. 656 с.
16. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012)*. Karabük University. Istanbul. 19. 579-586.
17. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. (2011). Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *Intern. J. of Crashworthiness*. London. Vol. 16. Iss. 3. 319–329. doi: 10.1080/13-588265.2011.566475.

REFERENCES

1. Methods of technical diagnostics of passenger cars that have served the appointed period, in order to extend it: CL-0070.(2008) Kyiv: Infinite Source. 60 p.
2. Koshel O.O., Sapronova S.Y., Bulich D.I. & Tkachenko V.P. (2020). Vyznachennya zalyshkovoho resursu nesuchykh metalevykh konstruktiv vagoniv 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. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>. (in Ukrainian).
3. Myamlin, S.V., Reidemeister, O.H., Pulariya, A.L., Kalashnik V.O. (2015). Obhruntuvannya prodovzhennya terminu sluzhby pasazhyr'skykh vagoniv z oseredkamy koroziyi khrebtovoyi balky. [Rationale for extending the service life of passenger cars with spinal corrosion beams]. *Nauka ta prohres transportu. [Science and progress of transport]*. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk. 5. 132-140. (in Ukrainian).
4. Myamlin, S.V., Reydemeyster, O.H., Pulariya, A.L., Kalashnyk V.O. (2015). Rozrobka rekomendatsiy iz prodovzhennya terminu korysnoyi ekspluatatsiyi pasazhyr'skykh vagoniv. [Development of recommendations for extending the useful life of passenger cars]. *Nauka ta prohres transportu. [Science and progress of transport]*. Visnyk Dnipropetrovs'koho natsional'noho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. № 6(60). doi: <https://doi.org/10.15802/stp2015/57096>. (in Ukrainian).
5. Myamlin, S.V., Anofriyev, V.G., Pulariya A.L. (2006). Diagnostirovaniye podvizhnogo sostava s tsel'yu prodleniya sroka sluzhby. [Diagnosis of rolling stock for the purpose of prolonging the service life]. *Materiali LXVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta» (11.05-12.05 2006)*. Dnepropetrovskiy natsional'nyy universitet zheleznodorozhnogo transporta imeni akademika V. Lazaryana. Dnepropetrovsk. [Materials LXVI Int. scientific-practical conf. "Problems and Prospects for the Development of Railway Transport" (11.05–12.05 2006). Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Dnepropetrovsk]. Dnepropetrovsk. 108–109. (in Russian).
6. Myamlin, S.V., Pulariya, A.L. (2013). Problemy tekhnicheskogo dyagnostyrovannya passazhyr'skykh vagonov. [Problems of the technology diagnostics of passenger wagons]. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Rozvytok naukovo-y shkoly transportnoyi mekhaniky»*. [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Development of the Scientific School of Transport Mechanics"]. Dnipropetrovsk, P. 65–67. (in Russian).
7. Myamlyn, S.V., Anofriyev, V.H., Pulariya, A.L. (2006). Osobennosti tekhnicheskogo dyagnostyrovannya podvizhnogo sostava. [Features of technical diagnostics of rolling stock]. *Materialy 1 Mizhnarodnoyi naukovo-y konferentsiyi «Suchasni problemy ta efektyvni shlyakhy remontu i vidnovlennya zaliznychnoho rukhomoho skladu»*. [Proceedings of the 1st International Scientific Conference "Modern Problems and Effective Ways of Repair and Restoration of Railway Rolling Stock"]. Kyiv: State Enterprise PVITB Kyivdiprotrans. 16-17. (in Russian).
8. Shykunov, O.A., Kydemeyster, O.H., Anofriyev, V.H. (2012). Doslidzhennya hranychnoho stanu pasazhyr'skykh vagoniv. [Investigation of the limit state of passenger cars]. *Vahonnyy park. [Car park.]* 12. C. 4-6. (in Ukrainian).
9. Myamlyn, S.V., Horobets V.L. (2011). Nauchnye metody otsenky resursa nesushchykh konstruktivnykh podvizhnogo sostava. [Scientific methods for assessing the service life of rolling stock bearing structures]. *Visnyk sertyfikatsiyi zaliznychnoho transportu. [Bulletin of railway transport certification]*. Dnipropetrovsk. 8. 12-17. (in Ukrainian).
10. NDKTI / NVC UI 005-19. Doslidzhennya zalyshkovoho resursu ta vstanovlennya hranychnoho terminu ekspluatatsiyi nekupeynykh pasazhyr'skykh vagoniv pobudovy KVZ. [Study of the residual resource and the establishment of the service life of non-compartment passenger cars for the construction of KVZ]. Kyiv: NDKTI, 2020. (in Ukrainian).
11. DSTU 7774: 2015. Vahony pasazhyr'ski mahistral'ni lokomotyvnoyi tyahy. Zahal'notekhnichni normy dlya rozrakhuvannya ta proektuvannya mekhanichnoyi chastyny vagoniv. [Passenger cars of main locomotive traction. General technical standards for the calculation and design of the mechanical part of cars]. Kyiv, 2015. (in Ukrainian).
12. Sapronova, S.Y., Koshel, O.O., Tkachenko, V.P., Bulich, D.I. & Radkevich M.M. (2019). Analiz metodiv prodovzhennya terminu sluzhby vantazhnykh vagoniv. [Analysis of methods for extending the service life of freight cars]. *Transportni systemy i tekhnolohiyi. [Transport Systems and Technologies]*. 1(33). 118-129. doi: <https://doi.org/10.32703/617-9040-2019-33-1-11>. (in Ukrainian).
13. Pravyla vyklyuchennya pasazhyr'skykh vagoniv iz inventarnoho parku: TSL–0069. [Rules for exclusion of passenger cars from the inventory: CL-0069]. Kyiv: Neskinchene dzherelo, 2008. 40 p. (in Ukrainian).
14. Prohrama i metodyka provedennya udarnykh resursnykh vyprobuvan' pasazhyr'skykh vagoniv, shcho vysluzhyly pryznachenny termin sluzhby: uzgodzh. TSL, TSRB, TSTekhUkrzaliznytsi ta UkrNDIV: PM 01-13/VLV. [The program and a technique of carrying out shock resource tests of the passenger cars which have served the appointed service life: coordination. CL, CRH, CTechUkrzaliznytsia and UkrNDIV: PM 01-13 / VLV]. Dnipropetrovsk, 2013. 16 s. (in Ukrainian).
15. Polytechnic Dictionary / Editor .: A.Yu. Ishlinsky (ed.), etc. 3rd ed., reworked. and ext. M .: P50 Bolshaya Rossiyskaya Entsiklopediya, 2000. 656 s.
16. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *Intern. Iron & Steel Symposium (02.04–04.04.2012)*. Karabük University. Istanbul. 19. 579-586.

17. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdag, E. [et al.]. (2011). Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *Intern. J. of Crashworthiness*. London. Vol. 16. Iss. 3. 319–329. doi: 10.1080/13-588265.2011.566475.

Радкевич Николай, аспирант
(аспирант Государственного университета 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)

ИЗУЧЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И УСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ НЕКУПЕЙНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ СТРОИТЕЛЬСТВА КВЗ

В статье проведено исследование остаточного ресурса несущих металлических конструкций (НМК) пассажирских вагонов на основе результатов технического диагностирования и типовых испытаний. Сделан вывод о том, что состояние несущих металлических конструкций пассажирских вагонов построенных на Крюковском вагоностроительном заводе (КВЗ) после длительной эксплуатации не приближается к предельному. Полученные практические и теоретические результаты позволяют продлить срок службы пассажирским вагонам производства КВЗ сверх установленного заводом-изготовителем.

Ключевые слова: некупейный пассажирский вагон, несущие металлические конструкции, контрольные испытания, остаточный ресурс.

Nikolay Radkevich, Graduate student,
(Graduate student, State University of Infrastructure and Technologies)
Svitlana Sapronova, D.T.S., Prof.,
(Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technologies)
Victor Tkachenko, prof.
(Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technologies)

STUDY OF RESIDUAL RESOURCE AND ESTABLISHMENT OF THE LIMIT LIFE OF NON-PURCHASER PASSENGER CARS OF CONSTRUCTION OF KVZ

In order to ensure the uninterrupted performance of passenger traffic, the task of ensuring the operation of rolling stock outside the extended service life, including passenger cars for the carriage of passengers, remains relevant. Based on this, there is a need for comprehensive research aimed at substantiating the possibility of ensuring operation while maintaining dynamic and strength characteristics. The article examines the residual life of load-bearing metal structures of passenger cars based on the results of technical diagnostics and standard tests. It is concluded that the condition of the load-bearing metal structures of passenger cars built by the Kryukiv Carriage Plant (KCP) after long operation does not approach the limit. The obtained practical and theoretical results make it possible to extend the service life of passenger cars for the construction of KCP beyond the factory set by 41 years.

Keywords: passenger carriage, bearing metal structures, control tests, residual life.