

Микола Радкевич¹, Світлана Сапронова², Віктор Ткаченко³

¹ Кафедра вагонів та вагонного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9598-5022> ORCID:

² Кафедра вагонів та вагонного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. <https://orcid.org/0000-0002-1482-1665>

³ Кафедра тягового рухомого складу залізниць, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

Автор, відповідальний за листування: doc.sapronova@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ СПЕЦІАЛЬНИХ ВАГОНІВ

В статті проведено дослідження залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій (НМК) спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту на основі результатів технічного діагностування та типових випробувань. В більшості наукових публікацій досліджується збільшення строку експлуатації різних типів пасажирських вагонів шляхом удосконалення їх конструктивних властивостей. В дослідженні використовуються наступні методи: скидання з клинів, ресурсні випробування на міцність при зіткненні, випробування на співудар, статичні випробування на міцність. На підставі проведення технічного діагностування та типових випробувань визначається можливість встановлення нового призначеного терміну служби вагонів. Залишковий ресурс встановлювався по одному з мінімальних розрахункових значень, отриманих за математичною залежністю для розрахунку залишкового терміну служби. При визначенні залишкового ресурсу під час типових випробувань проводилась оцінка показників запасу опору втомі з врахуванням напруження несучих конструкцій вагону під час випробувань. Зроблено висновок про те, що стан несучих металевих конструкцій спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту після тривалої експлуатації не наближається до граничного. Отримані практичні та теоретичні результати дають змогу продовжити термін служби спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту понад встановлений заводом-виробником.

Ключові слова: спеціальні вагони, несучі металеві конструкції, контрольні випробування, залишковий ресурс.

Вступ. В зв'язку зі скороченням інвентарного парку спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту після досягнення нормативного терміну служби, закупівлею в недостатній кількості нових вагонів був викликаний їх дефіцит. 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] досліджувались проблеми та особливості технічного діагностування пасажирських вагонів. А в [8, 9], 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.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є проведення дослідження залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій (НМК) спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту із строком служби, що перетнув 41 рік від дати виготовлення для встановлення можливості подальшого продовження строку служби

Завданням дослідження є визначення залишкового ресурсу НМК спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту 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 для перевезення спецконтингенту, є вагони моделі 61-4500 (рис. 1).



Рис. 1. Вагон моделі 61-4500 для перевезення спецконтингенту

Для випробувань даного типу вагонів використовуються наступні методи [10, 12]:

скидання з клинів — оцінка власних частот коливань та динамічних напружень в елементах НМК рами і кузова вагона. Залежно 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 вагона відповідно при проведенні контрольних випробувань.

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

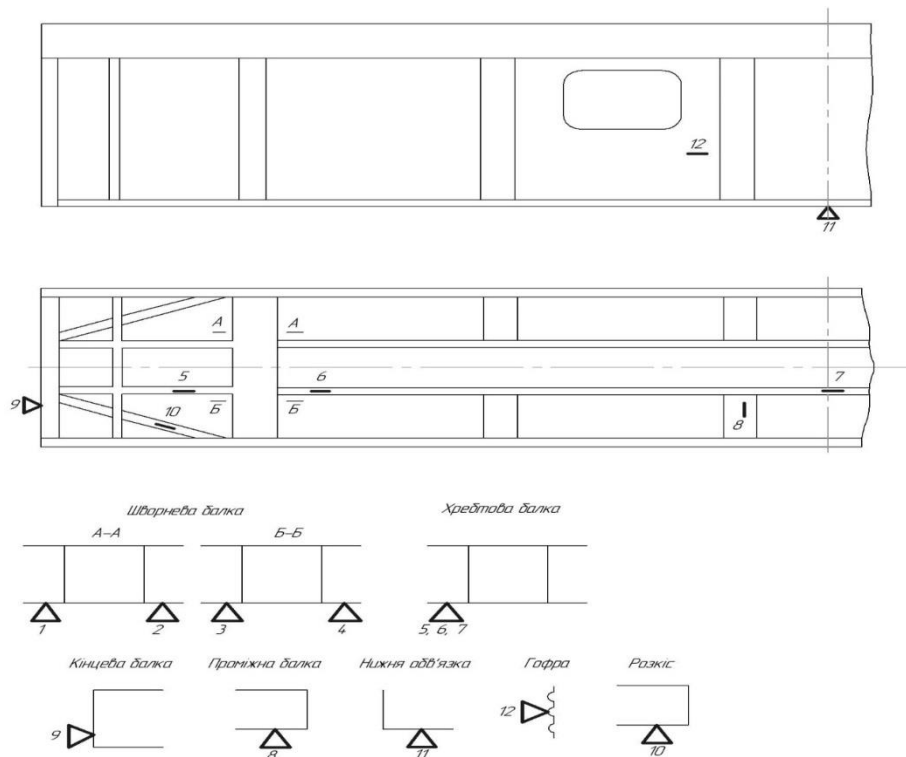


Рис. 2. Схема встановлення тензорезисторів на несучих металевих конструкціях вагона

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

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 проводилася оцінка показників запасу опору втомі з врахуванням напруження несучих конструкцій вагону під час випробувань.

Оцінку запасу опору втомі виконано завдяки умові:

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

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 пошкоджувальною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби, МПа.

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

Розрахункове значення границі витривалості визначається за формулою

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

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

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

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

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

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

$(K_\sigma)_K = 1,5$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі по відношенню до границі витривалості гладкого стандартного зразка [11].

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

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

m – показник ступеня 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];
 $(K_b)_k$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі по відношенню до границі витривалості гладкого стандартного зразка;
 m – 4 та 12 у залежності від типу конструкції згідно [11].

$$N_c = g_e \times T_p, \quad (6)$$

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;

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

де $a = 1,1$ – коефіцієнт для кузова вагона;
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;
 f_{CT} – статичний прогин підвишування.

$$B = 365 \times \frac{10^3 \bar{L}_c}{V}, \quad (9)$$

де \bar{L}_c – 126 км – максимальний середньодобовий пробіг вагону ЗАК;
 \bar{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. 2.

Таблиця 2. Розрахункові значення n у дослідних місцях вагона

Номер каналу	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, з урахуванням її масової частки під час експлуатації, МПа	Значення напружень $\sigma^m P$, МПа	Запас опору втомі n
1	2,32	10,92	13,24	4,26
2	3,74	10,58	14,32	3,94
3	5,51	12,07	17,58	3,21
4	5,32	18,41	23,73	2,38
5	7,04	58,21	65,25	1,32
6	6,16	30,06	36,22	2,34
7	2,92	20,80	23,72	2,38
8	7,38	11,85	19,23	2,93
9	1,8	6,72	8,52	6,62
10	1,48	10,66	12,14	4,64
11	3,01	19,44	22,45	2,51
12	3,63	12,19	15,82	3,56

Допустиме напруження матеріалу несучих конструкцій складає: $0,9\sigma_T = 221$ МПа згідно [11]. Зона 5 дослідного вагону має сумарний рівень напружень 245,37 МПа та перевищує значення допустимих напружень для нових та модернізованих вагонів на 11% (табл. 3).

Таблиця 3. Сумарні значення напружень у дослідних місцях вагону в рамках І режиму

Номер канала	Напруження від власних сил тягіння конструкції (тари), обладнання, пасажирів, багажу та ін., МПа	Напруження від сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підсакування, скручування кузова, галоупування та бокової хитаючі, МПа	Напруження сили взаємодії між вагонами, вагону з локомотивом, гальмування, співударів, у тому числі аварійних зіткнень (250 т.), МПа	Сумарні значення напружень, МПа
1	10,9	2,32	53,18	66,4
2	10,9	3,74	38,91	53,55
3	10,9	5,51	98,3	114,71
4	10,9	5,32	68,95	85,17
5	10,9	7,04	227,43	245,37
6	10,9	6,16	159,06	176,12
7	10,9	2,92	81,95	95,77
8	10,9	7,38	37,01	55,29
9	10,9	1,8	44,68	57,38
10	10,9	1,48	51,45	63,83
11	8,3	3,01	70,24	81,55
12	-	3,63	28,3	31,93

Враховуючи 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 спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту можлива за межами 41 року від побудови при зменшеному періодичному технічному діагностуванні несучих конструкцій в порівнянні із звичайним пасажирським вагоном.

Висновки. За результатами проведених досліджень, було визначено, що стан несучих металевих конструкцій спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту після тривалої експлуатації не наближається до граничного.

Таким чином, отримані практичні та теоретичні результати дають можливість продовжувати строк служби спеціальним вагонам для перевезення спецконтингенту понад 41 рік від побудови при періодичному технічному діагностуванню несучих конструкцій в не рідше ніж один раз на 2 роки компетентними, акредитованими організаціями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методика технічного діагностування пасажирських вагонів, що виступили призначений термін, з метою його продовження: ЦЛ-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 Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы 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 І Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми та ефективні шляхи ремонту і відновлення залізничного рухомого складу». Київ: ДП «ПВІТБ «Київдіпротранс», 2006. С. 16-17.
8. Шикунов, 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 008-19 «Дослідження залишкового ресурсу з метою продовження терміну служби спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту», НДКТІ, м.Київ, 2020.
11. ДСТУ 7774:2015. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частини вагонів. Київ, 2015.
12. Радкевич, М.М., Сапронова, С.Ю. Аналіз типових випробувань на співудар спеціальних вагонів для перевезення спецконтингенту з метою продовження терміну служби. Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», 01-02 грудня 2020 р. – Северодонецьк: Вид-во СНУ ім.В.Даля, 2020. – С. 130-132.
13. Правила виключення пасажирських вагонів із інвентарного парку: ЦЛ–0069. Київ: Нескінчене джерело, 2008. 40 с.
14. Програма і методика проведення ударних ресурсних випробувань пасажирських вагонів, що виступили призначений термін служби: узгодж. ЦЛ, ЦРБ, ЦТехУкрзалізниці та УкрНДІВ: ПМ 01-13/ВЛВ. Дніпропетровськ, 2013. 16 с.
15. Радкевич, М.М., Сапронова, С.Ю., Ткаченко, В.П. Дослідження залишкового ресурсу та встановлення граничного терміну експлуатації некупейних пасажирських вагонів побудови КВЗ. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2020. Вип. 36. С. 54-62.
16. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. 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. 2012. 19. 579-586.
17. Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, E. [et al.]. Railway passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. Intern. J. of Crashworthiness. London. 2011. Vol. 16. Iss. 3. 319–329. doi: 10.1080/13588265.2011.566475.

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 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. doi: https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2_(in Ukrainian).
3. Myamlin, S.V., Reidemeister, O.H., Pularia, A.L., Kalashnik V.O. (2015). Obhruntuvannya prodovzhennya terminu sluzhby pasazhyr's'kykh vahoniv 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 pasazhyrskikh vahoniv. [Development of recommendations for extending the useful life of passenger cars]. Nauka ta prohres transportu. [Science and progress of transport]. *Visnyk Dnipropetrovskoho 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 passazhyrskikh vahonov. [Problems of the technology diagnostics of passenger wagons]. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Rozvytok naukovoyi 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 I Mizhnarodnoyi naukovoyi 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 Kyivdiprotans. 16-17. (in Russian).
8. Shykunov, O.A., Reydemeyster, O.H., Anofriyev, V.H. (2012). Doslidzhennya hranychnoho stanu pasazhyrskikh vahoniv. [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 pasazhyrskikh vahoniv 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 pasazhyrskiy mahistral'ni lokomotyvnoyi tyahy. Zahal'notekhnichni normy dlya rozrakhuvannya ta proektuvannya mekhanichnoyi chastyny vahoniv. [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. Radkevich, M.M., Sapronova, S.Yu. Analiz tipovih viprobuvan' na spivudar special'nykh vagoniv dlya perevezennya speckontingentu z metoyu prodovzhennya terminu sluzhby (2020) [Analysis of typical tests for the co-production of special wagons for the transportation of special equipment in order to extend the service life]. *Zbirnik naukovihprac' naukovopraktichnoi konferentsiyi zdobuvachiv vishchoi osviti ta molodih vchenih «Logistichne upravlinnya ta bezpeka ruhu na transporti»*. [Collection of scientific works of scientific and practical conference of higher education applicants and young scientists "Logistic management and safety of traffic on transport"]. Severodonetsk. P 130-132. (in Ukrainian).
13. Pravyla vyklyuchennya pasazhyrskikh vahoniv 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' pasazhyrskikh vahoniv, 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. Radkevich, M.M., Sapronova, S.Yu., Tkachenko, V.P. (2020) Doslidzhennya zalishkovoho resursu ta vstanovlennya granichnogo terminu ekspluatatsiyi nekupeynykh pasazhyrskikh vagoniv pobudovy KVZ. [Study of residual resource and setting a lifetime limit for non-purchased passenger cars built by KVN] *Transportni systemy i tekhnolohiyi*. [Transport Systems and Technologies]. 36. 54-62. (in Ukrainian).
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.

Nikolay Radkevich¹, Svitlana Sapronova¹, Victor Tkachenko²

¹ Department of Railway carriage and Railway carriage property, State University of Infrastructure and Technologies, st. Kirilivska, m. Kyiv, 04071, Ukraine

² Department of Traction Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technologies, st. Kirilivska, m. Kyiv, 04071, Ukraine

INVESTIGATION OF RESIDUAL RESOURCE OF SPECIAL RAILWAY VAGON

The article examines the residual life of load-bearing metal structures (NMC) of special cars for the transportation of special contingent on the basis of the results of technical diagnostics and standard tests. Most scientific publications investigate the increase in the service life of different types of passenger cars by improving their design properties. The following methods are used in the study: resetting from wedges, resource tests for impact strength, impact tests, static strength tests. On the basis of carrying out technical diagnostics and standard tests the possibility of establishment of new appointed service life of cars is defined. The residual resource was set at one of the minimum calculated values obtained by mathematical dependence to calculate the residual service life. When determining the residual resource during the standard tests, the evaluation of the fatigue resistance margin was performed taking into account the stress of the load-bearing structures of the car during the tests.

It is concluded that the condition of load-bearing metal structures of special wagons for transportation of special contingent after long operation does not approach the limit. The obtained practical and theoretical results make it possible to extend the service life of special wagons for the transportation of special contingent beyond the established by the manufacturer.

Keywords: *special wagons, bearing metal structures, control tests, residual resource.*