

Микола Радкевич¹, Світлана Сапронова², Надія Брайковська³, Віктор Ткаченко⁴

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>

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

³ Кафедра вагонів та вагонного господарства, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1556-4020>

⁴ Кафедра електромеханіки та рухомого складу залізниць, Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

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

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Існуюча методика технічного діагностування пасажирських вагонів не дає можливості повною мірою оцінити ймовірність продовження терміну служби вагона, тому як не враховує особливостей пошкодження елементів конструкції у період експлуатації. В статті розглянуто послідовність дослідження напружень в елементах рами кузова пасажирського вагону побудови КВЗ на основі типових випробувань. Завданням дослідження є визначення послідовності розрахунку напружень в елементах рами кузова пасажирського вагону побудови КВЗ (Крюківського вагонобудівного заводу) із строком служби, що перетнув 41 рік від дати виготовлення для оцінки показників міцності та опору втомі методами технічного діагностування та типових випробувань. Зроблено висновок про те, що стан несучих металевих конструкцій вагонів після тривалої експлуатації не наближається до граничного. Залишковий ресурс встановлювався по одному з мінімальних розрахункових значень. Якщо за результатами розрахунків виявляється, що ресурс вичерпаний, то залишковий термін служби визначається за результатами стендових випробувань на втому. Отримані практичні та теоретичні результати дають змогу продовжити термін служби вагонів понад встановлений заводом-виробником.

Ключові слова: пасажирський вагон, діагностування, термін служби, напруження, момент інерції.

Вступ. У зв'язку зі скороченням інвентарного парку пасажирських вагонів після досягнення нормативного терміну служби, закупівлю в недостатній кількості нових вагонів, був викликаний дефіцит парку пасажирських вагонів. Комплекс робіт з продовження терміну служби передбачений методикою технічного діагностування пасажирських вагонів [1], що виступили призначений термін, та нормативними документами. Але 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. Граничний термін експлуатації пасажирських вагонів та візків (41 рік з дати побудови), встановлений відповідними розпорядчими документами АТ «Українська залізниця», є необґрунтованим.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Продовження терміну служби конкретного пасажирського вагона можна вважати повністю обґрунтованим лише у тому випадку, коли обґрунтованим є визначений за результатами науково-експериментальних досліджень та затверджений відповідними розпорядчими документами Укрзалізниці граничний термін експлуатації для вагонів даного типу. Зазначені науково-експериментальні дослідження для кожного типу кузова

вагона та візка, що знаходяться в експлуатації і граничний термін якого потрібно визначити, повинні складатися з наступних етапів: аналіз пошкоджень механічного та корозійного характеру з виявленням найбільш характерних для даного типу кузовів або візків за результатами обстеження вагонів, що виступили призначений термін, за останні 5 років; ресурсні випробування зразків (не менше трьох) металоконструкції кузова, рами та надресорної балки візка до початку руйнування основних несучих елементів; аналіз та оцінка результатів досліджень з встановленням граничного терміну експлуатації кожного типу кузова вагона та візка [13].

В роботах [12, 14] для оцінки ударостійкості за допомогою методів скінченних елементів моделюється зіткнення пасажирського вагона з твердою стіною. У аналізі використовується повнорозмірна детальна модель пасажирського вагону. Для підтвердження результатів моделювання, проводяться порівняння з експериментальними вимірюваннями перед проведенням аналізу зіткнення пасажирського вагона. В результаті моделювання дослідники отримують конструкцію пасажирського вагону з кращими властивостями ударостійкості. 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. Обґрунтування необхідності уточнення терміну продовження корисної експлуатації пасажирських вагонів розглядалися як в Україні так і в закордонних публікаціях [2, 7, 14]. В більшості перерахованих наукових публікаціях досліджується збільшення строку експлуатації різних типів пасажирських вагонів шляхом удосконалення їх конструктивних властивостей [12].

Дослідження залишкового ресурсу та продовження термінів служби пасажирських вагонів в Укрзалізниці проводиться філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» (НДКП) публічного акціонерного товариства «Українська залізниця» та Українським науково-дослідним інститутом вагонобудування (УкрНДВ) з розробкою нових методик його продовження та діагностування [9].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення напружень в елементах рами кузова некупеїного пасажирського вагона побудови КВЗ із строком служби, що перетнув 41 рік від дати виготовлення. Завданням дослідження є визначення послідовності розрахунку напружень в елементах рами кузова пасажирського вагону 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).

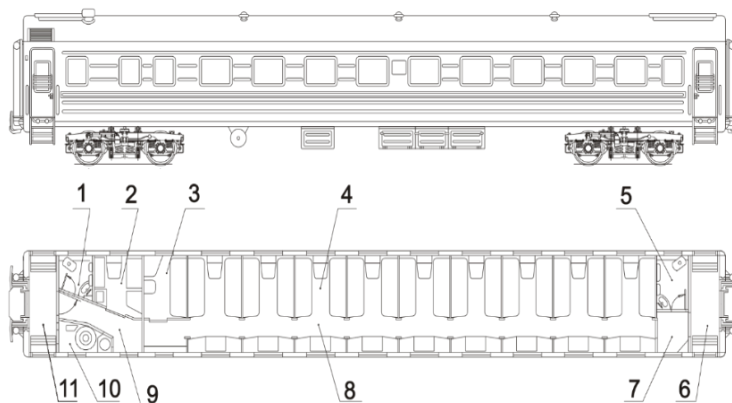


Рис. 1. Пасажирський некупеїний вагон:

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 обв'язками рами служать гарячекатаний зет-подібний профіль (100x75x75x6,5 мм) [9-11].

В науковому дослідженні [3] виконувалось визначення залишкового ресурсу спеціальних вагонів. Визначення залишкового ресурсу методом типових випробувань розглянуто в роботі [4, 5].

Для визначення напружень в елементах рами кузова пасажирського вагона розглянемо розрахунковий переріз кузова (рис. 2). Зведений розрахунок моменту інерції поперечного перерізу пасажирського вагона відобразимо в табл. 1.

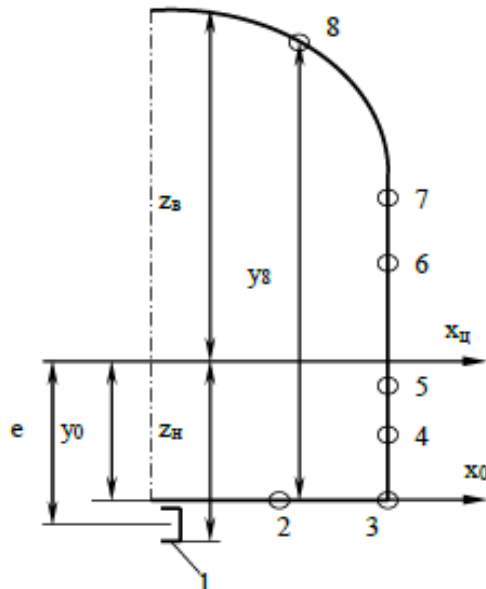


Рис. 2. Розрахунковий переріз пасажирського вагона:

- 1 – хребтова балка, 2 – гофр обшивки пола, нижня обв'язка кузова, 4 – гофр нижньої панелі, 5 – підвіконний пояс, 6 – надвіконний пояс, 7 – гофр верхньої панелі, 8 – гофр даху

Таблиця 1. Розрахунок моменту інерції поперечного перерізу пасажирського вагона

№№	F_i	J_i	y_i	a_i	S_i	J_2	J_3
1,00	87,28	12948,89	-14,11	76,46	-1231,83	510218,04	523166,93
2,00	3,90	6,00	0,00	62,34	0,00	15158,45	15164,45
3,00	3,90	6,00	0,00	62,34	0,00	15158,45	15164,45
4,00	3,90	6,00	0,00	62,34	0,00	15158,45	15164,45
5,00	3,90	6,00	0,00	62,34	0,00	15158,45	15164,45
6,00	3,90	6,00	0,00	62,34	0,00	15158,45	15164,45
7,00	3,90	6,00	0,00	62,34	0,00	15158,45	15164,45
8,00	19,80	331,00	4,00	58,34	79,20	67399,78	67730,78
9,00	3,90	58,60	26,00	36,34	101,40	5151,47	5210,07

Закінчення таблиці 1

10,00	3,90	58,60	46,00	16,34	179,40	1041,80	1100,40
11,00	3,90	58,60	64,00	1,66	249,60	10,69	69,29
12,00	3,90	58,60	80,00	17,66	312,00	1215,76	1274,36
13,00	3,90	58,60	94,00	31,66	366,60	3908,18	3966,78
14,00	10,98	91,80	108,00	45,66	1185,84	22887,43	22979,23
15,00	13,02	167,00	210,00	147,66	2734,20	283865,65	284032,65
16,00	3,90	6,00	230,00	167,66	897,00	109623,21	109629,21
17,00	3,90	6,00	320,00	257,66	1248,00	258907,68	258913,68
18,00	3,90	6,00	324,00	261,66	1263,60	267008,94	267014,94
19,00	3,90	6,00	328,00	265,66	1279,20	275235,01	275241,01
20,00	3,90	6,00	330,00	267,66	1287,00	279394,84	279400,84
21,00	3,90	6,00	332,00	269,66	1294,80	283585,88	283591,88
22,00	3,90	6,00	334,00	271,66	1302,60	287808,11	287814,11

В табл. 1: F_i – площа поперечного перетину елемента; J_i – власний момент інерції елемента; y_i – це координати центрів ваги елементів перерізу по осі y ; S_i – момент інерції по всій площі поперечного перерізу; a_i – відстань до осі x_c (центру мас); J_2 – додатковий момент інерції; J_3 – повний момент інерції; J_4 – повний момент інерції хребтової балки. Сумарні результати надані в табл. 2.

Таблиця 2. Сумарні значення

F	S	Y	J1	J2	J3	J4
201,2 8	12548,61 2	62,3440580 3	13909,6949 8	2748213,15 4	2762122,84 9	5524245,69

Розрахункова схема кузова зводиться до розрахунку балки на двох опорах (рис. 3):

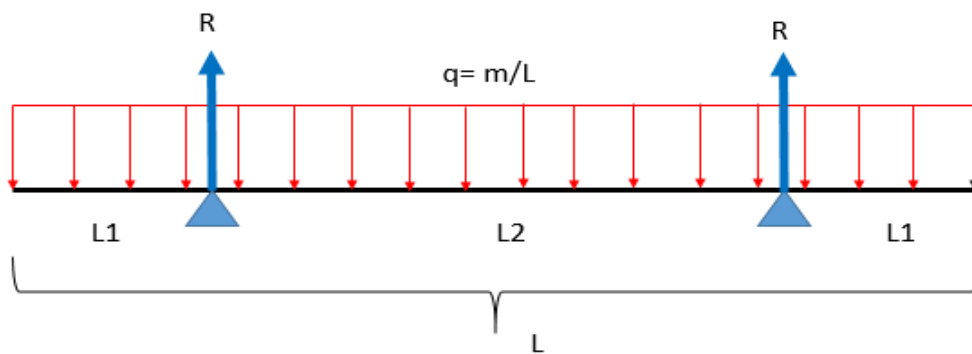


Рис. 3. Схема розрахунку кузова вагона

Найбільші напруження виникнуть в перетині А-А або Б-Б (рис. 4).

Реакції розрахункової схеми:

$$R = \frac{q(L2+2L1)}{2} \quad (1)$$

Момент в перетині А-А

$$M_{A-A} = -\frac{qL1^2}{2}. \quad (2)$$

Момент в перетині Б-Б

$$M_{B-B} = -\frac{q(L2^2-4L1^2)}{8}. \quad (3)$$

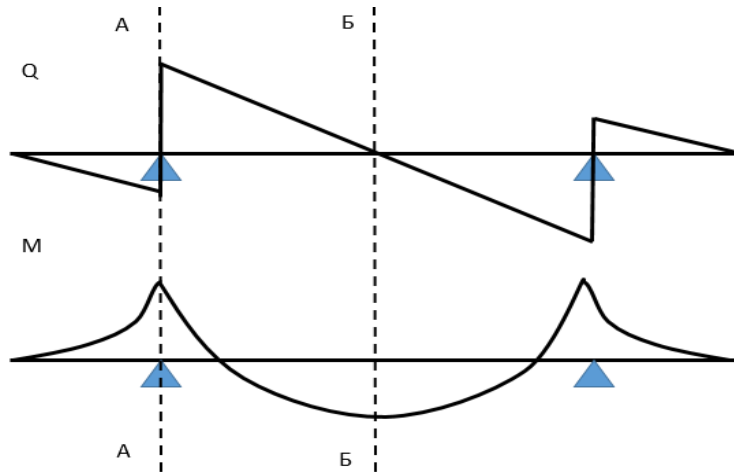


Рис. 4. Епюри перегинаючих сил і моментів

Для виконання розрахунків, використаємо параметри пасажирського вагона (табл. 3).

Таблиця 3. Параметри пасажирського вагона

Маса візка, кг	Маса вагона бруто, кг	База вагона, м	Довжина вагона, м	Розподілене навантаження, Н	Реакція сил, Н	Тара вагона, кг	Статичний прогин, мм	Момент Б-Б, Нм	Момент А-А, Нм
7200	63800	19	25	19385	242307	58800	209	-787498	87230

Оцінимо напруження в хребтовій балці і нижній обв'язці кузова в перерізі Б-Б. Навантаження по цих балках розподіляється пропорційно їх жорсткостям [15].

Таким чином:

J_i всього кузова = 5524245,69 – сприймає 100% навантаження;

J_4 хребтової балки = $J_3 \cdot 2 = 523166,93 \cdot 2 = 1046334$ – сприймає 18,9% всього навантаження;

J_3 однієї нижньої обв'язки = 67730,78 – сприймає 1,2% всього навантаження.

Відповідно згинальні моменти будуть рівні:

для хребтової балки, $M_{xp} = 149158$ Нм;

для нижньої бічної обв'язки, $M_{нбо} = 9655$ Нм.

Напруження в елементах

$$\sigma = \frac{M}{J_i} \cdot a_i \quad (4)$$

де a_i – відстань до осі x_c (центру мас).

Максимальні напруження в хребтовій балці:

$$\sigma_{xp} = \frac{M_{xp}}{J_4} \cdot a_i.$$

Максимальні напруження в нижній боковій обв'язці:

$$\sigma_{\text{нбо}} = \frac{M_{\text{нбо}}}{J_3} \cdot a_i.$$

Максимальні напруження в хребтовій балці та максимальні напруження в нижній боковій обв'язці, які виникають від власних сил тягіння, сил що виникають під час руху вагона, сили взаємодії між вагонами, вагоном та локомотивом, гальмуванням, співударом, дають змогу в подальшому проводити розрахунки показників міцності та опору втомі для визначення залишкового ресурсу вагону.

Висновки. За результатами проведених досліджень, в елементах рами кузова пасажирського вагона показники міцності вагону та опору втомі, відповідають вимогам подальшої експлуатації. Таким чином, отримані практичні та теоретичні результати дають можливість продовжувати строк служби пасажирських вагонів побудови КВЗ понад 41 рік від побудови з виконанням періодичного технічного діагностування несучих конструкцій.

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. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>.
3. Радкевич, М.М., Сапронова, С.Ю., Ткаченко, В.П. Дослідження залишкового ресурсу спеціальних вагонів. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*, 2021. Вип. 37. С. 49-57. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-37-6>.
4. 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. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-6>.
5. Мямлин, С.В., Рейдемейстер, О.Г., Пулария А.Л. Диагностирование подвижного состава с целью продления срока службы. *Матеріали LXVI Міжнародної науково-практичної конференції: Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта (11.05–12.05. 2006 р.)*, ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2006. С. 108–109.
6. Мямлин, С.В., Пулария А.Л. Проблемы технического диагностирования пассажирских вагонов. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції: Розвиток наукової школи транспортної механіки. ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2013. С. 65–67.
7. Шикун, О.А., Рейдемейстер, О.Г., Анофрієв, В.Г. Дослідження граничного стану пасажирських вагонів. *Вагонный парк*. 2012. № 12. С. 4–6.
8. Мямлин, С.В., Горобець, В.Л. Научные методы оценки ресурса несущих конструкций подвижного состава. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. Дніпропетровськ, 2011. № 8. С. 12–17.
9. НДКТИ/НВЦ У1 005-19 «Дослідження залишкового ресурсу та встановлення граничного терміну експлуатації некупейних пасажирських вагонів побудови КВЗ». Київ: НДКТИ, 2020.
10. ДСТУ (Державний Стандарт України) 7774:2015 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частини вагонів. Державний Український науково-дослідний інститут вагонобудування (УкрНДІВ), 22.06.2015.
11. Радкевич, М.М., Сапронова, С.Ю., Ткаченко, В.П. Аналіз технічного діагностування пасажирських вагонів з вичерпаним терміном служби. *Збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», 14-16 листопада 2019р.* Северодонецьк-Київ: Вид-во СЧУ ім.В.Даля, 2019.
12. Cengiz Baykasoğlu, Emin Sünbuloğlu, Sureyya E. Bozdağ, Fatih Aruk, Tuncer Toprak & Ata Mugan (2011). Railroad passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *International Journal of Crashworthiness*. Volume 16, Issue 3, 319-329. <https://doi.org/10.1080/13588265.2011.566475>
13. Политехнический словарь: редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ПИО Большая Российская Энциклопедия, 2000. 656 с.
14. Baykasoğlu, C., Sunbuloglu, E., Bozdağ, 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.

15. 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.

16. Єжов, Ю.В., Павленко, Ю.С., Войтенко О.І. Удосконалення діючої системи продовження терміну експлуатації пасажирських вагонів. *Рейковий рухомий склад*, 2018. Вип. 17. С. 46-50. URL.: <https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/7.pdf>.

REFERENCES

1. Metodyka tekhnichnoho diahnostuvannya pasazhyr'skykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenyy termin, z metoyu yoho prodovzhennya: TSL-0070. [Methods of technical diagnostics of passenger cars that have served the appointed period, in order to extend it: CL-0070]. Kyiv: Neskinchene dzherelo, [Kyiv: Infinite Source], 2008. 60. [in Ukrainian].

2. Koshel, O.O., Saponova, S.Yu., Bulich, D.I. & Tkachenko, V.P. (2020). Vyznachennya zalyshkovoho resursu nesuchykh metalevykh konstruktiv 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-dumping cars and dump trucks (dump trucks) based on the results of technical diagnostics and standard tests.] *Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohiy. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi»*. [Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. Series «Transport systems and technologies»]. Kyiv: DUIT, 35. 14-23. [in Ukrainian]. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-2>.

3. Radkevich, M.M., Saponova, S.Yu. & Tkachenko V.P. (2021). Doslidzhennya zalyshkovoho resursu spetsial'nykh zaliznychnykh vahoniv. [Study of the residual life of special railway cars]. *Zbirnyk naukovykh prats' DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi»*. [Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. Series «Transport systems and technologies»]. Kyiv: DUIT, 37. 49-57. [in Ukrainian]. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-37-6>.

4. Radkevich, M.M., Saponova, S.Yu. & Tkachenko V.P. (2020). Doslidzhennya zalyshkovoho resursu ta vstanovlennya hranychnoho terminu ekspluatatsiyi nekupeynykh pasazhyr'skykh vahoniv pobudovy KVZ. [Research of residual resource and establishment of the term of operation of non-compartment passenger cars of construction of KCBP]. [Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. Series «Transport systems and technologies»]. *Zbirnyk naukovykh prats' DUIT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi»*. [Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies. Series «Transport systems and technologies»]. Kyiv: DUIT, 35. 54-62. [in Ukrainian]. URL.: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-6>.

5. Myamlin, S.V., Anofriev, V.G. & Pularia, A.L. (2006). Diagnostirovaniye podvizhnogo sostava s tsel'yu prodleniya sroka sluzhby. Materialy LXVI Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: Problemy y perspektyvy razvytyya zheleznodorozhnoho transporta (11.05–12.05. 2006 r.), DNUZT im. akademika V. Lazaryana. [Diagnosis of rolling stock for the purpose of prolonging the service life]. Problems and Prospects for the Development of Railways transp.: thesis. LXVI International scientific-practical conf. (11.05–12.05 2006), Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]. Dnepropetrovsk, 108–109. [in Russian].

6. Myamlyn, S.V. & Pularyya A.L. (2013). Problemy tekhnicheskoho dyahnostyrovannya passazhyr'skykh vahonov. [Problems of technical diagnostics of passenger railway cars] Materialy mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi: Rozvytok naukovoyi shkoly transportnoyi mekhpnyky. DNUZT im. akademika V. Lazaryana. [Proceedings of the international scientific and technical conference: Development of the scientific school of transport mechanics. DNUZT them. Academician V. Lazaryan]. Dnipropetrovsk, 65–67. [in Russian].

7. Shygunov, O.A., Reydemeyster, O.H. & Anofriyev, V.H. (2012). Doslidzhennya hranychnoho stanu pasazhyr'skykh vahoniv. [Research of a limiting condition of passenger cars]. *Vahonnyy park. [Wagon fleet]*, 12. 4–6. [in Ukrainian].

8. Myamlyn, S.V. & Horobets, V.L. (2011). Nauchnye metody otsenky resursa nesushchykh konstruktivnykh podvuzhnoho sostava. [Scientific methods for estimating the service life of bearing structures of rolling stock]. *Visnyk sertyfikatsiyi zaliznychnoho transportu. [Bulletin of railway transport certification]*. Dnipropetrovsk, 8. 12–17. [in Russian].

9. NDKTI/NVTS UI 005-19 «Doslidzhennya zalyshkovoho resursu ta vstanovlennya hranychnoho terminu ekspluatatsiyi nekupeynykh pasazhyr'skykh vahoniv pobudovy KVZ».[NDCTI/SIC UI 005-19 «Research of residual resource and establishment of the limit life of non-purchaser passenger cars of construction of KCBP»]. NDCTI, Kyiv, 2020. [in Ukrainian].

10. DSTU (Derzhavnyy Standart Ukrayiny) 7774:2015 Vahony pasazhyr'ski mahistral'ni lokomotyvnoyi tyahy. Zahal'notekhnichni normy dlya rozrakhuvannya ta proektuvannya mekhanichnoyi chastyny vahoniv. [DSTU 7774:2015 Carriages passenger main locomotive traction. General technical norms for the calculated and design of the mechanical part of the wagons]. Derzhavnyy Ukrayins'kyi naukovo-doslidnyy instytut vahonobuduvannya (UkrNDIV) [State Ukrainian Research Institute of Carriage Construction (UkrNDIV)], 22.06.2015. [in Ukrainian].

11. Radkevych, M.M., Saponova, S.YU. & Tkachenko, V.P. (2019). Analiz tekhnichnoho diahnostuvannya pasazhyr'skykh vahoniv z vycherpanym terminom sluzhby. [Analysis of technical diagnostics of passenger railway cars with exhausted service life.]. *Zbirnyk naukovykh prats' naukovo-praktychnoyi konferentsiyi zdobuvachiv vyshchoyi osvity ta molodykh vchenykh «Lohistychno upravlinnya ta bezpeka rukhu na transporti»*, 14-16 lystopada 2019r. [Collection of scientific works of the scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists "Logistics management and traffic safety", November 14-16, 2019]. Syevyerodons'k-Kyiv: ENU im.V.Dalya, 2019. [in Ukrainian].

12. Cengiz Baykasoğlu, Emin Sünbüloğlu, Sureyya E. Bozdağ, Fatih Aruk, Tuncer Toprak & Ata Mugan (2011). Railroad passenger car collision analysis and modifications for improved crashworthiness. *International Journal of Crashworthiness*. Volume 16, Issue 3, 319-329. <https://doi.org/10.1080/13588265.2011.566475>

13. Yezhov, YU.V., Pavlenko, Yu.S. & Voytenko O.I. (2018). Udoskonalennya diyuchoyi systemy prodovzhennya terminu ekspluatatsiyi pasazhyrs'kykh vahoniv. [Improving the current system of extending the service life of passenger railway cars]. Reykovyy rukhomyy sklad [Rail rolling stock], 2018. 17. 46-50. URL.: <https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/7.pdf>.

14. 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.

15. Prohrama i metodyka provedennya udarnykh resursnykh vyprobuvan' pasazhyrs'kykh vahoniv, shcho vysluzhyly pryznachenny termin sluzhby: uz·hodzh. 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, TTechUkrzaliznytsia and UkrNDIV: PM 01-13 / VLV]. Dnipropetrovsk, 2013. 16 p.

16. Yezhov, Yu.V., Pavlenko, Yu.S., Voitenko O.I. (2018). Udoskonalennya diyuchoyi systemy prodovzhennya terminu ekspluatatsiyi pasazhyrs'kykh vahoniv. [Improving the current system of extending the service life of passenger cars]. Reykovyy rukhomyy sklad. [Rail rolling stock]. 17. 46-50. [in Ukrainian]. URL.: <https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2020/02/7.pdf>.

Mykola Radkevych¹, Svitlana Sapronova¹, Nadiya Braikovska¹, Viktor Tkachenko²

¹Department Railway carriage and Railway carriage property, State University of Infrastructure and Technologies, Kyrylivska str., 9, Kyiv, 04071, Ukraine

²Department of Electromechanics and Rolling Stock of Railways, State University of Infrastructure and Technologies, Kyrylivska str., 9, Kyiv, 04071, Ukraine

IMPROVEMENT OF METHODS OF TECHNICAL DIAGNOSIS OF PASSENGER RAILWAY CARS

Extension of the service life of a particular passenger railway car can be considered fully justified only if it is justified by the results of scientific and experimental research and approved by the relevant administrative documents of Ukrzaliznytsia the service life limit for wagons of this type. The existing method of technical diagnostics of passenger railway cars does not allow to fully assess the probability of extension of the service life of the car, because it does not take into account the peculiarities of damage to structural elements during operation. In the article the sequence of research of stresses in elements of a frame of a body of the passenger car of construction of KVN on the basis of standard tests is considered. The task of the study is to determine the sequence of calculation of stresses in the frame elements of the passenger car body of KCP (Kryukiv Carriage Plant) with a service life exceeding 41 years from the date of manufacture to assess strength and fatigue resistance by technical diagnostics and standard tests. It is concluded that the condition of the load-bearing metal structures of cars after long operation does not approach the limit. The residual resource was set at one of the minimum calculated values. If the results of calculations show that the resource is exhausted, the residual service life is determined by the results of bench tests for fatigue. The obtained practical and theoretical results make it possible to extend the service life of cars beyond that set by the manufacturer.

Keywords: passenger railway car, diagnostics, service life, tension, moment of inertia