

УДК 629.463.001.63

DOI: 10.34029/2311-4061-2022-144-3-04-10

Аспірант Петренко В. О.

Д-р техн. наук Кельріх М. Б.

Д-р PhD Прокопенко П. М.

Канд. техн. наук Кара С. В.

ОЦІНКА НЕСІВНОЇ ЗДАТНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ РАМИ ВАГОНА-ЗЕРНОВОЗА

EVALUATION OF THE CARRYING CAPACITY OF MODERNIZED RAILROAD GRAIN CAR FRAME

Ключові слова: вагон-зерновоз, рама кузова, хребтова балка, міцність, опір втомі, випробування.

Вступ

На теперішній час транспортування зернових культур до портів та пунктів перевалки вантажів з країнами Європейського союзу має першочергове значення для покращення функціонування економіки України. Для перевезення зерна залізницями застосовуються вагони-хопери (далі – вагони-зерновози).

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку зерновозів АТ «Укрзалізниця». За даними товариства середній вік зерновозів в Україні становить 27,4 років, що на 2,8 року (на 12 %) більше середнього значення віку цих вагонів у країнах Балтії та інших. Також необхідно відзначити, що 69 % українських вагонів-зерновозів експлуатуються понад 27 років, при нормативному терміні їх експлуатації 30 років. Для вирішення питання про можливість подальшої експлуатації вагонів-хоперів з вичерпаним терміном служби для перевезення зерна проводиться їхнє технічне діагностування.

За результатами аналізу технічного стану вагонів-зерновозів встановлено, що наймасовішим представником експлуатаційного парку АТ «Укрзалізниця» є вагони-зерновози моделі 19-752. Станом на 2016-2017 рр. під час контролю філією «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» («НДКТИ») АТ «Укрзалізниця» технічного стану цих вагонів було встановлено, що понад 300 вагонів мають тріщини в районі з'єднання заднього упору автозчепного пристрою з рамою кузова вагона. У зв'язку з цим були розпочаті роботи направлені на модернізацію вагонів-зерновозів цієї моделі з метою відновлення несівної здатності їх рам, що зазнали таких пошкоджень.

Мета роботи – оцінка експериментальними методами несівної здатності модернізованої рами вагона-зерновоза моделі 19-752.

Об'єкт досліджень – несівні конструкції вагона-хопера (зерновоза) моделі 19-752.

Аналіз літературних даних та визначення сучасного стану проблеми

Сучасні дослідження, присвячені питанням підвищення споживчої якості та зниження вартості вантажних вагонів, в основному спрямовані на поліпшення їх конструкцій за рахунок вдосконалення процедур проектування та впровадження нових матеріалів і технологій. Зокрема, стаття [1] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і особливостей їх проектування, однак в ній обмежено представлені можливості застосування таких інновацій для піввагонів-хоперів. Автори роботи [2] відображають певні перспективні напрямки конструювання кузовів залізничних напіввагонів, з метою поліпшення їх техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу можливого використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботах [3, 4] представлені нові підходи до вдосконалення динамічних розрахунків несучих вагонних конструкцій і отримані на їх основі більш точні результати. Так, в роботі [3] описані характерні особливості та результати визначення динамічних характеристик вагонів-

платформ. Робота [4] присвячена представленню запропонованих авторами методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного вагонобудування нового покоління, які створені з металевих профілів, що можуть бути використані у виробництві різних видів рухомого складу. Робота [10] висвітлює нові методи аналізу конструкцій складових залізничного рухомого складу майбутнього і способи розширення їх функціональності.

Проведений аналіз згаданих інформаційних джерел, що відносяться до досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про підсилення несучої здатності кузовів вагонів-зерновозів. Для вирішення цього питання фахівці філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» запропонували встановлення підсилюючої накладки у місці пошкодження хребтової балки вагона-зерновоза та його задніх упорів.

Результати досліджень та їх обговорення

За результатами статистичних та матеріалознавчих досліджень місць руйнування хребтових балок вагонів-зерновозів моделі 19-752, виконаних Науково-впроваджувальним центром філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця», проведено комплекс нормативних міцнісних розрахунків у відповідності до вимог стандарту ДСТУ 7598:2014 [11]. На підставі результатів багатоітераційного дослідження встановлено оптимальні геометричні параметри підсилюючої накладки, схема встановлення якої приведена на рисунку 1.

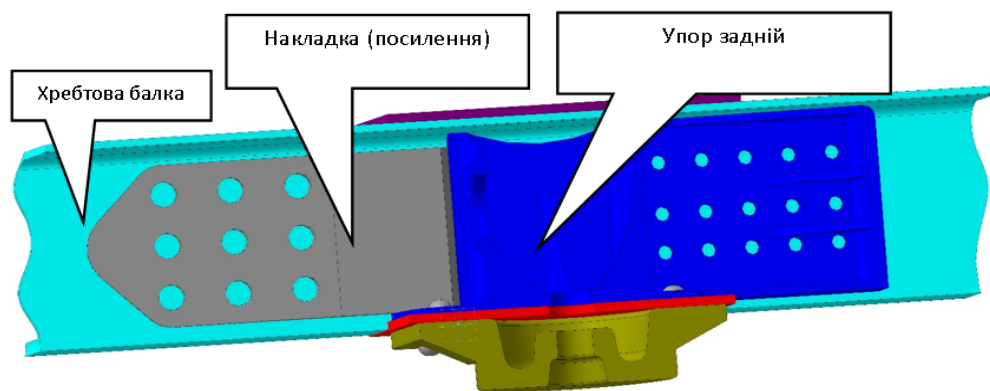


Рис. 1 – Схема встановлення підсилюючої накладки у місці пошкодження хребтової балки та задніх упорів вагона-зерновоза моделі 19-752

За результатами цих досліджень розроблено та погоджено конструкторську документацію на модернізацію пошкоджених хребтових балок вагонів-зерновозів (креслення НДКТІ.19-752.00.00.000), за якою у філії «Дарницький вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця» було вироблено п'ять дослідних зразків модернізованих вагонів-зерновозів для проведення попередніх та приймальних випробувань. Загальний вигляд вагона-зерновоза моделі 19-752 приведено на рисунку 2.

В рамках попередніх та приймальних випробувань модернізованого вагона-зерновоза моделі 19-752 з посиленою хребтовою балкою було виконано:

- випробування «скидання з клинів»;
- типові ударні випробування;
- ресурсні випробування.

При виконанні випробувань «скидання з клинів» (висота клинів – 28 мм) було проведено імітацію підсакування, скручування, галопування та бокової хитавиці модернізованого вагону. Результати замірів рівнів механічних напружень в зоні модернізації хребтової балки вагону та на основних його несівних елементах приведені в таблиці 1, де тензорезистори №№ 1, 2, 3 встановлювалися на надресорній балці візка, тензорезистори 4, 5 – на шворневій балці вагона, тензорезистори 6, 7, 8 – на хребтовій балці і тензорезистори 9, 10 – в зоні модернізації балки.



Рис. 2 – Вагон-зерновоз моделі 19-752

Табл.1 – Результати випробувань «скидання з клинів» вагона-зерновоза моделі 19-752

№ з/п	Рівні механічних напружень (МПа) при режимах:				Невизначеність
	підскакування	скручування	галопування	бокова хитавиця	
1	14	15	15	13	2,1 %
2	13	9	14	9	
3	17	10	12	12	
4	14	10	9	10	
5	9	9	6	10	
6	10	8	9	11	
7	10	11	16	13	
8	6	7	5	5	
9	5	5	3	4	
10	5	6	4	7	

При проведенні типових і ресурсних ударних випробуваннях модернізованих вагонів досліджувалися наступні показники:

- швидкість набігання вагона-бойка;
- сила удару в тензометричному (вимірювальному) автозчепі;
- кількість циклів-ударів до відмови або пошкодження вагону;
- напруження в елементах вагона, які досліджуються.

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на вагон, що випробовується, у момент удару, застосовувалися вимірювальний автозчеп-динамометр (рис. 3), обладнаний тензорезисторами і попередньо проградуєований статичними навантаженнями на спеціальному стенді силами впливу до 3,5 МН. Процедури підготовки та проведення типових і ресурсних випробувань модернізованого вагону на співудар були наступні:

- завантаження дослідного вагона до його номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- обладнання дослідного вагона автозчепом-динамометром;
- розташування дослідного вагона на ділянці залізничної колії для випробувань з відповідним підпором, наявним вагоном-бойком та з пристроєм для визначення швидкості руху вагона-бойка;
- підключення випробувального устаткування на дослідному вагоні;
- проведення комплексу ударних випробувань;
- огляд конструкції модернізованого дослідного вагону при типових випробуваннях після кожних 3-5 ударів, а при ресурсних після 10 ударів.



Рис. 3 – Тензометричний автозчепний пристрій

Співударники проводили способом наочування вагона-бойка на випробовуваний вагон, з відповідним його підпором, за допомогою локомотива. Ресурсні випробування виконувалися окремими серіями співударників, що за обсягами ушкодження відповідали впливу зовнішніх дій на вагон за один рік його експлуатації. Після кожної серії співударників проводилася перевірка технічного стану металевих конструкцій дослідного вагона та його устаткування. Значення сил що впливали на вагон через автозчеп при ударах, їх кількість та накопичених пошкоджень у металоконструкціях вагону наведено у таблиці 2.

Табл.2 – Значення поздовжніх сил на модернізований вагон-зерновоз моделі 19-752 та кількість ударів під час ударних випробувань

№ зіткнення	Сила (N), МН	Середнє значення сили (N), МН	Кількість ударів при одноударній схемі впливу	Кількість ударів при двоударній схемі впливу	Накопичені пошкодження, МН ⁴
1	Менше 1	1	4	-	4
2	1,0-1,5	1,25	7	-	17
3	1,5-2,0	1,75	40	-	375
4	2,0-2,5	2,25	70	-	1794
5	2,5-3,0	2,75	60	-	3430
6	3,0-3,5	3,25	93	-	10375
7	Більше 3,5	3,5	53	-	7953
8	3+2,6	-	-	78	9882
9	3,5+3	-	-	110	25410
10	3,8+3,2	-	-	67	20991
Всього			582		80231

Результати замірів під час ударних випробувань рівнів механічних напружень в зонах модернізації хребтової балки та в основних несівних елементах модернізованого вагону приведені в таблиці 3, де тензорезистори №№ 1, 2, 3 встановлені на надресорній балці візка, тензорезистори 4, 5 – на шворневій балці вагону, тензорезистори 6–17 – на хребтовій балці та в зоні її модернізації.

Табл. 3 – Рівні механічних напружень в зонах модернізації хребтової балки та в основних несівних елементах модернізованого вагону при ударних випробуваннях

Номер тензорезистора	Напруження, МПа				Невизначеність
	2,5	3,0	3,5	4,0	
1	35	57	41	63	2,1 %
2	21	72	34	90	
3	55	93	82	186	
4	29	28	31	32	
5	159	258	265	280	
6	161	230	296	308	
7	49	123	108	110	
8	60	189	103	108	
9	68	79	140	103	
10	70	58	129	152	
11	33	27	77	77	
12	28	31	62	64	
13	37	67	80	48	
14	22	12	39	23	
15	41	52	36	31	
16	55	95	66	124	
17	29	17	10	30	

В процесі ударних випробувань після кожного зіткнення сумарне накопичення пошкоджень $D_u(n)$ визначалося за формулою:

$$D_u(n) = \sum_{i=1}^n (F_{1,i}^m + F_{2,i}^m), \quad (1)$$

де: i – порядковий номер зіткнення;

n – число зіткнень;

$F_{1,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автотчепі між вагоном бойком і дослідним вагоном, Н;

$F_{2,i}^m$ – максимальна сила, яка виникає в автотчепі між вагоном бойком і підпором;

m – показник степені, приймається $m=4$.

Сумарне накопичене пошкодження металоконструкцій вагону при ударних випробуваннях порівнювали з розрахунковим пошкодженням $D_{розр}$:

$$D_{розр} = N_{розр} \sum_k p_k F_k^m, \quad (2)$$

де: F_k – середнє значення діючої сили;

p_k – частіть сили.

В результаті строк служби модернізованого вагона-зерновоза буде дорівнювати:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]}\right)^m \cdot N_0}{N_{cl} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I)^m \cdot P_j^I + N_{clII} \cdot \sum_k (\sigma_{aj}^{II})^m \cdot P_k^{II}} = \frac{44,4^4 \cdot 10^7}{1504,6 \cdot 0,0024^4 \cdot 3,65 + 1504,6 \cdot 0,01^4 \cdot 3,65} = 6,2 \text{ роки} \quad (3)$$

За результатами типових ударних випробувань модернізованого вагона-зерновоза (вагона-хопера) моделі 19-752 встановлено що рівні механічних напружень у його несучих конструкціях не перевищують допустимих значень (345 МПа для сталі 09Г2С). За результатами ресурсних

ударних випробувань цього вагону встановлено, що розрахунковий залишковий ресурс модернізованого вагона з посиленою хребтовою балкою складає не менше 6 років.

Висновки

Проведені контрольні випробування модернізованих вагонів-зерновозів моделі 19-752 підтвердили, що напруження в зоні модернізації (посилення) його хребтової балки не перевищують максимально допустимих значень, а модернізований вагон-зерновоз має залишковий ресурс не менше 6 років.

Проект модернізації НДКТІ.19-752.00.00.000 відповідає вимогам чинних нормативних документів і він може використовуватися для серійної модернізації вагонів-хоперів (зерновозів) моделі 19-752 з посиленням їх хребтових балок.

Сформовані підходи щодо оцінки несівної здатності металоконструкцій вагонів-зерновозів можуть бути застосовані при виконанні аналогічних робіт з посилення елементів конструкції, ремонту та модернізації вантажних вагонів.

Література

1. Kelrykh M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas / M. Kelrykh, O. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2014. – № 6. – P. 64-67.
2. Niezgodna T. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software / T. Niezgodna, W. Krason, M. Stankiewicz // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 495-502. doi: 10.5604/12314005.1138622
3. Lovska A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision / A. Lovska, A. Rybin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3, iss. 7 (81). – P. 4-8. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72054
4. Myamlin S. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / S. Myamlin, L. Lingaitis, S. Dailydka // Transport. – 2015. – Vol. 30, № 1. – P. 88-92. doi: 10.3846/16484142.2015.1020565.
5. Butko T. V. Formalization of the technology of arranging tactical group trains / T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, A. Kyman // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 4, iss. 3 (76). – P. 38-43. doi: 10.15587/1729-4061.2015.47886.
6. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S. V. Panchenko, T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, L. O. Parkhomenko // Науковий вісник НГУ. – 2016. – № 2. – P. 93-99.
7. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the «wheel-braking pad-rail» system / M. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. – Arłamów. – 2016. – Z. 114. – P. 115-126.
8. Regularities of shaping of a wheel profile as a result of deterioration of the rolling surface in exploitation / S. Sapronova, V. Tkachenko, N. Kramar, A. Voron'ko // Transport Problem. – 2008. – Vol. 3, № 4. – P. 47-57.
9. Фомин А. В. Научно-практическое исследование прочности рамы длиннобазной платформы / А. В. Фомин, Д. В. Федосов-Никонов // Вестник науки и образования. – 2018. – № 10 (46). – С. 8-15.
10. Analysis of the constructive features of railway brakes and methods of improving the process of their functioning / N. Gorbunov, E. Kravchenko, R. Demin, O. Nogenko, O. Prosvirova // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture : Poland. – 2013. – Vol. 13, № 5. – P. 98-102.
11. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) : ДСТУ 7598:2014. – [Чинний від 2015-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. – 162 с. – (Нац. стандарт України).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Петренко В'ячеслав Олександрович,
асп., перший заступник директора
філії «Науково-дослідний та
конструкторсько-технологічний інститут
залізничного транспорту» («НДКТІ»)
акціонерного товариства «Українська
залізниця» (АТ «Укрзалізниця»)
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 044 465 39 95.
E-mail: petrenko1520mm@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0002-4142-7938.

Кельріх Мусій Борисович
докт.техн.наук, проф., професор кафедри
«Вагони та вагонне господарство»,
Державного університету інфраструктури
та технологій.
Вул. Івана Огієнка, 19, м. Київ, 03049,
Україна.
Тел.: +38 050 332 29 15.
ORCID ID: 0000-0002-8443-7685.

Прокопенко Павло Миколайович,
PhD, начальник відділу динаміки та міцності
Управління інжинірингу Науково-
випробувального центру (НВЦ) філії
«НДКТІ» АТ «Укрзалізниця».
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 044 309 68 21.
E-mail: prokopenko1520mm@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0002-1631-6590.

Кара Сергій Віталійович,
канд. техн. наук, начальник Управління
інжинірингу НВЦ філії «НДКТІ»
АТ «Укрзалізниця».
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 044 309 68 21.
E-mail: s.kara1520mm@gmail.com.
ORCID ID: 0000-0003-0401-6547.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА РАДА АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ» SCIENTIFIC AND TECHNICAL COUNCIL OF JSC «UKRZALIZNITSIA»

Протягом січня-серпня 2022 року в АТ «Укрзалізниця» було проведено п'ять засідань секцій Науково-технічної ради товариства, а саме:

- *секції «Будівництва, утримання та розвитку інфраструктури»* – 2 засідання;
- *секції «Єдиної технічної політики та екологічного менеджменту»* – 3;
- *об'єднана секція «Виробництва та управління тягою» і «Єдиної технічної політики та екологічного менеджменту»* – 1.

На засіданнях секцій НТР були розглянуті та схвалені проекти концепцій, програм та різних пропозиції щодо науково-технічних дій спрямованих на покращення діяльності АТ «Укрзалізниця».

Важливим рішенням стали рекомендації до застосування на локомотивах АТ «Укрзалізниця» вісьової оливи «Л» виробництва ТОВ «СП ЮКОЙЛ» (м. Запоріжжя) та вісьової оливи «Л» виробництва ТОВ «Евро Ойл Продакшн» (м. Кривий Ріг), на підставі позитивних результатів їх експлуатаційних випробувань.

Було схвалено проєкт «Плану науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт та розроблення нормативних документів АТ «Укрзалізниця» на 2022 рік» і рекомендовано його до затвердження Правлінням товариства. Також були схвалені основні положення технічної політики АТ «Укрзалізниця», які підготував Департамент розвитку і технічної політики товариства, і рекомендовано затвердити загальну концепцію з цього питання на Правлінні АТ «Укрзалізниця» до кінця поточного року. Схвалено підготовлену Департаментом електрифікації та електропостачання товариства «Програму заміни зношених (пошкоджених) контактних проводів та дефектних несучих тросів АТ «Укрзалізниця» на 2022-2024 роки».

На засіданнях секцій Науково-технічної ради товариства було розглянуто та рекомендовано до затвердження 8 стандартів підприємства для використання у галузі.