УДК 629.463.001.63

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/21>**Фомін О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

Кара С.В.Філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту»
АТ «Українська залізниця»**Прокопенко П.М.**

Державний університет інфраструктури та технологій

Горбунов М.І.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Фомін В.В.

АТ «Українська залізниця»

КОМПЛЕКСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

З метою виконання безперебійних і безпечних пасажирських перевезень актуальним є завдання щодо забезпечення експлуатації рухомого складу поза подовженням строком служби, у т. ч. пасажирських вагонів. Технічний стан після виконання планових ремонтів парку пасажирських вагонів і візків пасажирських вагонів після тривалого періоду експлуатації показує, що значна їх частина перебуває у задовільному технічному стані та має перспективи для подальшої безпечної експлуатації. На залізницях України нині експлуатуються пасажирські вагони різних моделей і модифікацій із терміном служби, який перевищує встановлений заводом виробником або який наближається до граничного. Щоб вирішити питання можливості подальшої безпечної експлуатації із закінченим призначеним терміном служби, виконується технічне діагностування пасажирських вагонів і їхніх візків. Зменшено фінансування для проведення закупки нового рухомого складу, у недостатній кількості проведено капітальні ремонти пасажирського рухомого складу для виконання безперебійних пасажирських перевезень залізничним транспортом. Актуальним є завдання виконання робіт із комплексного дослідження міцнісних характеристик пасажирських вагонів із візками для визначення залишкового ресурсу та можливості подальшої безпечної експлуатації пасажирських вагонів із візками в межах України за межами встановленого заводом-виробником терміну служби. Проведення комплексу робіт щодо визначення міцнісних характеристик несучих конструкцій пасажирських вагонів і рам візків типу КВЗ-ЦНІИ дасть змогу продовжити термін експлуатації технічно справних кузовів пасажирських вагонів і рам візків без надлишкових витрат на їхнє повне оновлення. У межах цієї роботи проведено аналіз умов експлуатації пасажирських вагонів і візків, описано процес контрольних випробувань кузовів пасажирського вагона та візків, досліджено міцнісні характеристики кузовів пасажирського вагона та візків.

Ключові слова: пасажирський вагон, візок, строк служби, випробування, несучі конструкції, міцність.

Постановка проблеми. Необхідно сформулювати доцільність виконання комплексу робіт із визначення й оцінювання міцнісних характеристик кузовів пасажирських вагонів і їхніх візків (тип КВЗ-ЦНІИ) після тривалої експлуатації.

Проведений комплекс робіт з оцінки та визначення показників міцності кузова пасажирського вагона та рами візка зі встановленням можливості подальшої безпечної експлуатації дослідних об'єктів. Проведений аналіз стану кузовів пасажирських вагонів і рам візків типу КВЗ-ЦНІИ, який вказує на те, що більша їх частина перебуває у задовільному технічному стані, але визначення можливості подальшої безпечної експлуатації кузовів і рам візків пасажирських вагонів експлуатації вагонів потребує теоретичних та експериментальних підтверджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню несучої здатності кузовів пасажирських вагонів і рам візків типу КВЗ-ЦНІИ

приділено не достатньо уваги. Робота [1] описує вивчення несучої здатності напіввагонів 12-9745. У матеріалі [2] описано покращення несучих конструкцій вагонів, у т. ч. і шляхом збільшення терміну експлуатації. Підвищення терміну досягається методом покращення конструктивних особливостей, як приклад, використанням матеріалів із покращеними характеристиками. Роботи з покращення несучої конструкції кузова вантажного вагона з метою забезпечення надійності його закріплення на палубі порому описані у [3; 4]. Оцінка точності транзиту через залізничні колії для переміщення сировини та готової продукції зроблена у [5; 6]. Особливості конструкції вагона для інтермодальних перевезень наведені у [7]. Вагон включає в собі знижену середню частину, а оборотна частина дає можливість здійснювати завантаження / вивантаження автотехніки самокатом. Праця [8] описує дослідження з визначення й оцінки характеру та рівня впливу різних моделей вантажних візків на показники міцності несучих конструкцій вагонів, але не передбачене питання визначення впливу на кузови, які експлуатуються з терміном, що перевищує встановлений. У роботах [9; 10] проаналізовано особливість руху і взаємодію одиниць сучасного рухомого складу. Показники, які характеризують експлуатаційні зноси, не розглянуті. Із викладеного вище аналізу можна зробити висновок, що нині питання можливості подальшої експлуатації несучих конструкцій кузовів і рам візків пасажирських вагонів за межами встановленого терміну служби повною мірою не вирішувалося.

Постановка завдання. Мета статті – описання практичних і теоретичних аспектів проведення комплексних досліджень кузовів і рам візків пасажирських вагонів із визначенням показників міц-

ності несучих конструкцій кузовів і рам візків та встановлення на основі отриманих результатів можливості їх подальшої безпечної експлуатації на залізницях України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами досліджень було обрано некупейний пасажирський вагон побудови КВЗ 1979 р. побудови (рис. 1) і візок типу КВЗ-ЦНИИ 1974 р. виготовлення (рис. 2).

Комплексні дослідження кузова пасажирського вагона. Виконавши аналіз особливості конструкції несучих систем не купейного пасажирського вагона та відмови в експлуатації, розроблено схему встановлення тензорезисторів на несучих конструкціях пасажирського вагона (рис. 3).

Комплекс робіт із визначення й оцінки показників міцності кузова пасажирського вагона включав у себе такі випробування: випробування скидання із клинів і типові випробування на міцність при зіткненні.

Завдання випробувань скидання із клинів – оцінка власних частот коливань і динамічних напружень в елементах рами кузова вагона. Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання із клинів». Суть випробування полягає в тому, що під колеса досліджуваного об'єкта залежно від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його нахату на клин.

Завданням випробувань на міцність при зіткненні є визначення й оцінювання динамічних напружень і деформацій у несучих конструкціях рами кузова вагона в дослідних місцях при прикладанні нормативних навантажень через автозчеп і визначення коефіцієнту запасу опору втомі.

Рис. 1. Дослідний пасажирський вагон

Рис. 2. Дослідний візок типу КВЗ-ЦНИИ

Рис. 3. Схема розміщення тензорезисторів на рамі вагона

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний тензорезисторами та попередньо проградуирований статичним навантаженням до 3,5 МН на стенді.

Схема встановлення рухомих одиниць під час ударних випробувань наведена на рис. 4.

Співудари вагона при випробуваннях на співудар проводять у діапазонах швидкостей: від 3 до 6 км/год – 3 удари; від 6 до 10 км/год – 3 удари; від 10 до 6 км/год – 1 удар.

При визначенні залишкового строку служби вагона враховується вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають у процесі експлуатації. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m \cdot N_0}{N_{cl} \cdot \sum_j (\sigma_{aj}^I)^m \cdot P_j^I + N_{cl} \cdot \sum_k (\sigma_{aj}^{II})^m \cdot P_k^{II}} \quad (1)$$

Рис. 4. Схема розміщення рухомого складу під час випробувань: 1 – Локомотив; 2 – вагон бойок; 3 – дослідний вагон; 4, 5, 6* – вагони підпори; 6 – пристрій для вимірювання швидкості

де T_p – розрахунковий залишковий строк служби вагона, роки;

$\sigma_{a,N}$ – межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі та встановленому режимі навантаження при базовому числі циклів, МПа;

M – показник ступеня в рівнянні кривої втоми. Для зварних конструкцій із прокату без зміцнювальної обробки швів $m=4$;

$[n]$ – мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми для вибраної зони вагона, $[n]=1,5$;

N_0 – базове число циклів, $N_0=10^7$;

$N_{cl} N_{cl}$ – число циклів за 1 рік експлуатації для кожного з експлуатаційного навантаження (вертикального та поздовжнього);

$\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$ – амплітуди динамічних напруг, приведені до симетричного циклу для кожного з експлуатаційних навантажень і їхніх діапазонів, МПа;

P_j – ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{aj} .

$$\sigma_{aN} = \sigma_{aN}^- (1 - z_p v), \quad (2)$$

де z_p – квантиль розподілення, що відповідає односторонній ймовірності 95%, $z_p=1,645$;

v – коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі:

– для зварних рам і балок із листового та фасонного прокату при автоматичній зварці під шаром флюсу і всередині захисного газу $v=0,05$;

– також при напівавтоматичній і ручній зварці $v=0,07$;

σ_{aN}^- – середнє розрахункове значення порогу витривалості рами:

$$\sigma_{aN}^- = \frac{\sigma_{-1}^-}{(K_{\sigma}^-)_k}, \quad (3)$$

σ_{-1}^- – середнє значення порогу витривалості гладкого стандартного зразка із матеріала рами при симетричному циклі згину на базі N_0 .

$(K_{\sigma}^-)_k$ – середнє значення коефіцієнта зниження порогу витривалості рами щодо порогу витривалості гладкого стандартного зразка, $(K_{\sigma}^-)_k=4,5$.

Для оцінки показників опору втоми враховуються напруження несучих конструкцій вагону під час випробувань:

– сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитаючи;

– сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів.

Оцінка n – запасу опори втомі виконується таким чином.

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n] \quad (4)$$

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, приведене до бази N_0 , еквівалентне за пошкоджуваною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби, МПа.

Комплексні дослідження рами візка типу КВЗ-ЦНИИ пасажирського вагона. Відповідно до розробленої схеми на основі аналізу особливостей конструкції рами візка та відмов в експлуатації розроблено схему (рис. 5) встановлення тензорезисторів на рамі візка.

Після встановлення та підключення засобів вимірювальної техніки до реєструючої апаратури було сформовано вимірювальний комплекс для діагностики та випробувань рухомого складу, який складається із програмно-апаратного автоматичного реєстратора, комплексу комунікаційних кабелів, комп'ютера і програмного забезпечення. Після підключення та перевірки вимірювального комплексу проведено ходові міцнісні випробування для визначення блоків навантажень у дослідних місцях, які надалі будуть використані для оцінки показників міцності рами візка типу КВЗ-ЦНИИ.

На основі отриманих результатів ходових міцнісних випробувань дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху, характерними особливостями ділянки шляху (пряма, крива, стрілки, тощо), режимами руху (розгін, гальмування) вагона та визначається амплітудно-частотний склад напружено-деформованого стану в елементах конструкції у діапазоні від 0,3 Гц до 30,0 Гц з метою оцінки коефіцієнту запасу опору втомі за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n], \quad (5)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі за симетричним циклом і встановленим режимом навантажень;

$\sigma_{a,e}$ – розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний термін служби конструкції;

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

Динамічна складова частина напружень розрахована таким чином:

$$\sigma_{a,e} = \sqrt[m]{\frac{T_P f_z}{N_0} \sum_{j=1}^n K_{yvj} \sum_{vi}^{K_{vi}} P_{vi} \sum_{ai}^{K_{ai}} \sigma_{ai}^m P_{ai}}, \quad (6)$$

де m – показник ступеня в рівнянні кривої втоми в амплітудах

$$m = \frac{A}{(\bar{K}_b)_k}, \quad (7)$$

де A – коефіцієнт згідно з [11],

$(\bar{K}_b)_k$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі щодо границі витривалості гладкого стандартного зразка згідно з [11].

Ця публікація виконана в рамках проекту: «Розроблення концептуальних засад для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів (Development of conceptual

Рис. 5. Схема встановлення тензорезисторів на візку

frameworks for restoring the efficient operation of obsolete freight cars» (Реєстраційний номер проекту: 2020.02/0122), фінансування якого здійснюється Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету.

Висновки. За результатами проведених комплексних теоретичних і практичних досліджень із визначення міцнісних показників і можливості подальшої безпечної експлуатації несучих металевих конструкцій кузова та рами візка типу КВЗ-ЦНИИ пасажирського вагона встановлено,

що стан несучих металевих конструкцій кузовів і рам візків пасажирських вагонів після тривалої експлуатації не наближається до гранично допустимих: для кузовів $[n] = 1,5$; для візків $[n] = 1,7$ згідно з [11].

Таким чином, отримані теоретичні та практичні результати дозволяють розробити комплекс робіт і заходів для забезпечення подальшої безпечної експлуатації пасажирських вагонів із візками, які експлуатуються на залізницях України, та встановлення терміну їхньої подальшої роботи.

Список літератури:

1. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2013. Вип. 6 (83). С. 87–91.
2. Фомін О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2012. № 26. С. 29–33.
3. Lovska, A.A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 1. P. 49–54.
4. Nader M., Sala M., Korzeb J., Kostrzewski A. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczep siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. *Logistyka*. 2014. № 4. P. 2272–2279.
5. Фомін О.В., Гостра А.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів, *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2015. Вип. 26–27. С. 137–147.
6. Divya Priya G., Swarnakumar A. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. *Intern. J. of Innovative Technology and Research*. 2014. Vol. 2. № 6. P. 1568–1580.
7. Krason W., Niezgoda T., Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2014. Vol. 62. Iss. 4. P. 843–851.
8. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles / S. Sapronova, V. Tkachenko, O. Fomin, V. Gatchenko, S. Maliuk. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 6. Issue 7 (90). P. 19–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.116194.
9. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production / S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. *Scientific Bulletin of National Mining University*. Issue 1. 2018. P. 162–169 DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/3.
10. Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry / O. Fomin, J. Gerlici, A. Lovska, K. Kravchenko, P. Prokopenko, A. Fomina, V. Hause. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*. 21. № 1. 2019. P. 28–34.
11. ДСТУ 7774:2015 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частини вагонів.

Fomin O.V., Kara S.V., Prokopenko P.M., Gorbynov N.I., Fonin V.V. COMPLEX RESEARCH STRENGTH CHARACTERISTICS OF PASSENGER WAGON AFTER A LONG OPERATION

To ensure uninterrupted and safe performance of passenger transport, the task of ensuring the operation of rolling stock outside the extended service life, including passenger wagon, remains relevant. The analysis of the technical condition, after the planned types of repairs, the fleet of passenger wagon and carriages of passenger wagon after a long period of operation shows that a significant part of them is in satisfactory technical condition and has prospects for further safe operation. At present, passenger cars of various models and their modifications with an extended service life, which is approaching the limit, are in operation on the railway network of Ukraine. To resolve the issue of the possibility of further operation with an expired service life, their technical diagnosis is carried out. Due to insufficient funding for the purchase of new wagon, and insufficient capital repairs of passenger rolling stock, to ensure the smooth performance of passenger transport by rail, the task of conducting a comprehensive study of the strength characteristics of passenger wagon with carts, to determine residual resource and the possibility of further safe operation of passenger

wagon with carts within Ukraine outside the service life set by the manufacturer. Carrying out a set of works to determine the strength characteristics of non-seeded structures of passenger cars and bogie frames of KVZ-TSNII type will allow to extend the service life of technically serviceable bodies of passenger wagon and bogie frames without excessive costs for their complete renovation. Within the framework of this work the analysis of conditions of operation of passenger cars and carts is carried out, the process of control tests of bodies of passenger wagon and carts is described, research of strength characteristics of bodies of passenger cars and carts is carried out.

Key words: *passenger wagon, trolley, service life, tests, load-bearing structures, strength.*