

Модернізація та ремонт

УДК 629.4.01

DOI: 10.34029/2311-4061-2022-143-2-38-43

*Д-р техн. наук Кельріх М. Б.**Канд. техн. наук Кара С. В.**Ph.D. Прокопенко П. М.**Інженер Туровець Д.А.***УБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАГОПОВІРОЧНИХ ВАГОНІВ З ТЕРМІНОМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЩО ПЕРЕВИЩУЄ ПРИЗНАЧЕНИЙ****ENSURING THE OPERATION OF WEIGHING CARS WITH A SERVICE LIFE EXCEEDING THE INTENDED***Ключові слова: вагон, вагоповірочний вагон, візок, міцність, опір втоми, технічне діагностування, випробування.***Вступ**

З метою забезпечення виконання підприємствами АТ «Укрзалізниця» навантажувально-розвантажувальних робіт актуальною задачею є забезпечення експлуатації вагоповірочних вагонів моделей ВПВ-172, ВПВ-173, ВПВ-188, ВПВ-206, ВПВ-207, ВПВ-640 з візками УВЗ-9М понад призначений строк служби. Виходячи з цього, впливає необхідність проведення досліджень, спрямованих на оцінку фактичного ресурсу їх несучих конструкцій, що дасть можливість забезпечення їх подальшої безпечної експлуатації. Багаторічний досвід діагностування технічного стану вантажних та спеціальних вагонів після тривалої експлуатації показує, що призначений строк служби у більшості випадків далекий від граничного. Багато в чому це пов'язано, як з істотним запасом міцності, який закладений при проектуванні вагонів, так і з особливостями експлуатації кожного конкретного типу вагону.

Для забезпечення експлуатації вагоповірочних вагонів були вирішені наступні науково-технічні задачі:

- розробка та затвердження Програми та методики технічного діагностування (обстеження технічного стану та контрольних випробувань);
- проведення технічного діагностування вагонів;
- проведення контрольних випробувань основних типів кузовів та візків УВЗ-9М;
- визначення залишкового ресурсу несучих металевих конструкцій та призначення строку продовження терміну експлуатації вагонам.

Методи дослідження – методи класичної механіки, цифрової обробки сигналів, аналізу статичного та динамічного напружено-деформованого стану, оцінки запасу опору втоми та втомної довговічності металевих конструкцій.

Об'єкти досліджень

Об'єктами досліджень є вагоповірочні вагони моделей: ВПВ-172 (4-вісний), ВПВ-173 (4-вісний), ВПВ-188 (4-вісний), ВПВ-206 (4-вісний), ВПВ-207 (4-вісний), ВПВ-640 (6-вісний) та тривісні візки моделі 18-102 (УВЗ-9М) з вичерпаними призначеними строками експлуатації. У залежності від особливості конструкції та строків експлуатації було обрано чотири об'єкти випробувань: вагони моделей ВПВ-188, ВПВ-207, ВПВ-640 та тривісні візки УВЗ-9М (тип 18-102). Зовнішній вигляд вагоповірочного вагона типу ВПВ-207, як приклад, наведено на рисунку 1.

Порядок проведення робіт

В наслідок того, що вагоповірочні вагони типів ВПВ-172, ВПВ-173, ВПВ-188, ВПВ-206, ВПВ-207, ВПВ-640 є переобладнаними з інших типів вагонів, під час попереднього дослідження

їх технічного стану та розробки програми діагностування застосовувалися окремі положення технічних документів розроблених для базових вагонів: Програми та методики технічного діагностування «Вагон-платформи, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» ПМ.НДКТІ 007-2016 [1], Програми й методики технічного діагностування «Напіввагони, що виступили призначений термін служби» ПМ 021-2011 [2], Програми та методики технічного діагностування «Криті вагони, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» ПМ.НДКТІ 004-2016 [3].



Рис. 1 – Вагоповірочний вагон ВПВ-207

Спираючись на досвід проведення для вантажних вагонів різних типів та для групування порядку та методів діагностування і випробувань вагоповірочних вагонів в рамках єдиної методики була розроблена, погоджена та затверджена Програма та методика технічного діагностування (обстеження технічного стану, контрольні випробування) НДКТІ/НВЦ УІ 001-19 «Вагоповірочні вагони з продовженим призначеним строком служби» [4].

Критеріями для прийняття рішення про продовження строку служби вагоповірочного вагона є результати технічного діагностування кожного окремого вагона та результати дослідження залишкового ресурсу (контрольних випробувань) визначених об'єктів випробувань.

За створеною Програмою та методикою [4] випробування кузовів вагоповірочних вагонів проводяться у наступних обсягах та послідовності:

- 1) обстеження вагонів;
- 2) встановлення засобів вимірювальної техніки;
- 3) зважування вагона та окремих його вузлів;
- 4) скидання з клинів;
- 5) статичні випробування;
- 6) ударні випробування.

Обсяги та послідовність випробування візків:

- 1) обстеження візків;
- 2) встановлення засобів вимірювальної техніки;
- 3) ходові міцнісні випробування.

Контроль технічного стану вагоповірочних вагонів проводиться у наступних обсягах і послідовності:

- 1) отримання заявки за встановленою формою від організації балансоутримувача вагонів на проведення контролю технічного стану вагону;
- 2) визначення умов експлуатації вагона шляхом аналізу його конструкторської й техніко-експлуатаційної документації, ремонтної бази, характеру, обсягу, строків і якості проведених ремонтів, одержання даних про середньодобовий пробіг вагону;

3) безпосереднє діагностування вагона та (для моделей ВПВ-640) візків: вимір товщин несучих елементів, виявлення їх тріщин, зламів, обривів, вм'ятин, зносів, деформацій, корозійних пошкоджень);

4) заповнення карти контролю технічного стану вагона та порівняння товщин у контрольних точках з номінальними;

5) розробка та затвердження технічного рішення щодо продовження строку експлуатації вагона, з призначенням йому виду ремонту або заборони подальшої експлуатації.

Обробка отриманих значень при випробуваннях

Для реєстрації показань тензорезисторів та віброперетворювачів, що встановлюються на несучих елементах кузовів та візків вагонів, використовується програмно-апаратний комплекс, який складається з контролера сRIO NI 9012, з тензометричними модулями АЦП NI 9237 і модулями АЦП NI 9205 та спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого в програмному пакеті LabVIEW.

При обробці результатів випробувань отримані дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху вагонів, характерними особливостями ділянки шляху (пряма, крива, стрілки, тощо), режимам руху (розгін, гальмування) та визначається амплітудно-частотний склад напружено-деформованого стану в елементах конструкції вагону, у діапазоні від 0,3 Гц до 30,0 Гц, з метою оцінки коефіцієнту запасу опору втомі несучих конструкцій вагону, за формулою [5]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}} \geq [n], \tag{1}$$

де: $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі за симетричним циклом і встановленим режимом навантажень; $\sigma_{a,\varepsilon}$ – розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний строк служби конструкції; $[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Динамічна складова напружень розрахована наступним чином:

$$\sigma_{a,\varepsilon} = m \sqrt{\frac{T_p f_{\varepsilon}}{N_0} \sum_{j=1}^n K_{yrj} \sum_{vi}^{K_{vi}} P_{vi} \sum_{\sigma_{ai}}^{K_{\sigma_{ai}}} \sigma_{ai}^m P_{\sigma_{ai}}} \tag{2}$$

де: m – показник ступеню в рівнянні кривої втомі у амплітудах, $m = \frac{A}{(\bar{K}_b)_k}$, де: A – коефіцієнт

згідно [5], $(\bar{K}_b)_k$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі по відношенню до границі витривалості гладкого стандартного зразка; T_p – сумарний час дії динамічних напружень, $T_p = B \cdot T_K$, де B – коефіцієнт переведу календарного

розрахункового строку служби у роках в час непереривного руху в секундах, $B = 365 \frac{10^3 \cdot \bar{\zeta}_c}{\bar{V}}$, де:

$\bar{\zeta}_c$ – середньодобовий пробіг вагона, \bar{V} – середня технічна швидкість, T_K – проектний строк

служби деталі; f_{ε} – ефективна частота процесу, $f_{\varepsilon} = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{CT}}}$, де: a – коефіцієнт згідно [5], g –

прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, f_{CT} – статичний прогин ресорного підвішування або його еквівалент для необресорених частин візка; N_0 – база випробувань; σ_{ai} – рівень амплітуди динамічних навантажень; $P_{\sigma_{ai}}$ – частість (вірогідність) з'явлення амплітуд σ_{ai} напружень з рівнем в i інтервалі швидкостей; P_{vi} – доля часу, що приходить на експлуатацію в i інтервалі швидкостей; K_{yrj} – середня частка прямих, кривих ділянок колії та стрілочних переводів.

Для оцінки динамічної складової напружень у несучих конструкціях рами кузова були розраховані рівняння навантажень для всіх дослідних місць. Вагові коефіцієнти P_{vi} та K_{yrj}

прийнято згідно рекомендацій [5, 7]. Значення σ_{ai} та $P_{\sigma i}$ оцінено з даних тензометричних вимірювань. Значення $\sigma_{a,N}$ прийнято згідно [5].

Вибір режиму випробувань для оцінки ресурсу, обробка і оцінка отриманих результатів виконувалось на основі:

- лінійної гіпотези суми пошкоджень;
- кривої втоми у напруженнях: $\sigma_i^{mt} N_{i=\text{const}}$, де: N_i – кількість циклів коливань з амплітудою σ_i , m – показник степені.

При визначенні залишкового строку служби вагона враховувалося вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають в процесі експлуатації вагону. Розрахунок здійснювався за формулою:

$$T_p = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m \cdot N_0}{N_{cl} \sum j (\sigma_{aj}^I)^m P_j^I + N_{cII} \sum k (\sigma_{aj}^{II})^m P_k^{II}}, \quad (3)$$

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 зміцнюючої обробки швів, згідно [5] $m = 4$; N_{cl} N_{cII} – число циклів за 1 рік експлуатації для кожного із експлуатаційного навантаження (вертикального та поздовжнього); $\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$ – амплітуди динамічних напруг, приведені до симетричного циклу для кожного із експлуатаційних навантажень та їх діапазонів, МПа; P_j – ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{aj} .

$$\sigma_{a,N} = \sigma_{a,N}^- (1 - z_p v),$$

де: z_p – квантиль розподілення, відповідаючий односторонній ймовірності 95 %, $z_p = 1,645$, v – коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі.

Випробування припиняються при порушенні цілісності конструкції вагона, що загрожує безпеці подальшого проведення випробування, або якщо час напрацювання перевищить в 1,2 рази необхідний ресурс вузла. За розробленою і затвердженою Програмою та методикою [4] були проведені випробування обраних вагоповірочних вагонів, результати яких приведені у висновках.

Висновки

За результатами випробувань вагоповірочних вагонів встановлено:

По моделі вагону ВПВ-188

Максимальні напруження в елементах несучих металевих конструкцій вагона під час випробувань скидання з клинів (скручування) на його хребтовій балці, у зоні шворневої балки, склали 13,9 МПа. Максимальні напруження в елементах несучих металевих конструкцій вагона під час його випробування на міцність несучих металевих конструкцій при зіткненні, на шворневій балці балки склали 70,8 МПа. Сумарні напруження від дії вертикальних та поперечних навантажень в зоні шворневої балки дослідного вагону складають 91,4 МПа.

Найменше значення коефіцієнт запасу опору втомі відповідає зоні 3 (на хребтовій балці в зоні шворневої балки) і дорівнює близько 1,5. Всі інші значення коефіцієнтів запасу опору втомі складають 1,74 та вище. Розрахункове зниження коефіцієнту запасу опору втомі до мінімального відповідає строку служби 70,9 років.

На основі проведених досліджень обґрунтованим є встановлення граничного строку служби включно вагоповірочним вагонам типу ВПВ-188 – 70 років, при рекомендованому проведенні технічного діагностування не рідше ніж один раз у 2 роки.

По моделі вагону ВПВ-207

Максимальні напруження в елементах несучих металевих конструкцій вагона під час випробувань скидання з клинів (підскакування) на шворневій балці склали 12,9 МПа. Максимальні напруження в елементах несучих металевих конструкцій вагона під час

випробування на міцність його несучих металевих конструкцій при зіткненні на хребтовій балці у зоні шворневої балки склали 34,6 МПа. Сумарні напруження від дії вертикальних та поперечних навантажень в зоні шворневої балки дослідного вагону складають 65,2 МПа.

Найменше значення коефіцієнт запасу опору втомі відповідає зоні 6 (на шворневій балці) і дорівнює 1,61. Всі інші значення коефіцієнт запасу опору втомі складають 2,62 та вище. Враховуючи фактичні терміни експлуатації вагонові даного типу рекомендується встановлення нового призначеного служби щонайменше 51 рік, з можливістю подальшого його продовження після окремо проведених випробувань. Обґрунтованим прийнято встановлення призначеного терміну служби включно вагоповірочним вагонам типів ВПВ-172, 173, 206, 207, що мають подібні конструкції, – 50 років, при рекомендованому проведенні технічного діагностування не рідше ніж один раз у 2 роки.

По моделі вагону ВПВ-640

Максимальні напруження в елементах несучих металевих конструкцій вагона під час випробувань скидання з клинів (бокова хитавиця) на його хребтовій балці у зоні шворневої балки склали 23,7 МПа. Максимальні напруження в елементах несучих металевих конструкцій вагона під час випробування на міцність його несучих металевих конструкцій, при зіткненні, на хребтовій балці у зоні шворневої балки склали 95,3 МПа. Сумарні напруження від дії вертикальних та поперечних навантажень на хребтовій балці вагону в зоні шворневої балки складають 154,4 МПа, що вище ніж в інших типах вагоповірочних вагонів, але не перевищує допустимих значень.

Найменші значення коефіцієнту запасу опору втомі відповідає зонам 4 (на хребтовій балці в зоні шворневої балки) та у зоні 5 (також на хребтовій балці в зоні шворневої балки).

На основі проведених досліджень обґрунтованим є встановлення призначеного терміну служби включно вагоповірочним вагонам типу ВПВ-640 – 65 років, при обов'язковому щорічному проведенні технічного діагностування.

По візку 18-102 (УВЗ-9М)

В результаті проведених ходових міцнісних випробувань візка моделі 18-102 (УВЗ-9М) вагона ВПВ-640 у реальних експлуатаційних умовах (фактичний технічний стан візків та колії, що відповідає умовам експлуатації) у повністю завантаженому стані, $n = 1,75$ при розрахунковому строку служби 60 років включно є задовільним для подальшої експлуатації цієї моделі візка, при щорічному технічному діагностуванні. При цьому рекомендовано обмеження швидкості руху візків моделі 18-102 (УВЗ-9М), зі строком служби понад 55 років, на рівні 60 км/год.

Література

1. Програма та методика технічного діагностування «Вагон-платформи, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» : ПМ.НДКТІ 007-2016. – Київ : Філія «НДКТІ» УЗ, 2016. – 42 с. – (Нормативний документ АТ «Укрзалізниця»).
2. Програма й методика технічного діагностування «Напіввагони, що виступили призначений термін служби» : ПМ 021-2011. – Київ : Філія «НДКТІ» УЗ, 2011. – 34 с. – (Нормативний документ АТ «Укрзалізниця»).
3. Програма та методика технічного діагностування «Криті вагони, що вичерпали призначений заводом-виробником термін служби» : ПМ.НДКТІ 004-2016. – Київ : Філія «НДКТІ» УЗ, 2016. – 37 с. – (Нормативний документ АТ «Укрзалізниця»).
4. Програма та методика технічного діагностування (обстеження технічного стану, контрольні випробування) : НДКТІ/НВЦ УІ 001-19 «Вагоповірочні вагони з продовженим призначеним строком служби». – Київ : Філія «НДКТІ» УЗ, 2019. – 38 с. – (Нормативний документ АТ «Укрзалізниця»).
5. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) : ДСТУ 7598-2014. – [Чинний від 2015-07-01]. – Кременчук : ДП «УкрНДІВ», 2014. – 162 с. – (Нац. стандарт України).
6. Положение о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении. – Юрмала : Совет по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (Утверждено Советом 13-14.05.2010), 2010. – 19 с.

7. Вагоны грузовые. Требование к прочности и динамическим качествам (Вагоны вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей) : ДСТУ ГОСТ 33211:2017. – [Чинний від 2017-04-11]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 58 с. – (Нац. стандарт України).

8. Особливості визначення залишкового ресурсу вагоповірочних вагонів з терміном служби, який перевищує призначений. / [О.В. Фомін, П.М. Прокопенко, М.І. Горбунов, С.С. Сова] // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія «Транспортні системи і технології». – 2019. – Вип. 34. – С. 95-105.

9. Кара С.В. Проведення періодичних контрольних випробувань вантажних вагонів з метою підвищення ефективності їх використання / С.В. Кара, В.О. Петренко, П.М. Прокопенко // Science, society, education : topical issues and development prospects : proc. 7th International scientific and practical conference (June 7-9, 2020). – Kharkiv: SPC «Sci-conf.com.ua», 2020. – С. 328-330.

10. Fomin O.V. Development and application of cataloging in structural design of freight Car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 2. – P. 250-256.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Кельріх Мусій Борисович,

д.т.н., професор, професор кафедри вагонів та вагонного господарства Державного університету інфраструктури та технологій.
Вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 02000, Україна.
Тел.: +38 050 332 29 15.
E-mail: wagon.getut@ukr.net.

Кара Сергій Віталійович,

к.т.н., начальник управління інжинірингу філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» (НДКТІ) АТ «Укрзалізниця».
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 063 452 62 52.
E-mail: kara1520mm@gmail.com.

Прокопенко Павло Миколайович,

Ph.D., начальник науково-дослідного відділу динаміки та міцності філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця».
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 063 021 11 97.
E-mail: prokopenko1520mm@gmail.com.

Туровець Дмитро Андрійович,

провідний інженер науково-дослідного відділу динаміки та міцності філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 093 988 38 90.
E-mail: turovecd1520mm@gmail.com.