



УДК 629.463.001.63

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ЗЕРНОВОЗА З ПРОТЕРМІНОВАНИМ СТРОКОМ СЛУЖБИ

Фомін О.В., докт. техн. наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ,

*Прокопенко П.М., аспірант Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ,
Швець А.О., провідний інженер, Дніпровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро,*

*Лахай О.І., Свідерський Р.В., студенти, Державний університет інфраструктури та технологій,
м. Київ,*

В даній статті описаний процес проведення контрольних типових і ресурсних випробувань вагона-зерновоза моделі 19-752. Практичне виконання даних робіт дозволяє оцінити залишковий ресурс конструкції напіввагона.

Ключові слова: вагон-зерновоз моделі 19-752, рама кузова, хребтова балка, ударні випробування, ресурс, термін служби.

DETERMINATION OF THE RESIDUAL RESOURCE OF THE UNDERTAKING OF THE BASIC CONSTRUCTION OF A GRAIN CARRIAGE WITH A DELIVERED TERM OF SERVICE

O. Fomin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv,

*P. Prokopenko, graduate student, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv,
A. Shvets, Senior Engineer, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V.
Lazaryan, Dnipro,*

Lahay O.I., Sviderskiy R.V., students, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv.

This article describes the process of conducting model and resource tests of a wagon-grain truck model 19-752. The practical implementation of these works allows to estimate the residual life of the construction of the wagon.

Keywords: grain carriage of model 19-752, body frame, spine beam, impact tests, life, service life.

Актуальність та постановка проблеми. За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку зерновозів. Середній вік зерновозів в Україні становить 27,4 року, що на 2,8 року (на 12%) більше середнього значення по країнах СНД і Балтії. Також необхідно відзначити, що 69% українських зерновозів експлуатуються понад 27 років при нормативному терміні експлуатації 30 років. Для вирішення питання про можливість подальшої експлуатації вагонів-хоперів критих для перевезення зерна з вичерпаним



терміном служби проводиться їхнє технічне діагностування та контрольні випробування

Проведення даних контрольних і типових ресурсних випробувань дозволить оцінити та встановити залишковий ресурс несучих металевих конструкцій.

Метою роботи є висвітлення особливостей та результатів проведених комплексних випробувань вагонів для зерна є визначення характеристик міцності несучих конструкцій вагонів, їх залишкового ресурсу.

Завданням типових випробувань міцності при зіткненні: визначення і оцінка динамічних напружень і деформацій в несучих конструкціях вагона при прикладанні нормативних ударних сил через автозчепне обладнання.

Завданням випробувань на ресурс є визначення появи і розвиток пошкоджень і залишкових деформацій в несучих конструкціях вагона при багаторазовій дії поздовжніх навантажень через автозчепний пристрій.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- вибір дослідного зразка та аналіз його технічного стану;
- проведення модернізації за раніше розробленою процедурою;
- визначення швидкості корозії несучих елементів конструкції;
- проведення комплексних натурних випробувань модернізованого зразка, що включало: оцінку власних частот коливань, контрольні ударні випробування за загальною прийнятою схемою.

Аналіз літературних даних та визначення сучасного стану проблеми. Сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів, в основному спрямовані на поліпшення їх конструкцій за рахунок вдосконалення процедур їх проектування або впровадження нових матеріалів. Зокрема, стаття [4] 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 [5] відображають певні ними перспективні напрямки конструювання кузовів залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботах [8, 9] представлені нові підходи до вдосконалення динамічних розрахунків вагонних конструкцій і отримані на їх основі більш точні результати. Так, в роботі [8] описані характерні риси та результати динамічних характеристик вагонів-платформ. А робота [9] присвячена представленню запропонованих методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного вагонобудування нового покоління, які спроектовані з використанням передових матеріалів та технологій.



Наприклад, в [5] автори відображають результати комп'ютерного моделювання прототипу вантажного вагона з основними несучими елементами, виконаними без надлишкових зв'язків. Однак представлені в роботах [5, 8, 9] підходи орієнтовані на використання цілісних профілів і не дозволяють з достатньою точністю розрахувати впровадження зістикованих варіантів виконання балок в різних вузлах вантажних вагонів. В роботі [6] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в модулі ходової частини, також відображено їх вплив на модуль кузова але без урахування варіації його виконань. У статті [7] опубліковані результати робіт з генерування перспективних конфігурацій профілів, які можуть бути використані у виробництві різних видів рухомого складу. Але автори не пропонують даних про можливості створення перспективних профілів в зістикованих по довжині виконаннях. Робота [10] висвітлює запропоновані методи аналізу залізничних конструкцій майбутнього і способи розширення їх функціональності, проте в ній, так само як і в статті [5], відсутні дані про підвищення ділової функціональності немірних спеціальних профілів. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні грають відповідні підходи в проектуванні, наприклад в статті [11] представлений розроблений методологічний апарат для прийняття оптимальних рішень. Але він так само не надає вичерпних можливостей щодо формування оптимальних по довжині і конфігурації членованих балок.

З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про підсилення несучої здатності кузова вагона-зерновоза.

Необхідно сформулювати необхідність проведення модернізації та її особливості.

Проведені теоретичні дослідження з підвищення несучої здатності конструкції вагонів-зерновозів шляхом впровадження модернізації хребтової балки підтвердила її ефективність. Проте впровадження запропонованих та науково обґрунтованих технічних рішень, як можливої модернізації потребує експериментального підтвердження.

Викладення основного матеріалу. На випробування був представлений вагон-хопер критий для перевезення зерна моделі 19-752 з вичерпаним терміном служби масою 90 тон. (Рис. 1).

Випробування та діагностування технічного стану вагонів проведені на відповідність їх характеристик вимогам нормативної документації та з метою визначення терміну подовження їх експлуатації.

При проведенні технічного діагностування особу увагу привертають несучим елементам конструкції, а саме хребтовій та шворневій балкам та місцям їх з'єднання.



Рисунок 1 – Вагон-хопер критий для зерна моделі 19-752

Опис конструкції дослідного зразка. Вагон суцільнометалевий, саморозвантажений, бункерного типу. Рама, бічні і торцеві стіни і дах утворюють кузов вагона. У вагоні є шість розвантажувальних люків, по три з кожного боку, з механізмами для відкривання і закривання розвантажувальних люків.

Рама складається з хребтової балки, двох бічних, двох кінцевих, двох шворневих і двох середніх балок. Хребтова балка зварена з двох Z – подібних профілів №31, виготовлених з низьколегованої сталі марки 09Г2Д, перекритих в середній частині коником виготовлений з сталі марки 09Г2Д (4 мм) для кращого осипання вантажу і додає додатково міцність. У консольної частини хребтова балка посилена розеткою і упорами автозчепу. Кінцеві балки зварені з листів 4мм з Г – подібною формою поперечного перерізу. Шворневі балки коробчатого перетину з двох вертикальних (8мм) і двох горизонтальних (14 мм) листів сталі марки 09Г2С. Кожна середня балка складається з вертикального і нижнього листа і є сполучною ланкою між бункерами.

Випробування скидання з клинів. При випробуваннях скидання з клинів визначається частота і напруження. Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Відповідно до розробленої схеми контрольних точок проводиться установка тензорезисторів на надресорній балці та рамі вагона-хопера (рисунок 4, 5, 6, 7) . Під колеса вагона-хопера в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його накату на клин.

Завантажений вагон-хопер, накочується за допомогою локомотива на клини. Клини встановлюються по черзі (табл. 1):



під колеса одного боку хопера (імітація бічної хитавиці);
під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
під всі колеса візка (імітація галопування);
під всі колеса вагона (імітація підскакування);

Таблиця 1 – Схема установки клинів під колеса вагона

№	Вид коливань	Номер колісної пари			
		1	2	3	4
1	Підскакування				
2	Скручування кузова				
3	Галопування				
4	Бокова хитавиця				

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагонів визначають види коливання при проході і скиданні вагонів з клинів.

Вибір точок для визначення частот коливань та динамічних напружень при випробуваннях по скиданню з клинів виконується на підставі аналізу результату розрахунку напружено-деформованого стану несучої конструкції вагона.

Місця встановлення тензодатчиків при випробуваннях скидання з клинів та ударних випробуваннях

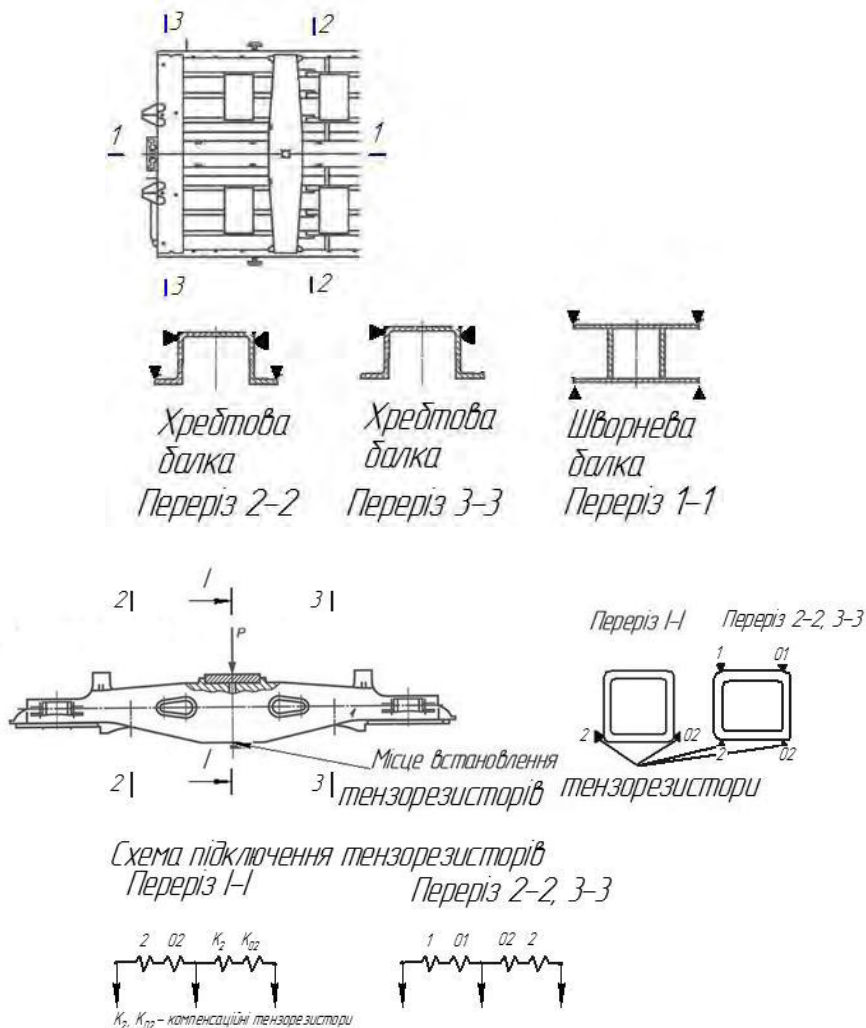


Рисунок 2 – Схема розміщення перерізів і установки тензорезисторів

Дослідне визначення міцності вагона-зерновоза при ресурсних ударних випробуваннях. При проведенні типових і ресурсних випробувань на співудар вимірюються наступні показники:

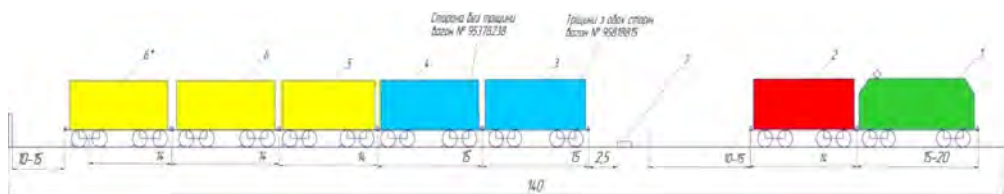
- швидкість набігання вагона-бойка;
- сила удару в автозчеп;
- кількість циклів до відмови;

- напруження в елементах вагона, які досліджуються.

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в момент удару, застосовували автозчеп-динамометр, обладнаний тензорезисторами і попередньо проградуйований статичним навантаженням на стенді і забезпечує достовірну реєстрацію сил в діапазоні не менше чим до 3 – 3,5 МН.

Випробування на співудар проводили на прямій горизонтальній ділянці залізничної колії за допомогою локомотива. Крім локомотива при цьому використовували наступне обладнання:

- Вагон-бойок масою 90,1 т;
 - Підпірне обладнання з трьох загальмованих вантажних вагонів загальною масою 300 т, переміщення яких обмежено рейковими башмаками.
 - Відстань між осями автозчепів дослідного вагона і вагона бойка 12 мм.
- Схема розміщення рухомого складу підчас випробувань.



1-локомотив; 2-вагон бойок; 3,4-зерновози; 5,5'-вагони підпору; 7- пристрій вимірювання швидкості.

Рисунок 3 – Розміщення рухомого складу підчас випробувань

Обладнання, яке використовували для випробувань, засоби вимірювальної техніки і пристрої перебували в технічно справному стані, мали оформлені паспорти, повірочні тавра.

Відповідно до розробленої схеми контрольних точок була проведена установка тензорезисторів на рамі вагона-хопера.

Порядок проведення типових і ресурсних випробувань на співудар:

- завантаження вагона до номінальної вантажопідйомності;
- зважування завантаженого вагона;
- вагон обладнали спеціальним автозчепом-динамометром, попередньо проградуйованим статичним навантаженням до 3,5 МН;
- установка вагона на ділянку залізничної колії для випробувань, а також пікету для визначення швидкості накочування вагона-бойка;
- випробування на співудар;
- проведено вимірювання напружень, швидкості накочування та сили удару вагона-бойка за допомогою засобів вимірювальної техніки;



- проведений огляд конструкції при типових випробуваннях після кожних 5 ударів, а при ресурсних після 10 ударів.

Співударі проводили способом накочування вагона-бойка на випробовуваний вагон з допомогою локомотива. Ресурсні випробування виконані окремими серіями співударів, що за обсягами ушкодження відповідають впливу дій за один рік експлуатації вагона. Після кожної серії співударів проведена перевірка технічного стану вагона та його устаткування..

Ударні випробування проведені з одиночним вагоном, який ударявся в групу загальмованих вагонними башмаками завантажених вагонів, що стоять на прямій ділянці залізничної колії.

При випробуваннях одиночного вагону завантажений вагон-бойок накочувався на вагон установлений у групі вагонів, що випробовується, локомотивом, який відчіплюється від вагона-бойка, при досягненні ним приблизно заданої швидкості співударяння за GPS модулем.

Співударі вантажних вагонів при типових випробуваннях виконані за швидкостями, які вказані в таблиці 2.

Таблиця 2 – Кількість співударів вантажного вагона в кожному інтервалі швидкості при знаходженні вагона хопера в підпертому та вільному стані при типових випробуваннях.

Діапазон швидкості зіткнення, км/год.	Кількість співударів	
	Підпертий	Вільний
Від 3 до 6 вкл.	7	7
Від 6 до 10 вкл.	7	7
Від 10 до 15.	3	3

Розрахунок режимів випробувань. В якості вихідного (експлуатаційного) спектру навантаження вагонів приймаються статистичні розподіли максимумів поздовжніх сил, які діють на вагон через автозчеп. Для розрахунку режимів випробувань на циклічну довговічність несучих елементів конструкції вагона застосовуємо узагальнені розподіли динамічних (ударних) поздовжніх сил, відкориговані шляхом виключення з початкових розподілів сил з квазістатичним характером дії.

Вибір режиму випробувань на ресурс, обробка і оцінка результатів випробувань виноконана на основі:

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

Визначення залишкового строку служби. При визначенні залишкового строку служби вагона враховується вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які



виникають в процесі експлуатації. Розрахунок здійснюємо за формулою [13]:

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

де T_p - розрахунковий залишковий строк служби вагона, роки;

σ_{aN} - 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] $m = 4$;

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

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

$N_{cl} N_{clI}$ - число циклів за 1 рік експлуатації для кожного із експлуатаційного навантаження (вертикального та повздовжнього);

$\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$ - 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} .

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

де z_p - квантиль розподілення, відповідаючий односторонній ймовірності 95%, $z_p = 1,645$;

v - коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі:

- для зварних рам і балок з листового і фасонного прокату при автоматичній зварці під слоєм флюса і в середині захисного газу $v = 0,05$;

- також при напівавтоматичному і ручній зварці $v = 0,07$;

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

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

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

$(K_{\sigma})_k$ - середнє значення коефіцієнта зниження порога витривалості рами по відношенню до порога витривалості гладкого стандартного зразка, $(K_{\sigma})_k = 4,5$.

10.3. N_c - кількість циклів вертикальних коливань завантаженого вагона, які виникають за його строк служби один рік:

$$N_c = 365 \cdot f_{\epsilon} \frac{L_c \cdot 0,5 \cdot 10^3}{\bar{V}_T} \cdot T_k; \quad (3)$$



T_k – розрахунковий строк служби вагона;
 L_c – проектний середньодобовий пробіг вагона (приймаємо 162км за даними ГІОЦ ПАТ «УЗ»);

$\bar{V}_T$ – проектна середня технічна швидкість руху вагона 22,4 м/с;

0,5 – коефіцієнт порожнього пробігу;

f_ϵ – ефективна частота процесу зміни динамічних навантажень, визначається за результатами скидання з клинів або за формулою.

K_{di} – визначається з використанням формул.

$$K_{di} = \frac{\bar{K}_{di}}{\omega} \sqrt{\frac{4}{\pi}} \ln \frac{1}{1-P(K_{di})} \quad (4)$$

Середнє можливе значення $\bar{K}_{di}$ визначається за формулами:

- При $V \geq 15$ м/с

$$\bar{K}_{di} = a + 3,6 \cdot 10^4 \cdot b \cdot \frac{V-15}{f_{\text{ст}}} \quad (5)$$

- При $V \leq 15$ м/с

$$\bar{K}_{di} = a \cdot \frac{V}{15} \quad (6)$$

Де a – коефіцієнт рівний для елементів кузова – 0,05;

b – коефіцієнт який враховує вплив кількості осей n у візку або групі візків під одним кінцем екіпажа,

$$b = \frac{n+2}{2n};$$

V – розрахункова швидкість руху, м/с;

$f_{\text{ст}}$ – статичний прогин ресорного підвішування, м.

Загальна розрахункова кількість циклів протягом розрахункового періоду експлуатації вагона для загальної мережі пробігу визначається за формулою :

$$N_{\text{заг}}^{\text{розр}} = N_{\text{заг}}^{y\delta} \cdot T_{\text{розр}} \cdot K_{\text{реж}} \cdot K_{y\delta} \quad (7)$$

де $N_{\text{заг}}^{y\delta}$ – загальна кількість циклів дії ударних поздовжніх сил за 1 рік середньої мережі експлуатації на конструкцію вагона даного типу, для розподілів (без урахування квазістатичних сил) становить:

- для вантажних вагонів $N_{\text{заг}}^{y\delta} \approx 20200$ циклів;

$T_{\text{розр}}$ – розрахунковий період експлуатації вагона, (1 рік.);

$K_{\text{реж}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив порожнього пробігу вагона, при оцінці циклічної довговічності несучих елементів $K_{\text{реж}}$, (для вагона зерновоза $K_{\text{пор}} = 0,5$;

$$K_{\text{реж}} = 1 - K_{\text{пор}} \quad (8)$$

$K_{y\delta}$ – коефіцієнт, що враховує несиметричність навантаження конструкції вагона по його довжині при зіткненнях і рівномірності додатки ударних сил до автозчеплення з обох кінців вагона (при оцінці циклічної довговічності елементів консольної частини вагона рекомендується приймати рівним 0,6).



Вибір режиму навантаження здійснюється з урахуванням співвідношення середньодобового пробігу до загальномережевого.

Для вагонів-хоперів для зерна:

$$N_{\text{зрг}}^{\text{розр}} = 20200 \cdot 1 \cdot 0,50 \cdot 0,6 \cdot \frac{162}{290} = 3393 \text{ циклів за 1 год.};$$

Для дослідження впливу сил розтягування на міцність заклепкового з'єднання виконано після випробувань на стискаючі ударні навантаження в об'ємі 300-400 ударів проведені випробування на розтягування в кількості до 100 циклів з реєстрацією показників сили розтягу та напружень.

$N_{\text{уд}}$ – розрахункове число зіткнень за один рік експлуатації вагона.

Випробування на ресурс при зіткненні. В процесі випробувань після кожного зіткнення визначали сумарне накопичення пошкоджень $D_u(n)$ за формулою:

$$D_u(n) = \sum_{i=1}^n (F_{1,i}^m + F_{2,i}^m), \quad (9)$$

Де i – порядковий номер зіткнення;

n – число зіткнень;

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

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

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

Сумарне накопичене пошкодження при випробовуваннях порівнювали з розрахунковим пошкодженням $D_{\text{розр}}$:

$$D_{\text{розр}} = N_{\text{розр}} \sum_k p_k F_k^m, \quad (10)$$

Де F_k – середнє значення сили;

p_k – частість сили;

Частоту визначаємо за формулою:

$$v_e = \frac{a}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{f_{\text{ст}}}} \quad (11)$$

Де a – коефіцієнт що дорівнює 0,05

g – прискорення вільного падіння 9,81 м/с²

$f_{\text{ст}}$ – статичний прогин 0,005 м.

Тоді строк служби вагона хопера:

$$T = \frac{\sum D}{D_p}. \quad (12)$$

Матеріали даної публікації отримано при виконання проекту ДФФД.

Висновки. В ході проведення натурних випробувань працівниками НВЦ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» було відібрано вагон-зерновоз моделі 19-752. В ході відбору було проаналізовано його технічний стан який відповідав всім нормативним документам. Наступним етапом є визначення швидкості корозії несучих елементів вагона зерновоза,



його максимальний показник є 0,05 мм за рік що не перевищує допустимого значення. Було проведено випробування по скиданню з клинів. Максимальні напруження склали 4 МПа, що не перевищує допустимі значення в 120 МПа. В ударних випробуваннях напруження склали 97,5, 116 МПа, що не є максимально допустимими 120 МПа.

Список використаних джерел

1. Фомін, О.В. Модернізація елементів стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва [Текст] / О.В. Фомін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. №26. – С.111-115.
2. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луханин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швець // Зб. наук. праць Донецького інституту заліз. тр-ту. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 234–241.
3. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Sapronova S., Bambura O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
4. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas [Text] / M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2014, №6. – P.64-67.
5. Макаренко, М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону [Текст] / М. В. Макаренко // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
6. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності [Текст] / В.І. Мороз // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
7. Швець, А. О. Вплив подовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники / А. О. Швець // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 5(77). – С. 115–128. doi: 10.15802/stp2018/146432.
8. Lovska A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision [Text] / A. A. Lovska, A. Rybin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3 – p. 4 – 8.
9. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст] / О.В. Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
10. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. // Scientific Bulletin of National Mining University. 2017. Issue 6. P. 89–96.
11. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway [Text] / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovskiy, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
12. Фомін О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, Р.Ю. Дьомін, Г.П. Бородай, В.В. Фомін, О.В. Бурлуцький // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». –

Київ: ДНДЦ УЗ, 2013. – № 5/6(102/103). – С. 95–104.

13. Kondratiev A. Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper [Text] / A. Kondratiev, M. Slivinsky. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol 6/5 (96). – Pp. 42 – 48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387

References

1. Fomin, O.V. (2011) Modernization of elements wall lateral of universal freight gondola domestic production// Scientific-and-technical (Sci.-Tech.) collected works – Donetsk: DonIZT,. – Vol. No. 26.- pp.111-115 [in Ukrainian]
2. Lukhanin N. I., Myamlin S. V., Neduzhaya L. A., Shvets A. A. Dinamika gruzovykh vagonov s uchetom poperechnogo smeshcheniya telezhek [Freight cars dynamics, taking into account transversal displacement of the bogies]. Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2012, issue 29, pp. 234-241. (in Russian).
3. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Sapronova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
4. Kelykh M., Fomin O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 6, 64-67.
5. Makarenko, M. V. (2014) Kompleksnyi analiz ekonomichnogo efektu vid zhyttievoho tsykladu suchasnoho napivvagonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola]. Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy» - Scientific and Practical Journal "Railway Transport of Ukraine", Vol 5, 107 [in Ukrainian].
6. Moroz, V.I. (2009) Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya pivvagoniv za kryteriyem minimal'noyi materialoyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. Zbirnyk naukovykh prats - Collection of scientific papers, Vol. 111, 121-131 [in Ukrainian].
7. Shvets, A. O. (2018). Influence of the longitudinal and transverse displacement of the center of gravity of the load in gondola cars on their dynamic indicators. Science and Transport Progress, 5(77), 115-128. doi: 10.15802/stp2018/146432 (in Ukrainian)
8. Lovska A., Rybin A. (2015). The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 3, 4–8.
9. Fomin, O. V. (2015) Vprovadzhennya kruglikh trub v nesuchI sistemi naphvagoniv z zabezpechennym ratsionalnih pokaznikiv mitsnostI [Introduction of round pipes in the carrier systems of gondolas with the provision of rational indicators of strength]. Naukoviy zhurnal – «Tehnologicheskii audit i rezervyi proizvodstva» – Science magazine - "Technological audit and production reserves", Vol. 4/1(21), 83-89 [in Ukrainian].
10. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. Scientific Bulletin of National Mining University, 6, 89–96.
11. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway [Text] / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovskiy, O. Fomin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
12. Fomin O.V. Matematicheskiye modeli osnovopolagayushchikh pokazaniy bazovykh



nesushchikh elementov kuzova / O.V. Fomin, O.A. Logvinenko, R.YU. D'omin, G.P. Boroday, V.V. Fomin, O.V. Burluts'kiy // Naukovo-prakticheskiy zhurnal «Zalíznichniy transport Ukraïni». - Kiïv: DNDTS UZ, 2013. - № 5/6 (102/103). - S. 95-104.

13. Kondratiev A. Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper [Text] / A. Kondratiev, M. Slivinsky. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol 6/5 (96). – Pp. 42 – 48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387