

УДК 629.463.001.63

В.О. Шушмарченко, В.В. Федоров, А.М. Стринжа, Д.В. Федосов-Ніконов

ЩОДО ПИТАННЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ВАГОНІВ - ЦИСТЕРН ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

В останні роки відзначається стійка тенденція збільшення обсягів перевезень залізничним транспортом небезпечних вантажів. Наявність справного рухомого складу і його задовільні техніко - економічні параметри безпосередньо впливають на ефективність використання рухомого складу для забезпечення вантажоперевезень та безпеку руху.

У найближчі п'ять років під списання потрапить приблизно 40-45% вагонів-цистерн, які призначені для перевезення небезпечних вантажів. У той же час значна частина цього парку, незважаючи на закінчення призначеного терміну служби, є задовільною за своїми техніко-економічними характеристиками та може експлуатуватися. Для продовження терміну служби необхідно визначення остаточного ресурсу вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів. Визначається остаточний ресурс несучих частин та самої цистерни за декількома критеріями оцінки. Аналіз теоретичних досліджень в області продовження термінів служби вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів та накопичений багатий досвід діагностування технічного стану таких вагонів дозволив удосконалити алгоритм проведення випробувань та діагностування їх технічного стану.

Діагностування технічного стану вагонів проводиться відповідно до «Положення про продовження термінів служби вантажних вагонів, які курсують в міжнародному сполученні» [1], затвердженого на засіданні Ради по залізничному транспорту країн СНД, Грузії, Литовської, Латвійської і Естонської республік (протокол № 52 від 13-14 травня 2010 року). Цим документом встановлюється порядок продовження терміну служби вантажних і рефрижераторних вагонів держав - учасниць Угоди про спільне використання вантажних і рефрижераторних вагонів в міжнародному сполученні, призначений термін служби яких закінчується або закінчився. Основним критерієм встановлення можливості продовження терміну служби вантажних і рефрижераторних вагонів є наявність у них залишкового ресурсу (або можливості його відновлення), що оцінюється шляхом проведення технічного діагностування. Збільшення призначеного терміну служби вантажних вагонів, обумовлює необхідність проведення низки досліджень, найважливішою складовою частиною яких є обстеження технічного стану вагонів в експлуатації, а також обґрунтування можливості такого продовження шляхом проведення контрольних (ресурсних) випробувань конструкції вагона.

© *Шушмарченко В.О., Федоров В.В., Стринжа А.М., Федосов-Ніконов Д.В., 2020*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Вирішення питання щодо продовження терміну служби вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів вимагає розробки методики, яка має на увазі проведення досліджень, що включають збір і первинну обробку інформації про технічний стан вагонів, обробку та аналіз отриманої інформації, визначення показників надійності, дослідження залежності корозійної стійкості матеріалу від часу експлуатації, оцінку залишкового ресурсу конструкції вагона. Критерієм оцінки залишкового ресурсу вагона є вичерпання конструкцією несучої здатності. Вибір оціночного показника для визначення залишкового ресурсу проводиться виходячи з результатів діагностування вагона. Одним з головних показників для визначення залишкового ресурсу є межа витривалості. Вихідним співвідношенням для визначення терміну служби несучих елементів конструкції вагона є вираз [2], [3]:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}^u}{\sigma_3}, \quad (1)$$

де n – коефіцієнт запасу втомної міцності;

$\sigma_{a,N}^u$ – розрахункова межа витривалості при симетричному циклі напружень, наведеної до бази випробувань $N = 10^7$, отриманої на основі проведення стендових вібраційних випробувань несучих елементів, МПа; [3];

σ_3 – еквівалентне розрахункове експлуатаційне напруження, наведене до напруження симетричного циклу і бази випробувань $N = 10^7$, МПа;

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

Межа витривалості натурної деталі [2]:

$$\sigma_{a,N}^u = \bar{\sigma}_{a,N}^u (1 - z_p \nu_{\sigma_{a,N}}), \quad (2)$$

де $\bar{\sigma}_{a,N}^u$ – медіанне значення межі витривалості деталі, МПа;

z_p – квантиль розподілу за ймовірності $P = 0,95$;

$\nu_{\sigma_{a,N}}$ – коефіцієнт варіації межі витривалості деталі, прийняте для сталей рівним 0,07.

При визначенні межі витривалості натурних деталей шляхом проведення вібраційних випробувань використовується формула [2]:

$$\bar{\sigma}_{a,N}^u = \sqrt[m]{\frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^k \sigma_{ui}^m n_{ui}}, \quad (3)$$

де $\sigma_{a,N}^u$ – межа витривалості натурних деталей, що визначається в результаті стендових вібраційних випробувань, МПа;

$m = 4$ – рекомендоване значення показника ступеня кривої втоми елементів вагона;

σ_{ui} – величини напружень, отриманих в процесі вібраційних випробувань і приведених до еквівалентних симетричним, МПа;

n_{ui} – кількість циклів навантаження, реалізоване на i -ому інтервалі;

k – кількість інтервалів навантаження.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Згідно нормативної документації вплив асиметрії циклів динамічних напружень на накопичення втомних пошкоджень в конструкції не враховується, тому приймається $\sigma_{ui} = \sigma_{ua_i}$.

Разом з тим, для проведення перевірного розрахунку коефіцієнта запасу опору втоми і оцінки залишкового ресурсу, вплив асиметрії циклів навантаження враховується шляхом його приведення до амплітуд еквівалентних симетричних циклів з використанням ідеалізації Гудмана діаграми граничних амплітуд циклів і приведення їх до еквівалентної амплітуд симетричного граничного циклу за подобою амплітуд [4]:

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{\sigma_{ua_i}}{(1 - \sigma_{um_i} / \sigma_{\epsilon})}, \quad (4)$$

де σ_{ua_i} – амплітуди динамічних напружень, отримані в процесі випробувань, МПа;

σ_{um_i} – амплітуди постійних складових напруг, реалізованих в процесі випробувань, МПа;

σ_{ϵ} – межа міцності елемента рівна межі міцності матеріалу, МПа.

Розрахункові величини амплітуд динамічних напружень визначаються за формулою [2]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\frac{T_p f_{\Sigma} d_{\Sigma}}{N_0}}, \quad (5)$$

де T_p – сумарна дія експлуатаційних навантажень, с;

f_{Σ} – центральна (ефективна) частота процесу зміни динамічних напружень, Гц;

d_{Σ} – питома напружування несучої конструкції (визначає відмінність умов експлуатації однотипних несучих елементів).

Ефективна частота зміни динамічних напружень визначається за формулою [2]:

$$f_{\Sigma} = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{f_{cm}}}, \quad (6)$$

де a коефіцієнт, що дорівнює: $a = 1,1$ та $a = 1,6$ відповідно для кузова вагона і обрешетених частин візка;

$g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с²;

f_{cm} – статистичний прогин вагона, м.

Величина T_p згідно з діючими нормативами обчислюється за формулою [2]:

$$T_p = 3600 \cdot T_k \cdot \frac{L_{\Sigma}}{V}, \quad (7)$$

де T_k – проектний (календарний) строк служби вагона, р;

L_{Σ} – середньорічний пробіг вагона, км;

V – середня технічна швидкість руху вагона, м/с.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Оцінка ресурсу елемента за критерієм втомної довговічності при багатоциклових динамічних навантаженнях здійснюється за формулою [2]:

$$T_k = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right) \cdot N_0}{Bf_{\sigma} d_{\sigma}}, \quad (8)$$

де питоме напруження d_{σ} визначається відповідно до формули [2]:

$$d_{\sigma} = \sum_{j=1}^n K_{y_{\sigma_j}} \sum_{i=1}^{k_{\sigma_j}} P_{v_i} \sum_{\sigma_{\sigma_i}}^m \sigma_{\sigma_i} P_{\sigma_i}, \quad (9)$$

де $K_{y_{\sigma_i}}$ – середня частка протяжності прямих ($i=1$), кривих ділянок колії ($i=2$) та стрілочних переводів ($i=3$) в загальній довжині залізничних ліній;

P_{v_i} – частка часу, що припадає на експлуатацію в i -ому інтервалі швидкостей;

σ_{σ_i} – рівень (розряд) амплітуди динамічних напружень, МПа;

P_{σ_i} – частість (ймовірність) появи амплітуд напружень з рівнем σ_{σ_i} в i -ому інтервалі швидкостей руху вагона, 1/МПа.

Довговічність конструкції вагона визначається за формулою (8), в якій коефіцієнт запасу приймається рівним одиниці ($[n]=1$), а залишковий ресурс – як різниця довговічності і призначеного технічною документацією терміну служби.

Однак, крім визначення остаточного ресурсу, згідно вимог правил по перевезенню небезпечних вантажів, корпус цистерни та її обладнання повинні пройти перевірки, що дозволять видавати сертифікати відповідності, перевірку модифікації цистерни та її вихідного зразку, проміжні, періодичні та позапланові перевірки (за необхідності).

Працівниками ДП «УкрНДІВ» була розроблена «Типова програма та методика перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом» [5]. Різноманітність моделей котлів цистерн, призначення і технічних характеристик обумовило необхідність проведення аналізу парку вагонів-цистерн, уточнення необхідних обсягів випробувань та удосконалення алгоритму проведення випробувань і технічного діагностування відповідно до призначення вагонів-цистерн. Проведений аналіз парку та технічного стану вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів, показав, що основну частину парку складають вагони-цистерни:

- для перевезення пропану моделі 15-1407;

- для перевезення пропан-бутану моделей 15-1519, 15-1780;

- для перевезення аміаку моделей 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597;

- для перевезення хлору моделей 15-1409, 15-155.

Зовнішній вигляд вагонів-цистерн для перевезення нафтопродуктів зображено на рисунку 1.

Основні елементи конструкції перелічених вище вагонів-цистерн, такі як хребтові і шворневі балки та котли, часто не мають критичних пошкоджень, в тому числі і неприпустимого корозійного зносу. Виключати з інвентарного парку такі вагони, тобто відправляти їх в металобрухт при існуючих цінах на нові вагони, було б щонайменше недоцільно. Ці вагони-цистерни знаходяться, у більшості випадків, в задо-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



Рисунок 1. Вагони-цистерни для перевезення нафтопродуктів моделі 15-9993 та моделі 15-776

вільному технічному стані. Роботи щодо продовження строку служби вагонів-цистерн проводилися ще починаючи з 90-х років минулого століття [6]. Основні технічні характеристики вагонів-цистерн наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Технічні характеристики вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів

Модель	Призначення	Матеріал кузовова	Тара, т мін макс	Вантажо- підем- ність, т	Об'єм, м ³	Діаметр котла внутріш- ній, мм	Строк служ- би	
15-1407	Для пропану	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12	34,6 36,7	22,9	54,0	2600	40	
15-1408	Для аміаку		32,3 36,7	30,7	54,0	2600	20	
15-1408 01			32,5 34,5	31,2	55,0	2600	40	
15-1408 02			32,4 32,4	31,2	54,8	2600	40	
15-1440			32,0 33,5	30,7	54,0	2600	20	
15-1597			35,7 38,8	43,0	76,0	3000	40	
15-1409			Для хлору	28,9 30,7	47,6	38,7	2200	24
15-1556				27,2 30,0	57,5	46,0	2400	24
15-1519				Для пропану	34,8 38,8	46,0	75,7	3000
15-1780			Для бутану	34,8 36,8	52,1	83,8	3200	40
15-1443			Для нафто- продуктів	23,2 24,8	67,0	73,1	3000	32
15-1547	24,8			68	85,6	3200	32	

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Після проведеного аналізу парку та технічного стану вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів розроблено алгоритм перевірки для видачі сертифікату відповідності. Перевірка повинна проводитись у відповідності з наступними пунктами:

1. Перевірка документів.
2. Перевірка розрахункових технічних даних.
3. Перевірка внутрішньої частини цистерни.
4. Перевірка зовнішньої частини цистерни.
5. Гідравлічне випробування тиском.
6. Випробування на герметичність.
7. Визначення місткості.
8. Перевірка рами та іншого конструкційного обладнання пересувних цистерн та контейнерів-цистерн.
9. Протоколи випробувань, сертифікати.
10. Маркування.

Кожний пункт включає декілька підпунктів. Даний алгоритм перевірки детально наведений у роботі [5].

Для безпечного виконання робіт з котлами цистерн при технічному діагностуванні використовують газоаналізатори різних типів. На рисунку 2 наведений газоаналізатор ФП 11.2 к з датчиком та його основні технічні характеристики.

Рисунок 2. Газоаналізатор ФП 11.2 к з датчиком та його основні технічні характеристики

	<p>Технічні характеристики ФП 11.2 к: Маса, габарити: <u>маса, г. габарити, мм.</u> без штанги заірної 430 185 x 60 x 35 Діапазон робочих температур, °С: від -30 до +50 Час автономної роботи, ч.: 8 Час виходу на 90% значення показань, с., не більше: 15 Номінальна продуктивність мікронасоса, л / хв., не менше: 0,3 Діапазони вимірювання, показань: <u>вимірювання, % показань, %</u> об'ємна частка СН4 0 - 2,50 0 - 5,00 об'ємна частка С3Н8 0 - 1,00 0 - 2,00 Поріг спрацьовування сигналізації: <u>поріг, % межа похибки, %</u> об'ємна частка СН4 1 ± 0,05 об'ємна частка С3Н8 0.4 ± 0,02 Межі основної та додаткової абсолютної похибки вимірювання: об'ємна частка СН4 ± 0,25 ± 0,05 об'ємна частка С3Н8 ± 0,10 ± 0,02 Час прогріву, с., не більше: 20</p>
---	---

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Перед початком обстеження котлів цистерн всередині проводять замір остатків парів. Тільки після підтвердження відсутності парів, або незначної їх концентрації проводять огляд та заміри всередині котла цистерн.

Газоаналізатори відрізняються по принципу дії: універсальні газоаналізатори призначені для визначення декількох парів небезпечних речовин зі змінними датчиками, також існують газоаналізатори розраховані для визначення 1-го найменування пару. Основними типами газоаналізаторів, що використовуються при обстеженні вагонів-цистерн працівниками ДП «УкрНДІВ» є газоаналізатори типу ФП різних модифікацій з датчиками.

Висновки:

✓ Проведено аналіз стану парку вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів. За результатом аналізу встановлено, що найбільшу кількість вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів складають вагони-цистерни для перевезення нафтопродуктів.

✓ Удосконалено методику диференційованої оцінки залишкового ресурсу кожного вагона як з використанням результатів ресурсних випробувань, так і фактичних геометричних параметрів несучих елементів.

✓ Проведено аналіз конструктивних особливостей вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів та наведено технічні характеристики основних типів вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів.

✓ Можливо отримувати прогнозовану граничну оцінку залишкового ресурсу по групі вагонів-цистерн, виходячи з фактичного ресурсу вагона-аналога за коефіцієнтами запасу опору втомі елементів конструкції.

✓ Наведено основні стадії перевірки вагонів-цистерн для видачі сертифіката відповідності та продовження терміну експлуатації.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Положення про продовження термінів служби вантажних вагонів, які курсують в міжнародному сполученні». Затверджені протоколом № 52 від 13-14 травня 2010 р., 26 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г.
3. РД 24.050.37.95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества : М., 1995 г. -101 с.
4. Когаев В.П Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В. П. Когаев – М. : «Машиностроение», 1977. – 232 с.
5. ТПМ 4.3.00751 «Типова програма та методика перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом», ДП «УкрНДІВ», 2019, 41 с.
6. Исследования, разработка и обоснование рекомендаций по увеличению назначенного полного срока службы вагонов цистерн моделей 15-1406 15-1404, 1408 эксплуатационного парка ПО «Ангарскнефтеоргсинтез: отчет о НИР (этап 2) / ГП «Украинский научно- исследовательский институт вагоностроения»; рук. Лагута В. С., исп. Донченко А. В., Водяников Ю. Я. – Кременчуг, 1992 г. – 220 с – № ГР 01910039382, инв. № 638.