

Фомін О.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

Прокопенко П.М.

Державний університет інфраструктури та технологій

Бурлуцький О.В.

Український державний університет залізничного транспорту

Фоміна А.М.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

КОНТРОЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

За останні роки відбулося значне старіння експлуатаційного парку вантажних вагонів, у тому числі вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів. Сьогодні на залізницях України перебувають в експлуатації вагони-цистерни з терміном служби, який перевищує встановлений заводом-виробником. Аналіз технічного стану вагонів-цистерн після проведення планових видів ремонту показує, що значна їх частина перебуває в задовільному стані. Для вирішення питання про можливість подальшої безпечної експлуатації з вичерпаним терміном служби проводиться їхнє технічне діагностування та контрольні випробування.

Проаналізувавши парк та технічний стан вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів, ми виявили, що основну частину парку складають вагони-цистерни моделі 15-1407 для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597, 15-1619 для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 для перевезення пропану-бутану, проте ці моделі вагонів перебувають у гарному технічному стані. Перелічені вагони-цистерни конструктивно відрізняються один від одного за такими ознаками: матеріал, з якого виготовляється котел цистерни; діаметр котла; кількість обичайок в котлі; захисне обладнання днища котла від пошкоджень під час аварій; захист арматури котла.

Аварійна ситуація (особлива ситуація) – це ситуація, яка виникає в процесі перевезення внаслідок технічної несправності (відмови) частин залізничної транспортної системи або виникнення екстремальних зовнішніх чинників чи їх поєднань і яка характеризується порушенням дієздатності системи або створенням небезпечних умов експлуатації. Прикладами аварійних ситуацій можуть бути такі інциденти: удар автозчепу в днище котла цистерни, саморозчеп вагонів, підвищення тиску в котлі цистерни вище робочого тощо.

Ключові слова: вагон-цистерна, ударні випробування, аварійні випробування, пошкодження, герметичність, продовження строку експлуатації.

Постановка проблеми. Потрібно обґрунтувати необхідність проведення контрольних випробувань вагонів-платформ.

Проаналізувавши парк та технічний стан вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів, ми виявили, що основну частину парку складають вагони-цистерни моделі 15-1407 для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597, 15-1619 для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 для перевезення пропану-бутану, але вони перебувають у гарному технічному

стані. Перелічені вагони-цистерни конструктивно відрізняються один від одного такими ознаками: матеріал, з якого виготовляється котел цистерни; діаметр котла; кількість обичайок в котлі; захисне обладнання днища котла від пошкоджень під час аварій; захист арматури котла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ми проаналізували сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів. Зокрема, стаття [1] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і осо-

бливостей їх проектування, однак у ній обмежено представлені можливості застосування таких інновацій для вагонів. Автори роботи [2] відображають певні перспективні напрями динаміки залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботі [3] представлені результати, а також особливості проведених теоретичних та експериментальних досліджень з впровадження стикованого виконання хребтової балки вагонів-окашиєвозів. Робота [4] присвячена представленню перспективних напрямів проектування рам візків та їх особливостей. У роботі [5] автори відображають результати комплексного аналізу економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. У роботах [6; 12] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в математичному записі задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. У статті [7] опубліковані результати досліджень з визначення впливу поздовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники. Робота [8] висвітлює дослідження динаміки вагона-платформи, які дозволяють підвищити експлуатаційну безпеку вагонів при комбінованих перевезеннях та мотивуватимуть проектування вагонів нового покоління для використання у комбінованому міжнародному сполученні. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні відіграють відповідні підходи в проектуванні. Наприклад, у роботах [9; 10] представлено впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. У роботах [11; 13] представлені особливості та результати вико-

наного аналізу нового напрямку енергозбереження на залізничному транспорті, що ґрунтується на зменшенні опору руху, пов'язаного з втратами потужності на спрямування екіпажів рейковою колією. З огляду на сказане можна дійти висновку, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів щодо випробування та технічного діагностування вагонів-цистерн для перевезення небезпечних вантажів, особливо в умовах аварійних ситуацій.

Аварійна ситуація (особлива ситуація) – це ситуація, яка виникає в процесі перевезення внаслідок технічної несправності (відмови) частин залізничної транспортної системи або виникнення екстремальних зовнішніх чинників чи їх поєднань і яка характеризується порушенням дієздатності системи або створенням небезпечних умов експлуатації. Прикладами аварійних ситуацій можуть бути такі інциденти: удар автозчепу в днище котла цистерни, саморозчеп вагонів, підвищення тиску в котлі цистерни вище робочого тощо.

Постановка завдання. Мета статті – висвітлення теоретичних та практичних особливостей проведення технічного діагностування, контрольних випробувань та випробувань з імітацією аварійних ситуацій вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основну частину парку вагонів-цистерн для перевезення особливо небезпечних вантажів складають вагони-цистерни моделі 15-1407 для перевезення пропану, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597 для перевезення аміаку, 15-1409, 15-1556 для перевезення хлору, 15-1519, 15-1780 для перевезення пропану-бутану. Їхні технічні характеристики наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики вагонів-цистерн

Модель	15-1407	15-1408	15-1440	15-1597	15-1409	15-1556	15-1519	15-1780
Призначення	Для пропану	Для аміаку	Для аміаку	Для аміаку	Для хлору	Для хлору	Для пропану	Для бутану
Матеріал кузова	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,	09Г2С, 09Г2Д, 09Г2,
Тара, т								
min	34,6	32,3	32,0	35,7	28,9	27,2	34,8	34,8
max	36,7	36,7	33,5	38,8	30,7	30,0	38,8	36,8
Вантажопід'ємність, т	22,9	30,7	30,7	43,0	47,6	57,5	46,0	52,1
Об'єм, м ³	54,0	54,0	54,0	76,0	38,7	46,0	75,7	83,8
Внутрішній діаметр, мм	2600	2600	2600	3000	2200	2400	3000	3200
Строк служби	40	20	20	40	24	24	40	40



Рис. 1. Вагон-цистерна моделі 15-1408-02



Рис. 2. Вагон-цистерна моделі 15-1556

Досвід експлуатації залізничного транспорту показує, що значна частина аварійних ситуацій на залізничних коліях пов'язана з вагонами-цистернами, які перевозять рідкі вантажі широкого асортименту, в тому числі скраплений газ, нафтопродукти, концентровані кислоти, токсичні та вибухонебезпечні продукти хімічного походження. Частіше такі аварії супроводжуються наїздом вагона на вагон та перекиданням цистерн, в результаті чого може відбутися порушення цілісності котла (пробоїна днища, пошкодження горловини для наливу вантажу, розрив обичайки в зоні з'єднання котла з рамою тощо) і витікання екологічно небезпечного вантажу. Для більшості аварійних ситуацій, які виникають у разі сходження вагона з рейок, наїзду вагона на вагон або перешкоду характерним являється саморозчеплення вагонів і удар автозчепом сусіднього вагона або його довгим вантажем в днище котла цистерни (рис. 3).

Сьогодні як засоби захисту днищ вагонів-цистерн в аварійних ситуаціях використовуються додаткові металеві накладки на днища (фальшднища) або торцеві щити. Накладні металеві елементи, посилюючи нижню частину днища та повторюючи його форму, використовуються на цистернах моделей 15-1619, 15-1408 (рис. 4). Дані захисні елементи володіють низькою енергоємністю, оскільки щільно прилягають до днища цистерни.



Рис. 3. Пошкодження котла цистерни



Рис. 4. Вагон-цистерна для пропану

Враховуючи досвід експлуатації та результати обстеження технічного стану, можемо визначити ймовірність відмов елементів рами вагона-цистерни P_i ($i=1, 2, 3 \dots N$, де N – кількість елементів) за такою формулою:

$$P_i = \frac{\sum_1^k R_H}{k}, \quad (1)$$

де k – кількість обстежених вагонів;

R_H – кількість несправних елементів одного типу в вагоні.

Для вагонів-цистерн, які перевозять аміак, зонами ризику є такі ділянки: зона приварки люку-лазу, фасонні лапи котла, зона опори котла на дерев'яні бруски, хребтова та шворнева балки рами.

Випробування проводились на 4-х вісному вагоні-цистерні моделі 15-1408 (рис. 5) для перевезення аміаку з терміном служби, що минув (20 років). Дослідний зразок – цистерна моделі 15-1619 (рис. 6) з діаметром котла 3200 мм.



Рис. 5. Вагон-цистерна 15-1408 для аміаку



Рис. 6. Вагон-цистерна моделі 15-1619

Платформа складається з рами зварної конструкції, яка установлена на двовісній візці моделі 18-100. Рама являє собою зварну систему балок коробчастого перетину – хребтової та двох шворневих. Котел зварної конструкції складається з циліндра та двох еліптичних днищ.

Перед початком випробувань проводилось технічне діагностування дослідного зразка, наклеювання тензорезисторів на раму вагона-цистерни та на котел, заміри товщини листів котла та рами, установка вимірювального обладнання.

Контроль технічного стану включав візуальний огляд вагона-цистерни, заміри товщини металу в контрольних точках котла і рами вагона, проведення магнітопорошкового, ультразвукового та акустико-емісійного контролю несучих металевих конструкцій.

Контрольні випробування включали статичні випробування вертикальним навантаженням, випробування на малоциклічне навантаження тиском котла, типові та ресурсні ударні випробування та випробування на можливі аварійні ситуації.

Випробування вертикальним статичним навантаженням виконувалось шляхом повного заповне-

ння водою котла вагона-цистерни з подальшим зливом. У ході випробування велася реєстрація дослідних показників.

Випробування на малоциклічне навантаження котла надлишковим тиском виконувалось шляхом повного заповнення водою котла з подальшим подаванням води до котла насосною станцією для створення надлишкового тиску до 2 МПа. Після кожних 75 циклів навантаження робочим тиском виконувалось навантаження випробуваним тиском 3МПа.

Ударні випробування проводились зі швидкістю накатування вагона-бойка (масою 102 т) на дослідний вагон-цистерну від 1 до 12 км/год, вагон-цистерна при цьому перебувала в загальмованому стані та знаходилась в підпорі з загальмованих 4-х вагонів, що мали загальну масу близько 300 т. Повздовжні сили, які діяли на вагон-цистерну через автозчепний пристрій, сягали до 3,0 МН, а декілька ударів – до 4,2 МН. Під час ударних випробувань реєструвались деформації в елементах конструкції дослідного вагона-цистерни в найбільш напружених місцях, виявлених при статичних випробуваннях.

Перед початком та після завершення випробувань з імітацією аварійних ситуацій виконувалась перевірка герметичності котла шляхом створення надлишкового тиску від 0,5 до 3 МПа. Тиск витримався протягом 5 хв.

Котел випробовувався на такі наднормативні навантаження:

- створення надлишкового тиску до моменту руйнування котла або втрати його герметичності;
- одноразовий удар вагона-бойка масою 90 т у автозчеп вагона-цистерни зі швидкістю 22 км/год (рис. 7);
- удари головою автозчепу вагона-бойка масою 102 т в днище цистерни зі швидкістю 10,2 км/год (рис. 8).

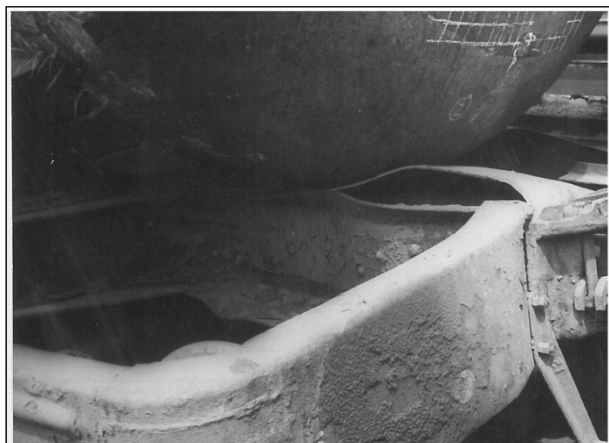


Рис. 7. Вагон-цистерна після удару



Рис. 8. Дослідний зразок після удару в котел автозцепом

У процесі ресурсних випробувань був проведений аналіз напруженого стану в контрольних точках котла вагона-цистерни. Як видно на рис. 9, напруження в контрольних точках не перевищували допустимого.

Критерієм оцінки міцності цистерни відносно дії нештатних навантажень є збереження вантажу та герметичності котла після проведення випробувань. Перевірка проводиться шляхом контрольного створення тиску в котлі.

Висновок. На основі проведення технічного діагностування та контрольних випробувань вагона-цистерни встановлено, що вагон-цистерна за технічним станом є типовим представником експлуатаційного парку залізниць України. Напружений стан котла вагона-цистерни від дії нормативних статичних та ударних навантажень не перевищував допустиму норму у 230 МПа. Під час випробувань на малоциклічне навантаження котла тиском від 0 до 2 МПа було проведено 225 циклів, що відповідає 5 рокам експлуатації. Під час випробувань з імітацією аварійних ситуацій (удар в днище цистерни, створення граничного тиску в цистерні до 6 МПа, удар в автозцепний пристрій вагона-цистерни на швидкості 22 км/год) пошкоджень та розгерметизації котла вагона-цистерни не було виявлено.



Рис. 9. Графік напружень в контрольних точках під час ударних випробувань

Список літератури:

1. Фомін О.В. Модернізація елементів стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва : збірник наукових праць. Донецьк : ДонІЗТ. 2011. № 26. С. 111–115.
2. Н.И. Луханин, С.В. Мямлин, Л.А. Недужая, А.А. Швец. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек : збірник наукових праць Донецького інституту заліз. тр-ту. Донецьк. 2012. Вип. 29. С. 234–241.
3. Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Saponova S., Bambura O. 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*. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.109588.
4. Kelrykh, M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Metallurgical and Mining Industry* : scientific and technical journal. 2014. №6. P. 64–67.

5. Макаренко М.В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. *Залізничний транспорт України* : науково-практичний журнал ДНДЦ УЗ. 2014. № 5. С. 107.
6. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності : зб. наук. праць. Харків : УкрДАЗТ. 2009. С. 121–131.
7. Швець А.О. Вплив поздовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 5 (77). С. 115–128. DOI: 10.15802/stp2018/146432.
8. Lovska A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *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. *Технологический аудит и резервы производства*. Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83–89.
10. Fomin O.V., Lovska A.O., Plakhtii O.A., Nerubatskyi V.P. 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*. 2017. Issue 6. P. 89–96.
11. Tkachenko V., Sapronova S., Kulbovskiy I., Fomin O. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *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., Логвіненко О.А., Дьомін Р.Ю., Бородай Г.П., Фомін В.В., Бурлуцький О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів. *Залізничний транспорт України* : науково-практичний журнал ДНДЦ УЗ. Київ. 2013. № 5/6(102/103). С. 95–104.
13. Kondratiev A., Slivinsky M. 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. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol 6/5 (96). P. 42–48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387.

Fomin O.V., Prokopenko P.M., Burlutskyi O.V., Fomina A.M.

CONTROLLING TESTS OF THE TANK-CARS FOR THE ASSESSMENT OF THE RESIDUAL RESOURCE OF UNDERTAKING STRUCTURES

In recent years, there has been a significant aging of the freight wagon fleet, including tank wagons for the transport of particularly dangerous goods. At present, tank wagons with a service life exceeding those established by the manufacturer and extended service life are in operation on the railway network of Ukraine. Analysis of the technical condition of tank wagons after scheduled repairs shows that a significant part of them is in good condition. In order to resolve the possibility of further safe operation with an extended life, their technical diagnostics and control tests are carried out.

Analyzing the park and the technical condition of tank wagons for the transportation of particularly dangerous goods, it is found that the main part of the park consists of tank wagons of model 15-1407 for the transport of propane, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15 -1440, 15-1597, 15-1619 for transportation of ammonia, 15-1409, 15-1556 for transportation of chlorine, 15-1519, 15-1780 for transportation of propane-butane, but they are in good technical condition. The above-mentioned tank wagons are structurally different from each other by the following features: the material of which the tank boiler is made, the diameter of the boiler, the number of shells in the boiler, the protective equipment of the bottom of the boiler against damage during accidents and the protection of the boiler fittings.

Emergency situation (special situation) - a situation that arises in the course of transportation as a result of a technical malfunction (failure) of parts of the railway transport system or the emergence of extreme external factors or combinations thereof, which is characterized by a disruption of the system's capacity, or the creation of dangerous operating conditions. Examples of emergencies are: hitch of the auto-coupling in the bottom of the tank of the tank, self-splitting of cars, increase of pressure in the tank of the tank above the worker and other.

Key words: tank wagon, shock tests, crash tests, damage, tightness, extension of service life.