

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2020-261-5-5-9>

УДК 629.463.65

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ ДЛЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

Кельріх М.Б., Фомін О.В., Прокопенко П.М., Сова С.С.

THEORETICAL ASPECTS OF DETERMINING THE RESIDUAL RESOURCE OF THE WAGON-TANK FOR DANGEROUS GOODS

Kelrich M.B, Fomin O.V., Prokopenko P.M., Sova S.S.

В статті виконаний детальний аналіз сучасного стану експлуатаційного парку залізничних вагонів-цистерн для транспортування небезпечних вантажів залізницями України. Аналіз показує, що залізничні вагони-цистерни для перевезення небезпечних вантажів значною мірою вичерпали свій ресурс. Технічний стан вагонів-цистерн після проведення планових видів ремонту свідчить про те, що більша їх частина знаходиться в справному технічному стані. З метою продовження безпечної експлуатації з терміном служби, що вичерпаний виконується технічне діагностування і випробування вагонів-цистерн.

Ключові слова: цистерна, випробування, аварійна ситуація, герметичність, продовження строку служби.

Вступ. За останній час відбулося значне старіння цистерн для небезпечних вантажів які знаходяться в експлуатаційному парку. На даний момент на залізницях України експлуатуються цистерни з закінченим призначеним терміном служби. З метою вирішення проблеми можливості подальшої експлуатації з закінченим терміном служби виконується технічне діагностування та випробування. Проаналізувавши технічний стан цистерн визначено, що більшість вагонів - цистерн знаходиться в доброму технічному стані. Недостатня кількість фінансування для придбання та побудови нових вагонів призводить до зменшення перевезень, тому питання визначення залишкового ресурсу цистерн для небезпечних вантажів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Дослідження, які описують питанням зменшення вартості вагонів, зокрема, праця [4] висвітлює особливості інноваційних конструкцій напіввагонів та їх проектування. Автори статті [5] описують інноваційні напрямки покращення технічних та економічних показників залізничних кузовів напіввагонів. Робота [8] висвітлює показники які характеризують динаміку руху вагона - платформ. Матеріал [9] описує методи оцінки динамічних харак-

теристик вагона для різних несучих конструкцій вагона. Сучасні публікації присвячені інноваційним конструкціям вагонів з нових матеріалів. Робота [6], відображено результати моделювання нового вагона з несучими основними елементами, які виконані без надлишкових зв'язків. Матеріал [7] описує особливості інноваційних змін в ходовій частині вагона. Праця [8] висвітлює роботи генерування нових варіантів профілів, які можна використовувати у виробництві різних вагонів. Робота [10, 12] описує способи аналізу несучих конструкцій нового покоління та розширення їх функціональності. Також важливу роль у вагонобудуванні відіграють деякі підходи в проектуванні, робота [11] описує методологічний апарат для визначення рішень які є оптимальними. У роботах [13, 14, 15] описані результати та особливості досліджень про визначення технічних складових вагонів для створення напружено-деформованого стану, на основі принципу попередніх напружень. Роботи [16, 17] відображають результати впровадження круглих труб в конструкцію вантажного вагона та дослідження міцності кузова піввагона при перевезенні на залізничному поромі. З урахуванням викладено впливає висновок, що оглянуті інформаційні джерела свідчать про недостатню кількість теоретичних та практичних матеріалів з проведення випробувань на аварійні ситуації, технічного діагностування вагонів - цистерн для транспортування небезпечних вантажів.

Мета і завдання дослідження. Описання особливостей виконання технічного діагностування несучих конструкцій, випробувань на співудар і випробувань на аварійні ситуації цистерн для транспортування небезпечних вантажів.

Експлуатаційний парк та технічні показники цистерн для транспортування небезпечних вантажів складається з: цистерн моделі: 15-1597, 15-1408-02, 15-1407, 15-1408-01, 15-1408, 15-1440, та ін. Вище

значені вагони мають гарний технічний стан. Названі вагони-цистерни конструктивно відрізняються один від одного такими ознаками: матеріал з якого виготовляється котел цистерни, діаметр котла, кількість обичайок в котлі, захисним обладнанням днища котла від пошкоджень під час катастроф та захистом арматури котла.

Основний матеріал. Парк цистерн для транспортування небезпечних вантажів налічують цистерни моделі: 15-1408-01, 15-1408, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597– для аміаку 15-1407 – для пропану, 15-1409, 15-1556, – для хлору, 15-1780, 15-1519 – для пропану-бутану.

Аналіз експлуатації залізницею показує, що більша частина аварій на залізничних шляхах включають цистерни, які транспортують вантажі різного асортименту: нафтопродукти, скраплений газ, кислоти, вибухонебезпечні і токсичні вантажі хімічного походження. Більшість аварій, які відбуваються під час сходження вагона з колій, наїзд вагону на вагон або інші перешкоди, також характерним є саморозчеп вагона та удар автозчепом у сусідній вагон або довгомірним вантажем в днище котла (рис. 3).



Рис. 1. Модель цистерни 15-1408-02



Рис. 2. Модель цистерни 15-1556

На даний момент захист днища цистерни під час аварій використовують додаткові накладки з сталі на днище (фальшдно) або торцеві щити. Накладні сталеві елементи, посилюють нижню частину котла днища та повторюючи його форму, встановлюються на цистернах моделей 15-1408, 15-1619

(рис. 4). Дані накладки володіють низькою енергоємністю, оскільки щільно прилягають до днища цистерни.

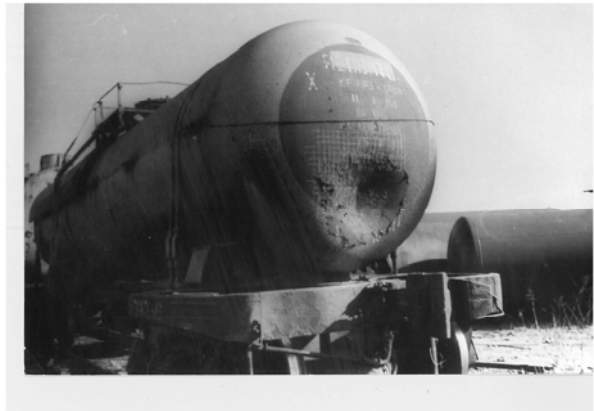


Рис.3. Пошкодження котла цистерни



Рис. 4. Цистерна для пропану

Об'єктом досліджень є цистерна моделі 15-1408 (рис. 5) для транспортування аміаку, із вичерпаним строком експлуатації (20 р.) та вагон - цистерна модель 15-1619 (рис. 6) котел діаметром 3200 мм.



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

Контрольні випробування складаються з: статичних випробувань на вертикальне навантаження, випробувань малоциклічним навантаженням котла тиском, випробування на співудар і випробування аварійними ситуаціями.



Рис. 6. Модель цистерни 15-1619

Випробування на малоциклічним навантаженням котла виконується шляхом наповнення котла водою до повного завантаження, з подальшим накачуванням води в котел насосною станцією, для утворення надлишкового тиску до 2 МПа. Через кожні 75 циклів навантажень робочим тиском, виконується навантаження тиском до 3 МПа.

Випробування на співудар виконувались зі швидкістю вагона бойка вагою 102 тони на випробувальну цистерну від 1 до 12 км / год, цистерна знаходиться в загальмованому стані, та в підпорі з 4-х вагонів які мають масу 300 т. Горизонтальні поздовжні сили котрі діють на цистерну через автозчеп до 3,0МН та декілька ударів 4,2 МН.

Аварійна ситуація. Перед та після випробувань проводилась контроль герметичності котла способом створення надлишкового тиску від 0,5 до 3 МПа на час 5 хв.

Створення наднормативних навантажень котлу цистерни:

- подача тиску до пошкодження котла цистерни або втрата герметичності;
- удар бойка з масою 90 тон в автозчепний пристрій цистерни із швидкістю 22 км/год
- удар автозчепом бойка з масою 102 тони в днище котла цистерни та швидкість 10,2 км/год.



Рис. 7. Графік напружень в контрольних точках

В ході ударних ресурсних досліджень проведено дослідження напруженого стану в дослідних місцях котла цистерни. На рис. 7 наведені напруження в дослідних зонах не перевищували допустимих значень в 230 МПа.

Визначення міцності котла цистерни, від надлишкових навантажень, є герметичність котла і збереження вантажу після виконання випробувань, способом створення тиску в котлі.

Висновки. В результаті технічного діагностування несучих конструкцій вагона та ударних випробувань цистерни визначено:

- напруження котла вагона-цистерни від прикладення ударних навантажень та статичних знаходились в межах 230 МПа;

- під час випробувань шляхом малоциклічного навантаження котла цистерни тиском від 0 до 2 МПа, проведено 225 циклів, що дорівнює 5 рокам експлуатації;

- комплекс досліджень з на аварійні ситуації складався з: створення максимального тиску в котлі (6 МПа), ударні навантаження в днище котла, зіткнення цистерни з бойком на швидкості 22 км/год.

В результаті проведеного комплексу досліджень розгерметизації та пошкоджень котла вагона-цистерни не виявлено. З вище викладеного слідує висновок, що котел цистерни та несучі металеві конструкції не вичерпали ресурс.

Л і т е р а т у р а

1. Фомін О.В., Розробка методик впровадження різних профілей в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів. Вісник національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2012 С.29-33.
2. Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Sapronova S., Vambura 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: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
3. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów. 2016. P. 114–126.
4. Фомін, О.В, Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям. Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Северодонецьк: СХУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99.
5. V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. 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](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109791)
6. Fomin, O.V., Gostra A.V. Variations describe the structural designs of freight cars. Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series Transport systems and technologies. 2015. №26-27. - P.137-147.

7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., Shvets, A. Spatial vibration of cargo cars in computer modelling with the account of their inertia properties. *Mechanika*. 2010: Proc. of 15th Intern. Conference. P. 325-328.
8. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., Kyryl'chuk O. Mathematical modeling of dynamic loading of cassette bearings for freight cars. *transport means. Proc. of 21st Intern. Scientific Conference – 2017*. P. 973-976.
9. Мороз В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків., 2009. С. 121 – 131.*
10. Кельріх М. Б., Мороз В.І. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганськ. 2014. № 2. С. 210.*
11. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону. *Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України»*. Київ. 2014. № 5. С. 107.
12. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон». *Зб. наук. праць УкрДАЗТ. Харків. 2008. С. 72-81.*
13. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. 2012. № 3/7(57). P. 32-35 p.
14. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. Кременчук. 2013. Вип. 6(83). С. 87-91.
15. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. *Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства»*. Харків. 2015. № 4/1(24). С. 83-89.
16. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. Вип. 33. С. 28 – 32.
17. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі. *Зб. наук. праць ДУІТ. Київ. 2018. Вип. 32, Т. 1. С. 71 – 80.*
18. Fomin O.V. (2012). Rozrobka metodiki vprovadnennja riznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantagnih vagoniv [Development of a method for the introduction of various profiles as components of carrier systems of freight cars]. *Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»* [Bulletin of Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI»], P.29-33.
19. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Saponova, 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>
20. N. Gorbunov, R. Domin, M. Kovtanec, K. Kravchenko. (2016). The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport. Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSPORT XXI WIEKU, Arłamów, 114–126.*
21. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Saponova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahonakhopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam [Improvement of the carrier capacity of the hopper car to transport the grain in order to increase the resistance by dynamic effort]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya* [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], № 5(235). P. 88-99/
22. V. Tkachenko, S. Saponova, I. Kulbovskiy, O. Fomin. (2017) Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791
23. Fomin, O.V. (2015) Variacijne opisanja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars]. *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies"*. 26-27, P. 137-147.
24. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. *Mechanika. Proc. of 15th Intern. Conf.*, 325-328.
25. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. *Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf.*, 973-976.
26. Moroz V.I. (2009). Matematychnyy zapys zadachi optyimizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [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]. № 111. P. 121-131.
27. Kelrikh M. B., Moroz V. I. (2010). Strukturno-funktsionalne opysannia konstruktivni modulja kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv [The structural and functional design of the module body of modern universal gondola cars]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin Skhidnoukrayins'koho natsional'noho University Vladimir Dal], 2 (210). P. 94-103.
28. Makarenko M. V. (2014). Kompleksnyi analiz ekonomichnogo efektu vid zhyttievoho tsykladu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola], *Naukovo-praktychny zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy»*. № 5. – С. 107.
29. Moroz, V.I. (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstruktivni napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE" Ukrspetsvagon"]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu*, 72-81.
30. Fomin, A. V. (2012). The determination of the perspective directions of bearing systems in cargo wagon building. *East European journal of advanced technologies*. 3/7(57), P. 32-35.
31. Fomin O.V. (2013). Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya

References

- matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv [Theoretical foundations of the software complex for the determination and use of mathematical models of freight wagons]. *Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'kohonatsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho»*. 6(83). P. 87-91.
15. Fomin, O. V. (2015). Vprovadzhennya of cruglic pipes in NESC systems napowan W zabezpecheny razvaliny pokaznikiv mcnet. The journal "Technology audit and production reserves". № 4/1(24) – P. 83-89.
 16. Lov's'ka A. O. (2018). Modelyuvannya navantazhenosti konteynera-tsysterny pry perevezenni u skladi kombinovanoho poyizda na zaliznychnomu poromi [Simulation of load of tank-container during transportation in the combined train on a railway ferry], *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI»* [Bulletin of Nacionalhogo tehnicnoho universitetu «KHPI»], 33. P. 28 – 32.
 17. Lov's'ka A.O. (2018). Doslidzhennya mitsnosti nesuchoyi konstruktsiyi kuzova napivvahona pry perevezenni na zaliznychnomu poromi [Investigation of the durability of the bearing structure of the gondola body during transportation on the railway ferry], *Zb. nauk. prats'. DUIT* [Collection of scientific works DUIT].32, T. 1. P.71 – 80.

Кельрих М.Б., Фомин А.В., Прокопенко П.Н., Сова С.С. Теоретические аспекты определения остаточного ресурса вагона-цистерны для опасных грузов.

За последние годы произошло значительное старение эксплуатационного парка грузовых вагонов, в т.ч. вагонов-цистерн для перевозки особо опасных грузов. В настоящее время на сети железных дорог Украины находятся в эксплуатации вагоны-цистерны со сроком службы превышающий установленный заводом-изготовителем и продлен срок службы. Анализ технического состояния вагонов-цистерн после проведения плановых видов ремонта показывает, что значительная их часть находится в удовлетворительном состоянии. Для решения вопроса о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации с истекущим сроком службы проводится их техническое диагностирование и ко-рольной испытания

Ключевые слова: вагон-цистерна, ударные испытания, аварийные испытания, повреждения, герметичность, продление срока эксплуатации.

Kelrich M.B., Fomin O.V., Prokopenko P.M., Sova S.S. Theoretical aspects of determining the residual life of a wagon-tank for dangerous goods.

In recent years, there has been a significant aging of the operating fleet of freight wagon, incl. tank wagons for the transport of especially dangerous goods. At present, tank wagons with a service life exceeding those established by the manufacturer and operating life are extended on the railway network of Ukraine. An analysis of the technical condition of

tank wagons after carrying out planned types of repairs shows that a significant part of them are in satisfactory condition. In order to resolve the issue of the possibility of further safe operation with an expired service life, their technical diagnostics and root tests are carried out. Description of the peculiarities of performing technical control of load-bearing metal structures, impact tests and tests with simulation of emergency situations of tank wagons for the transport of particularly dangerous goods. The park and technical condition of tank wagons for the transportation of dangerous goods includes: tank wagons models 15-1407, 15-1408, 15-1408-01, 15-1408-02, 15-1440, 15-1597 and others. and they are in good technical condition. The above-mentioned tank wagons are structural 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. Recently, there has been a significant aging of the freight wagon fleet, incl. tank wagons for dangerous goods. At present, the railways of Ukraine operate tank wagons with an exhausted life. Technical diagnostics and testing are performed to resolve the issue of the possibility of further exploitation with the end of the service life. Analyzing the technical condition of the tanks, it is established that a large part of them is in satisfactory condition. Due to the lack of financing for the purchase of new wagons to ensure uninterrupted delivery of freight by rail, the task of carrying out research on residual resource determination and the possibility of continuing the safe operation of tank wagons for the transport of particularly dangerous goods remains relevant. As a result of the complex research of depressurization and damage to the boiler, the tank was not found. It follows from the foregoing that the tank boiler and the supporting metal structures have not exhausted the resource.

Keywords: wagon-tank, shock tests, emergency tests, damage, tightness, extension of the service life.

Кельріх М.Б. – д.т.н., професор, кафедра «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій.

Фомін О.В. – д.т.н, доцент, кафедра «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: fomin1985@ukr.net.

Прокопенко П.М. – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: prokopenko1520mm@gmail.com.

Сова С.С. – аспірант кафедри ««Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В.Даля, e-mail: gorbunov0255@gmail.com.

Стаття подана 19.05.2020