

- Povitrianih Sil Zbroinikh Sil Ukraini – Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, 2017, no. 1, pp. 97-100. doi: 10.30748/nitps.2017.26.20.
12. Minochkin A., Shyshatskyi A., Hasan V., Hasan A., Opalak A., Hlushko A., Demchenko O., Lyashenko A., Havryliuk O., Ostapenko S. The improvement of method for the multi-criteria evaluation of the effectiveness of the control of the structure and parameters of interference protection of special-purpose radio communication systems. *Technology Audit and Production Reserves*, 2021, vol. 4, no. 2(60), pp. 22-27. doi: 10.15587/2706-5448.2021.235465.
  13. Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts. *Applied Science*, 2020, vol. 10, 7441, pp. 1-11. doi: 10.3390/app10217441.
  14. Vatulia G.L., Lobiak O.V., Deryzemlia S.V., Verevicheva M.A., Orel Ye.F. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 664, 012014, pp. 1-9. doi: 10.1088/1757-899X/664/1/012014.
  15. Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 230, 02037, pp. 1-8. doi: 10.1051/mateconf/201823002037.
  16. DSTU 7598:2014. *Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv kolii 1520 mm (nesamohidnih)* [State standart 7598: 2014. Freight cars. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya new and modernizovanih vagoniv kolii 1520 mm (nesamohidnih)]. Kyiv, 2015. 162 p. (Ukr.)
  17. GOST 33211-2014. *Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam* [State standart 33211-2014. Freight cars. Requirements for durability and dynamic qualities]. Moskva: Standartinform, 2016. 54 p. (Rus.)

Рецензент: С.Ю. Сапронова  
д-р техн. наук, проф., ДУІТ

Стаття надійшла 13.01.2022

УДК 629.463.001.63

doi: 10.32782/2225-6733.44.2022.10

© Фомін О.В.<sup>1</sup>, Ловська А.О.<sup>2</sup>, Сова С.С.<sup>3</sup>, Литвиненко А.С.<sup>4</sup>

### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ХОПЕРА

В статті наведені результати комп'ютерного моделювання температурної навантаженості несучої конструкції вагона-хопера. Для цього створено просторову модель несучої конструкції вагона-хопера в програмному комплексі SolidWorks. В якості прототипу обраний вагон-хопер моделі 20-9749, побудови ДП "Укрспецвагон" та призначений для перевезення окатишів та гарячого агломерату. Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-хопера проведений за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі CosmosWorks. При скла-

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, ORCID: 0000-0003-2387-9946, [fomin1985@ukr.net](mailto:fomin1985@ukr.net)

<sup>2</sup> д-р техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, ORCID: 0000-0002-8604-1764, [alyonaLovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonaLovskaya.vagons@gmail.com)

<sup>3</sup> аспірант, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Северодонецьк, ORCID: 0000-0002-9810-8957, [gorbunov0255@gmail.com](mailto:gorbunov0255@gmail.com)

<sup>4</sup> аспірант, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Северодонецьк, ORCID: 0000-0002-5182-9607, [andrijlitvinenko7@gmail.com](mailto:andrijlitvinenko7@gmail.com)

данні розрахункової схеми враховано температурний вплив від перевозимого вантажу на внутрішню поверхню кузова вагона-хопера. Результати розрахунку показали, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-хопера становлять близько 340 МПа і зосереджені в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою. Максимальні напруження в несучій конструкції вагона-хопера, які зумовлені температурним навантаженням виникають у вертикальних стійках та горбиль і складають 335 МПа, що на 3% нижче за напруження плинності матеріалу конструкції. Визначено вплив температурного навантаження на показники міцності несучої конструкції вагона-хопера. Встановлено, що дана залежність є лінійною. Максимальні еквівалентні напруження при температурі перевозимого вантажу у 700°C майже дорівнюють межі плинності матеріалу конструкції. При незначному збільшенні температурного впливу на несучу конструкцію її показники міцності не будуть забезпечуватися. Тому виникає необхідність удосконалення несучої конструкції вагона-хопера для забезпечення його міцності в експлуатації. Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування сучасних конструкцій вантажних вагонів з покращеними техніко-економічними показниками.

**Ключові слова:** транспортна механіка, вагон-хопер, несуча конструкція, міцність, навантаженість кузова, температурний вплив.

**O.V. Fomin, A.O. Lovska, S.S. Sova, A.S. Lytvynenko. Computer modeling of the temperature resistance of the load-bearing structure of the hopper car.** This article describes the results of computer modeling of temperature resistance of the hopper car load-bearing structure. For this purpose, a spacious model of load-bearing structure of an opera-car in SolidWorks program complex was created. As a prototype the hopper car model 20-9749 was used, which was built by "Ukrspetsvagon" and is intended for transportation of pellets and hot sinter. Calculation of the strength of the load-bearing structure of the operating car was carried out by the method of concatenated elements, which is implemented in the program complex CosmosWorks. When creating the design scheme, the temperature impact of the transported cargo on the inner surface of the hopper body was taken into account. The results of the calculation showed that the maximum equivalent loads in the load-bearing structure of the hopper car is about 340 MPa and is located in the area of interaction between the backbone beam with the kingpin. The maximum load in the load-bearing structure of the opera-car, which is caused by temperature pressure, occurs in the vertical struts and hump and amounts to 335 MPa, which is 3% lower than the load of the plinth of the material of the structure. The influence of temperature load on the indicators of load-bearing capacity of opera-car structure has been determined. It was found that this dependence is linear. The maximum equivalent loads at a temperature of transported cargo at 700°C are more or less equal to the plinth of the material of the structure. With a slight increase in the temperature impact on the supporting structure of its strength indicators will not be ensured. Therefore, there is a need to improve the load-bearing structure of the opera car to ensure its durability in operation. The conducted research will contribute to the creation of guidelines for the design of modern designs of freight cars with improved technical and economical indicators.

**Key words:** transport mechanics, hopper car, load-bearing structure, strength, body load, temperature influence.

**Постановка проблеми.** Забезпечення плідного функціонування транспортної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію сучасних транспортних засобів. Оскільки основний сегмент перевізного процесу відводиться залізничному транспорту, то до створення сучасних конструкцій вагонів повинні перед'являтися особливі вимоги.

Одним з найбільш поширених типів вагонів, які експлуатуються на коліях промислових підприємств є вагони-хопери для перевезення гарячого агломерату з температурою не вище 700°C, а також сипучих матеріалів (щебінь, пісок, вугілля, керамзит), які не потребують захисту

від атмосферних опадів [1]. Особливістю цих вагонів є те, що обшивка бокових стін не приварюється до стійок, а навішується на каркас.

Важливим напрямком розвитку питань створення перспективних вагонів-хоперів є оптимізація їх кузовів. Це дозволило б здійснити зменшення їх матеріалоемності при дотриманні вантажопідйомності не нижче до відповідних конструкцій вагонів-прототипів. Таке рішення сприятиме зменшенню витрат на виготовлення вагонів, їх експлуатацію, а також підвищенню ефективності перевізного процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Прогнозування залишкового ресурсу вагона хопер-дозатора після тривалої експлуатації з урахуванням фактичних фізико-механічних характеристик матеріалу несучих конструкцій проводиться у роботі [2]. Приведені результати віртуальних та експериментальних досліджень міцності несучої конструкції вагона.

Особливості удосконалення конструкції вагона-хопера для перевезення зерна висвітлюються у публікації [3]. Можливість оптимізації елементів кузова вагона проведено за аналізом найбільш характерних вузлів і конструктивних ознак спеціалізованих бункерних вагонів для перевезення сипучих вантажів. Тобто враховано досвід експлуатації окремих складових кузова з подальшою інтеграцією у нову конструкцію. Однак в розглянутих роботах при проведенні розрахунків на міцність несучих конструкцій вагонів не враховано температурного впливу на їх складові.

В роботі [4] наведені особливості топологічної оптимізації кузова вагона. При цьому використано комп'ютерне моделювання з застосуванням методу скінчених елементів. Результати досліджень підтвердили ефективність використання запропонованої методології для кузовів вагонів. При цьому у якості прикладу розрахунок проведений для кузова пасажирського вагона. Стосовно несучої конструкції вагона-хопера, як найбільш навантаженого типу вагона в експлуатації, дана методика не використовувалася.

Питання оптимізації кузовів вантажних вагонів відкритого типу з несучою підлогою висвітлені у роботі [5]. Розроблений алгоритм сумісної структурної та параметричної оптимізації бокової стіни та рами напіввагона з несучою підлогою під осьове навантаження 25 т/вісь. Разом з цим питання визначення температурного впливу на несучу конструкцію вагона в роботі не проводилося.

Структурно-оптимізаційна концепція створення кузова вагона з алюмінієвих панелей висвітлюється у публікації [6]. Особливістю панелей є те, що вони виготовлені по типу "сандвіч". Характеристична функція пошуку оптимальної комбінації визначена максимальними напруженнями та зміщеннями.

В роботах [7, 8] проведено визначення навантаженості несучої конструкції вагона-хопера при експлуатаційних режимах. Запропоновано заходи щодо підвищення ефективності експлуатації вагона-хопера. Однак при проведенні розрахунків на міцність авторами не враховано температурного впливу на складові несучої конструкції.

Аналіз літературних джерел [2-8] дозволяє зробити висновок, що питанням визначення температурного впливу на несучу конструкцію вагона-хопера не приділялося належної уваги. Це зумовлює необхідність проведення відповідних досліджень в цьому напрямку.

**Метою дослідження** є визначення залежності максимальних еквівалентних напружень в несучій конструкції вагона-хопера від температурного впливу перевозимого у ньому вантажу. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

- провести розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-хопера з урахуванням температурного впливу на його складові;
- визначити вплив температурного навантаження на максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-хопера.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення температурної навантаженості несучої конструкції вагона-хопера проведено розрахунок за методом скінчених елементів. Для цього побудовано його просторову модель в програмному комплексі SolidWorks. У якості вагона-прототипу обраний вагон-хопер моделі 20-9749, побудови ДП «Укрспецвагон» (Україна).

Просторову геометричну модель несучої конструкції вагона-хопера наведено на рис. 1.

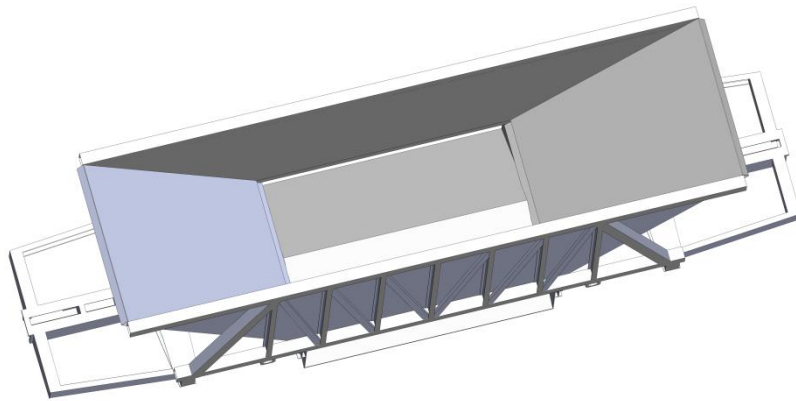


Рис. 1 – Просторова модель несучої конструкції вагона-хопера

Розрахунок реалізований в середовищі програмного комплексу CosmosWorks [9-11]. При складанні скінчено-елементної моделі враховані ізопараметричні тетраедри. Оптимальна кількість елементів моделі визначена за графоаналітичним методом [12, 13]. Кількість вузлів моделі склала 126221, елементів – 376670. Максимальний розмір елементу склав 60 мм, а мінімальний – 12 мм. Відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 7,43. Відсоток елементів з співвідношенням боків більше десяти – 32,5. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9, співвідношення збільшення розміру елементів – 1,6.

Розрахункова схема несучої конструкції вагона-хопера при найбільш несприятливому експлуатаційному режимі – маневрове співударяння, наведена на рис. 2.

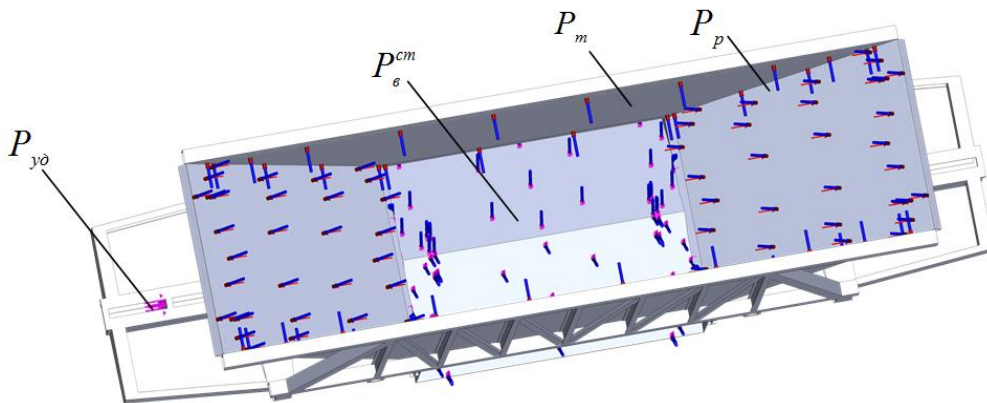


Рис. 2 – Розрахункова схема несучої конструкції вагона-хопера

Враховано, що на несучу конструкцію вагона діє вертикальне статичне навантаження  $P_{с}^{ст}$ . Також на конструкцію кузова діє тиск розпору від насипного вантажу  $P_{р}$ , чисельне значення якого знайдено за формулою (1). На вертикальну поверхню заднього упору діє ударне навантаження  $P_{уд}$ , чисельне значення якого відповідно до нормативних документів становить 3,5 МН [14, 15]. До внутрішніх поверхонь кузова прикладалося температурне навантаження  $P_{м}$ , яке дорівнює 700°C.

Активний тиск розпору насипного вантажу визначений за формулою [1]

$$P_a = \gamma \cdot g \cdot H \cdot tg^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (1)$$

де  $\gamma$  – щільність насипного вантажу, т/м<sup>3</sup>;  
 $H$  – висота бокової стіни, м;  
 $\varphi$  – кут природнього відкосу вантажу, рад;  
 $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання кузова на ходові частини. Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С. Результати розрахунку наведені нижче (рис. 3, 4).

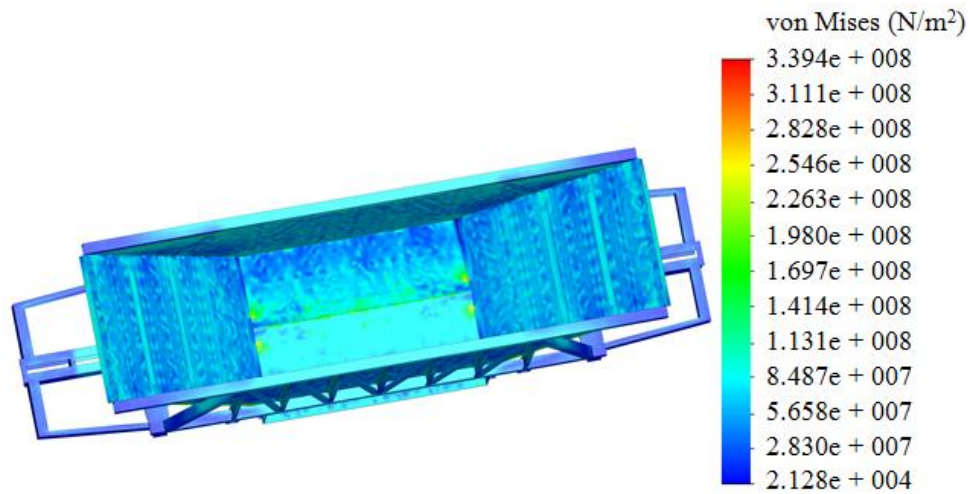


Рис. 3 – Напружений стан несучої конструкції вагона-хопера

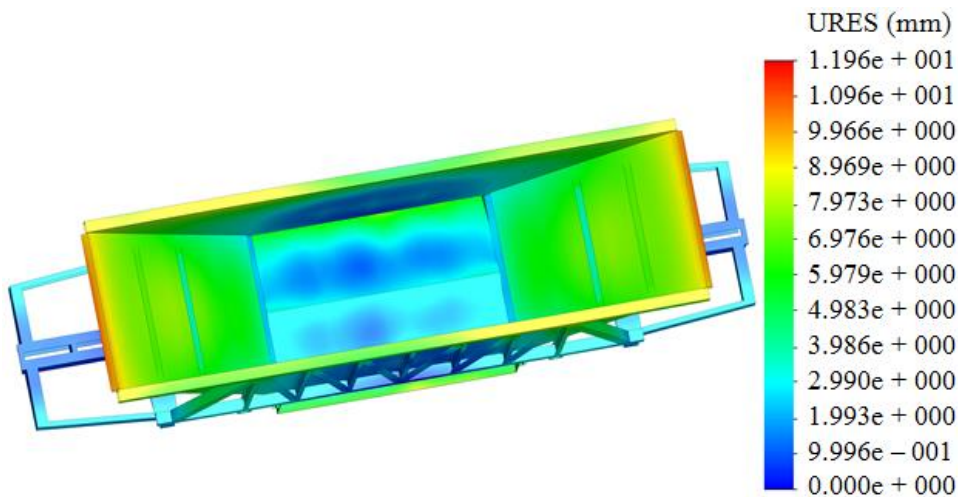


Рис. 4 – Переміщення в вузлах несучої конструкції вагона-хопера

Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-хопера становлять близько 340 МПа і зосереджені в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою. Максимальні переміщення виникають в розвантажувальних бункерах, а також верхньому об'язуванні і складають близько 12,0 мм. Максимальні напруження в несучій конструкції вагона-хопера, які зумовлені температурним навантаженням виникають у вертикальних стійках та горбилі.

За розрахунковою схемою, наведеною на рис. 2, побудовано розподілення максимальних еквівалентних напружень за висотою стійки. Результати розрахунку наведено на рис. 5.

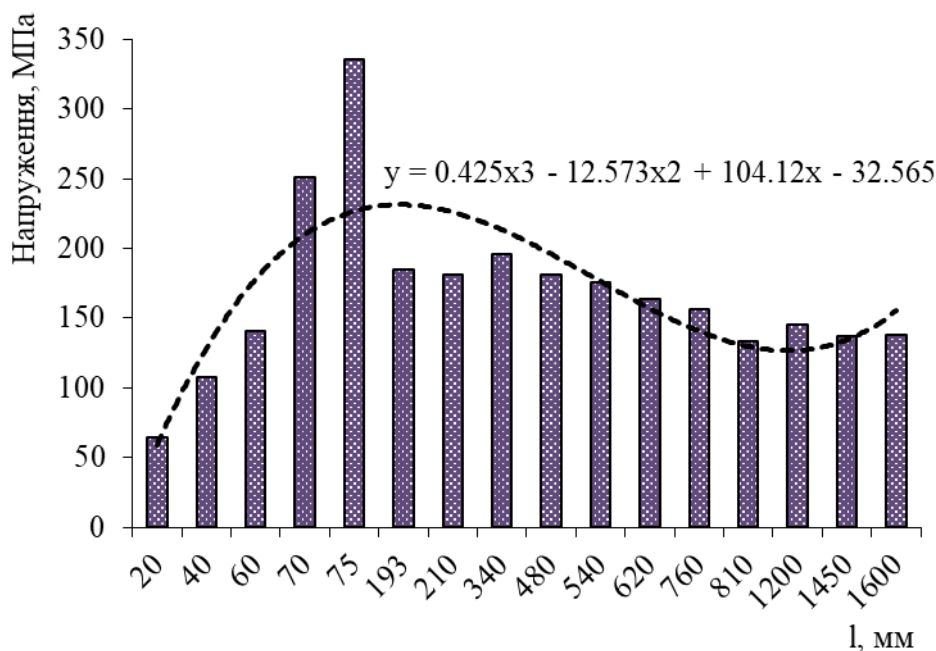


Рис. 5 – Розподілення максимальних еквівалентних напружень за висотою стійки вагона-хопера

При цьому максимальне еквівалентне напруження виникає ближче до нижньої частини стійки і складає 335 МПа, що на 3% нижче за напруження плинності матеріалу конструкції [14, 15].

На рис. 6 наведено залежність максимальних еквівалентних напружень в вертикальній стійці вагона-хопера від температурного впливу.

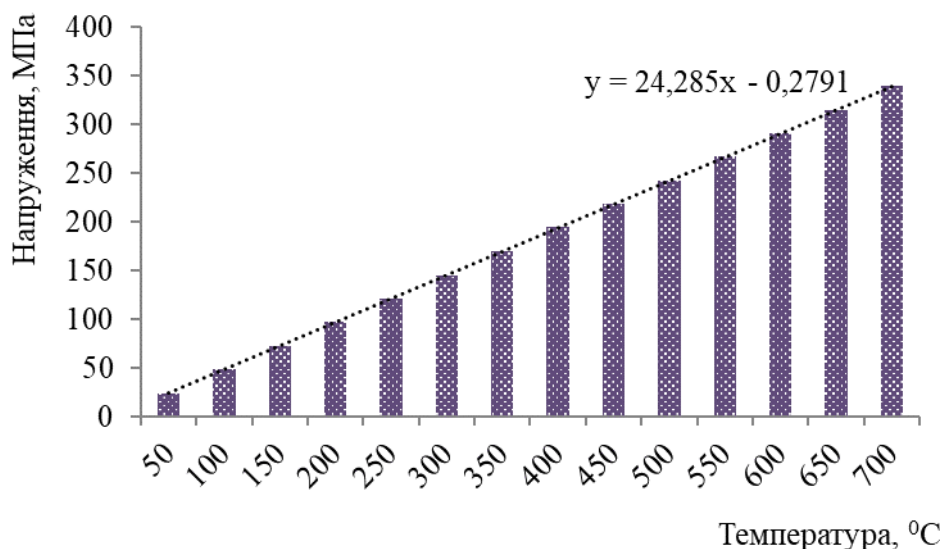


Рис. 6 – Залежність максимальних еквівалентних напружень в вертикальній стійці вагона-хопера від температурного впливу

З рис. 6 видно, що дана залежність є лінійною. При цьому напруження знімалися з найбільш навантаженої зони вертикальної стійки.

Максимальні еквівалентні напруження при температурі перевозимого вантажу у 700°C майже дорівнюють межі плинності матеріалу конструкції. При незначному збільшенні температурного впливу на несучу конструкцію її показники міцності не будуть

забезпечуватися. Це викликає необхідність створення заходів щодо забезпечення міцності складових несучої конструкції вагона-хопера. Наприклад, удосконалення несучої конструкції вагона-хопера шляхом виконання найбільш навантажених складових з термостійкого матеріалу.

#### Висновки

1. Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-хопера з урахуванням температурного впливу на його складові. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-хопера становлять близько 340 МПа і зосереджені в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою.

Максимальні напруження в несучій конструкції вагона-хопера, які зумовлені температурним навантаженням виникають у вертикальних стійках та горбилі і складають 335 МПа, що на 3% нижче за напруження плинності матеріалу конструкції.

2. Визначено вплив температурного навантаження на максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-хопера. Встановлено, що дана залежність є лінійною. Максимальні еквівалентні напруження при температурі перевозимого вантажу у 700°C майже дорівнюють межі плинності матеріалу конструкції. При незначному збільшенні температурного впливу на несучу конструкцію її показники міцності не будуть забезпечуватися. Тому виникає необхідність удосконалення несучої конструкції вагона-хопера для забезпечення його міцності в експлуатації.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування сучасних конструкцій вантажних-вагонів з покращеними техніко-економічними показниками.

#### Перелік використаних джерел:

1. Конструирование и расчет вагонов / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.И. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов. – М. : УМК МПС России, 2000. – 731 с.
2. Путятю А.В. Прогнозирование остаточного ресурса вагона хоппер-дозатора после длительной эксплуатации с учетом фактических физико-механических характеристик материала несущей конструкции / А.В. Путятю, Е.Н. Коновалов, П.М. Афанаськов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2016. – № 1(34). – С. 26-35.
3. Удосконалення конструкції вагона-хопера для перевезення зерна / Ю.В. Кебал, В.А. Шатов, О.М. Тьокотев, Н.Г. Мурашова // Збірник наукових праць ДЕТУТ. – 2017. – Вип. 30. – С. 113-122. – (Серія: Транспортні системи і технології).
4. Kuczek T. Topology Optimization of Railcar Composite Structure / T. Kuczek, B. Szachniewicz // OPT-i 2014 – 1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization, Proceedings. – 2014. – Pp. 1-9. – Mode of access: <https://doi.org/10.1504/IJHVS.2015.073206>.
5. Бейн Д.Г. Анализ напряженного состояния несущего настила пола четырехосного полувагона с глухим кузовом / Д.Г. Бейн // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 1(29). – С. 47-51.
6. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels / Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 2016. – Vol. 230, iss. 4. – Pp. 1283-1296. – Mode of access: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>.
7. Substantiating the optimization of the loadbearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate / O. Fomin, A. Lovska, I. Skliarenko, Yu. Klochkov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – № 1/7(103) – Pp. 65-74. – Mode of access: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193408>.
8. Determination of the dynamic load of the carrying structure of the hopper wagon with the actual dimensions of structural elements / O. Fomin, A. Lovska, P. Skok, I. Rogovskii // Technology audit and production reserves. – 2021. – № 1/1(57). – Pp. 6-11. – Mode of access: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225458>.
9. Lovska A. A new fastener to ensure the reliability of a passenger coach car body on a railway ferry / A. Lovska, O. Fomin // Acta Polytechnica. – 2020. – Vol. 60, iss. 6. – Pp. 478-485. – Mode of access: <https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0478>.



10. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / A. Lovska, O. Fomin, V. Píštěk, P. Kučera // *Applied Science*. – 2020. – №10, 5710. – Pp. 1-15. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
11. Fomin O. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource / O. Fomin, A. Lovska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – Vol. 6, no. 7 (108). – Pp. 21-29. – Mode of access: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217162>.
12. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab / G.L. Vatulia, O.V. Lobiak, S.V. Deryzemlia, M.A. Verevicheva, Ye.F. Orel // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 664, 012014. – Pp. 1-9. – Mode of access: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/664/1/012014>.
13. Vatulia G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / G. Vatulia, S. Komagorova, M. Pavliuchenkov // *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – Vol. 230, 02037. – Pp. 1-8. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002037>.
14. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). – Введ. 2015-07-01. – Київ, 2015. – 162 с.
15. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016-07-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.

#### References:

1. Lukin V.V., Shadur L.A., Koturanov V.I., Hohlov A.A., Anisimov P.S. *Konstruirovaniye i raschet vagonov* [Design and calculation of wagons]. Moscow, UMK MPS Rossii Publ., 2000. 731 p. (Rus.)
2. Putyato A.V., Konovalov E.N., Afanas'kov P.M. Prognozirovaniye ostatochnogo resursa vagona hopper-dozatora posle dlitel'noj ekspluatatsii s uchetom fakticheskikh fiziko-mekhanicheskikh harakteristik materiala nesushchej konstrukcii [Prediction of the residual life of a hopper-batcher car after long-term operation, taking into account the actual physical and mechanical characteristics of the material of the supporting structure]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov – Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*, 2016, № 1(34), pp. 26-35. (Rus.)
3. Keбал Yu.V., Shatov V.A., T'okotev O.M., Murashova N.G. Udoskonalennya konstrukcii vagona-hopera dlya perevezennya zerna [Improved design of the hopper car for the transportation of grain]. *Zbirnik naukovih prac' DETUT. Seriya «Transportni sistemi i tekhnologii» – Collection of scientific works of SUIT «Transport systems and technologies»*, 2017, vol. 30, pp. 113-122. (Ukr.)
4. Kuczek T., Szachniewicz B. Topology Optimization of Railcar Composite Structure. *OPT-i 2014 – 1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization, Proceedings*, 2014, pp. 1-9. doi: 10.1504/IJHVS.2015.073206.
5. Bejn D.G. Analiz napryazhennogo sostoyaniya nesushchego nastila pola chetyrekhosnogo poluvagona s gluhim kuzovom [Analysis of the stress state of the load-bearing flooring of a four-axle gondola car with a solid body]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Bryansk State Technical University*, 2011, № 1(29), pp. 47-51. (Rus.)
6. Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2016, vol. 230, iss. 4, pp. 1283-1296. doi:10.1177/0954409715593971.
7. Fomin O., Lovska A., Skliarenko I., Klochkov Yu. Substantiating the optimization of the loadbearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, № 1/7(103), pp. 65-74. doi: 10.15587/1729-4061.2020.193408.
8. Fomin O., Lovska A., Skok P., Rogovskii I. Determination of the dynamic load of the carrying structure of the hopper wagon with the actual dimensions of structural elements. *Technology audit and production reserves*, 2021, № 1/1(57), pp. 6-11. doi: 10.15587/2706-5448.2021.225458.



9. Lovska A., Fomin O. A new fastener to ensure the reliability of a passenger coach car body on a railway ferry. *Acta Polytechnica*, 2020, vol. 60, iss. 6, pp. 478-485. doi: **10.14311/AP.2020.60.0478**.
10. Lovska A., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Science*, 2020, № 10, 5710, pp. 1-15. doi: **10.3390/app10165710**.
11. Fomin O., Lovska A. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, vol. 6, no. 7(108), pp. 21-29. doi: **10.15587/1729-4061.2020.217162**.
12. Vatulia G. L., Lobiak O. V., Deryzemlia S. V., Verevicheva M. A., Orel Ye. F. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 664, 012014, pp. 1-9. doi: **10.1088/1757-899X/664/1/012014**.
13. Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 230, 02037, pp. 1-8. doi: **10.1051/mateconf/201823002037**.
14. DSTU 7598:2014. *Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv kolii 1520 mm (nesamohidnih)* [State standart 7598:2014. Vantage carriages. Large-scale projects to refurbishment and design of new and modernized wagons with a gauge of 1520 mm (non-self propelled)]. Kyiv, 2015. 162 p. (Ukr.)
15. GOST 33211-2014. *Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam* [State standart 33211-2014. Freight cars. Requirements for durability and dynamic qualities]. Moskva, Standartinform Publ., 2016. 54 p. (Rus.)

Рецензент: С.Ю. Сапронова  
д-р техн. наук, професор, ДУІТ

Стаття надійшла 23.01.2022

УДК 656.25

doi: 10.32782/2225-6733.44.2022.11

© Болжеларський Я.В.<sup>1</sup>, Джус В.С.<sup>2</sup>, Джус О.В.<sup>3</sup>, Клецька О.В.<sup>4</sup>,  
Кіріцева О.В.<sup>5</sup>

### ОЦІНКА ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ ДО УКРАЇНСЬКИХ ВАГОНІВ- ЦИСТЕРН, ЯКІ ПРИЗНАЧЕНІ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

*Забезпечення безпеки при перевезенні вантажів залізничним транспортом з мінімалізацією рівня ризиків є пріоритетним завданням сьогодення. Зроблен аналіз, який показує, що в Україні існують значні напрацювання в області удосконалення конструкції вагонів, їх динамічних характеристик і безпеки. Виробники залізничних вагонів прагнуть до збільшення кількості нового, якісного і технічно-досконалого*

<sup>1</sup> канд. техн. наук, в.о. директора, Львівський інститут Українського державного університету науки і технологій, м. Львів, ORCID: 0000-0002-4787-1781, [jarik762145@gmail.com](mailto:jarik762145@gmail.com)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, Львівський інститут українського державного університету науки і технологій, м. Львів, ORCID: 0000-0002-1787-4471, [jvs1960lviv@gmail.com](mailto:jvs1960lviv@gmail.com)

<sup>3</sup> зав. лабораторії, Львівський НДІ судових експертиз, м. Львів, ORCID: 0000-0002-7577-4049, [djusov22@gmail.com](mailto:djusov22@gmail.com)

<sup>4</sup> канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-4682-860X, [gurao@ukr.net](mailto:gurao@ukr.net)

<sup>5</sup> ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-2481-5883, [evkiritseva@gmail.com](mailto:evkiritseva@gmail.com)

(за умовами інтероперабельності) залізничного рухомого складу який експлуатується. Були розглянуті 11 специфікацій інтероперабельності: інфраструктура; енергія; управління; шум; особи з обмеженою мобільністю; безпека в тунелях; вантажні вагони; локомотиви, пасажирські вагони і моторвагонний рухомий склад; телематика вантажоперевезень; телематика пасажирських перевезень; рух поїздів, які затверджені і діють на даний час. Розглянуті вимоги та компоненти Технічної сертифікації інтероперабельності і вітчизняних нормативних документів до залізничних вагонів, а саме: вимоги Технічної сертифікації інтероперабельності до вантажних залізничних вагонів; вимоги нормативних документів в Україні щодо вагонів-цистерн; технічні характеристики вагонів-цистерн, які виробляються в Україні. Зроблено порівняльний аналіз відповідності загальних технічних параметрів вагонів-цистерн, які виробляються в Україні, принципу дії та конструкції гальмівних систем вантажних вагонів, відповідності габариту вагонів-цистерн щодо визначення габариту рухомого складу залізниці (або габариту рухомого складу), виконання умов, при яких можливий схід рухомого складу. Проведені розрахунки для порожнього вагона при наявності підвищення зовнішньої рейки, також зроблені розрахунки критеріїв безпеки руху за даними нормами. Врахування вимог щодо виробництва сучасного рухомого складу є необхідністю, яка розглянута на прикладі вагонів-цистерн, що випускаються в даний час на відповідність вимогам інтероперабельності та запропоновані першочергові заходи щодо досягнення вказаної відповідності.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, рухомий склад, безпека при перевезенні вантажів, конструкція вагонів.

**Y. Bolzhelarskyi, V. Dzhus, O. Dzhus, O.V. Kletska, O.V. Kiritseva. Evaluation of interoperability to Ukrainian tank cars, as they are recognized for the transportation of non-healthy cargoes by railway transport. Ensuring safety during the transportation of goods by railway transport with the minimization of the level of risks is a priority task today. An analysis was made that shows that in Ukraine there are significant developments in the field of improving the design of wagons, their dynamic characteristics and safety. Manufacturers of railway cars strive to increase the number of new, high-quality and technically advanced (under the terms of interoperability) railway rolling stock in use. 11 interoperability specifications were considered: infrastructure; energy; management; noise; persons with limited mobility; safety in tunnels; freight cars; locomotives, passenger cars and rolling stock; freight transportation telematics; passenger transportation telematics; the movement of trains that are approved and currently in operation. The considered requirements and components of the Technical Certification of Interoperability and domestic normative documents for railway cars, namely: the requirements of the Technical Certification of Interoperability for freight railway cars; requirements of regulatory documents in Ukraine regarding tank cars; technical characteristics of tank cars produced in Ukraine. A comparative analysis was made of the conformity of the general technical parameters of tank cars manufactured in Ukraine, the principle of operation and design of brake systems of freight cars, the conformity of the dimensions of tank cars, regarding the determination of the dimensions of railway rolling stock (or the dimensions of rolling stock), the fulfillment of conditions under which it is possible the east of the rolling stock. Calculations were made for an empty car in the presence of a raised outer rail, as well as calculations of traffic safety criteria according to these standards. Taking into account the requirements for the production of modern rolling stock is a necessity, which is considered on the example of tank cars, which are currently produced for compliance with interoperability requirements, and the proposed priority measures to achieve the specified compliance.**

**Key words:** railroad transport, rolling stock, safety during cargo transportation, construction of wagons.

**Постановка проблеми.** Залізничні вагони-цистерни відносяться до вузькоспеціалізованого рухомого складу, який призначений для перевезення наливних вантажів: харчових продуктів, зріджених газів, хімічно-активних й агресивних рідких речовин, а також порошкоподібних матеріалів. Їх використання для перевезення зазначених вантажів є очевидним і при цьому забезпечує скорочення технологічного часу на технічний і комерційний огляд поїздів, підвищує, порівняно з іншими видами рухомого складу при зазначеній номенклатурі вантажів, безпеку транспортування вантажів які потребують особливих умов перевезення – зменшується ризик втрати і виліву вантажів, чи навіть настання залізнично-транспортної пригоди з можливими значними наступними збитками від цього [1]. Парк вагонів-цистерн постійно оновлюється, а витрати на їхнє виготовлення є затратними і вимірюються десятками мільйонів гривень. Тому виробництво сучасних вагонів-цистерн для України має велике значення.

На Україні основними виробниками вагонів є Крюківський вагонобудівний завод, «Дніпровагонмаш», ДМЗ «Карпати», «Азоввагон», «Полтавхиммаш та інші [2].

Однак в умовах відкритої конкуренції, особливо з підприємствами країн ЄС, українські підприємства можуть бути усунені з ринку європейськими виробниками рухомого складу, які вже на теперішній час в своїй роботі використовують принципи інтеперабельності. Недопущення зазначеної ситуації визначає актуальність зазначеної роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз існуючих напрацювань, які присвячені проблемі розвитку, в частині виготовлення парку сучасних вантажних вагонів, показав, що в Україні існують значні напрацювання в області удосконалення конструкції вагонів, їх динамічних характеристик і безпеки. Основні наукові роботи в цій області велись на АТ «Азовмаш», ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», ННІ «Дніпропетровський інститут інфраструктури і транспорту», Крюківському вагонобудівному заводі та інших організаціях [3-14]. В результаті проведеної роботи виявлено, що у сфері гармонізації технічної і нормативної документації України і ЄС з виготовлення сучасних вагонів приділяється недостатня увага.

Оскільки в Україні виробники вагонів досить сильно підійшли до вимог, без виконання яких ринок ЄС буде їм недоступний, а можливість використання їхніх вагонів буде сумнівною перспективою. Існують перш початкові підходи до виправлення перешкод для сумісного функціонування залізничних систем і скорочення часу, який необхідний для прийняття Технічної сертифікації інтеперабельності (ТСІ), але необхідно активніше використовувати існуючі можливості, щоб виключити ситуації, коли країни-члени Європейського Союзу (ЄС) приймають нові національні правила чи здійснюють проекти, які збільшують різноманітність існуючої системи.

Щоб усунути перешкоди для функціональної сумісності та, як наслідок, розширити сферу застосування ТСІ на усю залізничну систему ЄС, обсяг національних правил слід поступово скорочувати. Національні правила, які конкретно відносяться до існуючих систем, слід відрізняти від тих, які необхідні для розробки недостатньо розкритих моментів в ТСІ.

Зазначені положення необхідно обов'язково враховувати при розробці нормативних документів Укрзалізниці, оскільки Україна підписала асоціацію з ЄС і Директиви [15, 16] неодмінно будуть застосовані на залізничному транспорті України.

В даний час затверджені і діють 11 специфікацій інтеперабельності: інфраструктура; енергія; управління; шум; особи з обмеженою мобільністю; безпека в тунелях; вантажні вагони; локомотиви, пасажирські вагони і моторвагонний рухомий склад; телематика вантажоперевезень; телематика пасажирських перевезень; рух поїздів. Слід зазначити, що взаємозв'язки між окремими ТСІ і підсистемами є складними: одна підсистема може бути описана в кількох ТСІ, а в свою чергу, декілька ТСІ можуть описувати одну підсистему. Для розкриття вище зазначених питань інтеперабельності при експлуатації вагонів-цистерн, які виробляються на в Україні встановлено, що в даний час випускається понад 15 моделей цистерн, для більшості з яких задекларована можливість експлуатації на залізницях ЄС. Зазначені вагони являються об'єктами дослідження в області специфікації інтеперабельності – вантажні вагони.

**Метою дослідження** є забезпечення безпеки при перевезенні вантажів залізничним транспортом, а саме вагонів-цистерн, з мінімізацією рівня ризиків.

**Виклад основного матеріалу.** *Розгляд вимог ТСІ і вітчизняних нормативних документів до залізничних вагонів.* Директива [16] визначає основні вимоги безпеки, належності, доступності та технічної сумісності для всіх компонентів інтероперабельності. Розглянемо ті з них, які стосуються вантажних вагонів.

Параметри, що відносяться до контакту колесо-рейка, повинні відповідати вимогам стабільності, необхідним для забезпечення безпечного руху на максимальній дозволений швидкості. Параметри гальмівного обладнання повинні гарантувати можливість їх зупинки в межах заданого гальмівного шляху з максимально дозволеною швидкістю. Методи гальмування та гальмівні сили повинні бути сумісні при проектуванні колії, інженерних споруд і систем сигналізації.

Компоненти, які використовуються повинні витримувати будь-які технічно визначені або виняткові навантаження, зазначені протягом терміну їх служби. Наслідки випадкових відмов щодо забезпечення безпеки їхньої експлуатації повинні бути обмежені відповідними засобами.

Конструкція особливо важливого обладнання, а також обладнання для руху, тяги і гальмування, системи команд управління в разі погіршення ситуації повинні бути такими, щоб поїзд міг продовжувати рух без негативного впливу на обладнання, яке залишилося в працездатному стані та без шкідливого впливу на екологію.

Моніторинг та технічне обслуговування нерухомих або рухомих компонентів, які задіяні в русі поїздів, повинні бути організовані, проведені і кількісно визначені таким чином, щоб підтримувати їх працездатність за визначених умов. Матеріали, які становлять небезпеку для здоров'я тих, хто має до них доступ, не повинні використовуватися в поїздах і залізничній інфраструктурі. Вплив при виготовленні і та експлуатації залізничної системи на навколишнє середовище повинно оцінюватися та обліковуватися на етапі проектування системи відповідно до законодавства Європейського Союзу.

Матеріали, які використовують виробники вагонів, повинні запобігати викидам парів або газів, які є шкідливими і небезпечними для навколишнього середовища, особливо в разі пожежі.

Рухомий склад та його елементи повинні бути спроектовані і виготовлені таким чином, щоб були електромагнітно-сумісними з установками, обладнанням і мережами загального або приватного користування, з яким вони можуть взаємодіяти. Конструкція і експлуатація рухомого складу не повинні призводити до недопустимого рівня шуму, створюваного ними.

Технічні характеристики інфраструктури та стаціонарних установок повинні бути сумісні один з одним і з характеристиками поїздів, які будуть використовуватися в залізничній системі. Ця вимога включає в себе безпечну інтеграцію підсистеми транспортного засобу з інфраструктурою.

Якщо дотримуватися цих характеристик на певних ділянках мережі важко, то можуть бути реалізовані тимчасові рішення, що забезпечать їх сумісність в майбутньому.

*Вимоги ТСІ до вантажних залізничних вагонів.* Технічна специфікація інтероперабельності «Вантажні вагони» [17] діють на всій залізничній мережі ЄС. Вони не нав'язують конкретних технологій і технічних рішень, крім випадків, коли це строго необхідно для забезпечення сумісності залізничної системи ЄС.

ТСІ [17] застосовується до вантажних вагонів з максимальною конструкційною швидкістю меншою або рівною 160 км/год. і максимальним навантаженням на вісь, меншим або рівним 25 тс. ТСІ застосовується до вантажних вагонів, які призначені для експлуатації на одному або декількох наступних колій: 1435 мм, 1524 мм, 1600 мм і 1668 мм. ТСІ не повинен застосовуватися до вантажних вагонів, які працюють, в основному, на колії 1520 мм, яка іноді може експлуатуватися на колії 1524 мм. ТСІ застосовується до всього нового рухомого складу вантажних вагонів залізничної системи Європейського Союзу, а також до існуючого рухомого складу в наступних випадках:

- коли він оновлюється або модернізується;
- стосовно конкретних положень, таких, як ідентифікація осей в пункті або порядку технічного обслуговування.

ТСІ [17] охоплюють такі базові параметри вантажних вагонів: кінцеві зчеплення; внутрішні з'єднання між частинами одного вагона; міцність конструкції; цілісність вагона; габарит; сумісність з допустимим навантаженням на колію; сумісність з системами виявлення

поїздів; системи контролю стану буксових підшипників; безпеку проти сходу з рейок; динаміка вагона; конструкція рами візка; параметри колісних пар; параметри коліс; параметри осей; букси і підшипники; колісні пари змінної ширини колії; елементи, що забезпечують зміну відстані між колесами колісної пари; вимоги безпеки до гальм; загальні функціональні вимоги до гальм; характеристики робочих гальм; характеристики стоянкових гальм; теплове розсіювання в гальмах; протиюзний захист; вплив на навколишнє середовище; пожежна безпека; захист від ураження електричним струмом; пристрої для встановлення хвостового сигналу.

Оскільки експлуатація вагонів-цистерн передбачається на колії 1435 мм і вагон-цистерна являє собою цілісну металеву конструкцію, виключимо з розгляду вимоги до колісних пар (в тому числі до колісних пар змінної ширини), елементам, що забезпечує індивідуальну заміну колісних пар, з'єднання між частинами вагона а також умови навколишнього середовища і пожежну безпеку.

Слід також враховувати, що згідно з пунктом 7.3.2.1 ТСІ [17] для вагонів у сполученні між Польщею, Фінляндією і Швецією з одного боку і країною – не членом ЄС з шириною колії 1520 мм допускається застосування національних технічних правил країни ЄС.

Також в ТСІ [17] описані вимоги до:

– механічних частин вагонів і динамічних якостей: кінцева зчіпка, міцність конструкції, цілісність пристрою, габарит, сумісність з допустимим навантаженням на колію і з системами виявлення поїздів, систем контролю за буксовими підшипниками, безпеки сходу з рейок, динаміки вагона, конструкції рами візка, букси і підшипники, пристрої для встановлення хвостового сигналу, маркування;

– гальм і протиюзних пристроїв: вимоги безпеки до гальм, загальні функціональні вимоги до гальм, характеристики робочих і стоянкових гальм, теплове розсіювання в гальмах, протиюзна частина.

*Вимоги нормативних документів в Україні щодо вагонів-цистерн.* Основні вимоги до рухомого складу наведені в Правилах технічної експлуатації залізниць України (ПТЕ) [18]. Згідно ПТЕ, рухомий склад повинен утримуватися в експлуатації у справному стані, що забезпечує безперебійну роботу, безпеку руху, охорону праці та своєчасно проходити планово-попереджувальні види ремонту і технічного обслуговування.

Типи і основні характеристики нового рухомого складу, затверджуються в порядку, встановленому Міністерством інфраструктури України.

Технічне завдання на новозбудований рухомий склад, затверджується постачальником за узгодженням з Державною адміністрацією залізничного транспорту України, а креслення вузлів і деталей і технічні умови – за погодженням з відповідними департаментами Державної адміністрації залізничного транспорту України.

Всі елементи вагонів за міцністю, стійкістю і технічним станом мають забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів з найбільшими швидкостями, встановленими Державною адміністрацією залізничного транспорту України. Вагони, що будуються, повинні забезпечувати безпечний і плавний рух з найбільшими конструкційними швидкостями перспективних локомотивів, призначених для обслуговування відповідних категорій поїздів. Вантажні вагони, що не мають перехідних площадок, повинні мати спеціальні підніжки і поручні. Вносити зміни в конструкції основних вузлів прийнятого в експлуатацію рухомого складу допускається в установленому порядку. Рухомий склад повинен відповідати вимогам габариту рухомого складу, встановленого Державним стандартом.

Заново побудований рухомий склад, а також той, що пройшов капітальний ремонт, до введення його в експлуатацію на залізниці, має бути випробуваний і прийнятий від заводу-постачальника в певному порядку Державною адміністрацією залізничного транспорту України. Цистерни, що використовуються для перевезення небезпечних вантажів, повинні мати сертифікати відповідності згідно зі статтею 6 Закону України "Про перевезення небезпечних вантажів".

Забороняється випускати в експлуатацію і допускати до руху в поїздах рухомий склад, що має несправності, які загрожують безпеці руху, порушують охорону праці, а також ставити в поїзди вантажні вагони, стан яких не забезпечує збереження вантажів, що перевозяться.

Вимоги до технічного стану рухомого складу, порядок його технічного обслуговування і ремонту, а також відправка його на заводи та депо для ремонту визначаються Державною

адміністрацією залізничного транспорту України. Система технічного обслуговування і ремонту рухомого складу, норми міжремонтних пробігів, порядок постановки в ремонт встановлюються Державною адміністрацією залізничного транспорту України.

Кожна одиниця рухомого складу повинна мати такі розпізнавальні чіткі знаки і написи: знак Державної адміністрації залізничного транспорту України, номер, табличку заводу-виробника із зазначенням місця будівництва, дати і місця проходження визначених видів ремонту, маса тари. Крім того, повинні бути нанесені такі написи: на вантажних вагонах – вантажопідйомність. Інші знаки і написи на рухомому складі та самохідному спеціальному рухомому складі наносяться у порядку, встановленому Державною адміністрацією залізничного транспорту України. На кожен вагон має вестись технічний паспорт (формуляр), що містить найважливіші технічні та експлуатаційні характеристики.

Технічні характеристики вагонів-цистерн які виробляються на Україні. В даний час українськими підприємствами розроблено та освоєно понад 15 моделей цистерн [4-6]. Основні технічні характеристики зазначених цистерн наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики цистерн

Шифр моделі	Найменування	Вантажопідйомність, т, не більше	Об'єм, м <sup>3</sup>	Маса тари, т	Габарит	ТУ	Срок служби, років	
15-1443-06	Вагон-цистерна для бензину та інших світлих нафтопродуктів	66,0	73,1	25,8	02-ВМ	ТУ 24.00.1285-82	32	
15-1443-14	Вагон-цистерна для хімічних вантажів	66,0	73,1	25,8			24	
15-1566-06	Вагон-цистерна для в'язких нафтопродуктів	66,0	73,1	27,0			32	
15-1566-07	Вагон-цистерна для в'язких нафтопродуктів і бітуму	65,0	73,1	27,6				
15-1754	Вагон-цистерна для нафтопродуктів	68,5	79,2	25,0				
15-1755	Вагон-цистерна для нафтопродуктів	68,0	86,5	25,8	1-ВМ	ТУ У 35.2-32258888-57:2005	30	
15-1755П	Вагон-цистерна для рослинних масел	68,0	86,5	25,8				
15-1613-02	Вагон-цистерна для карбамідоформальдегіду смоли (КФС)	68,4	54,5	23,9	02-ВМ	ТУ 24.00.6211-87	24	
15-1613-03	Вагон-цистерна для карбамідоформальдегіду смоли (КФС)	67,5	54,5	25,7	02-ВМ	ТУ 24.00.507-87	24	
15-1424-02	Вагон-цистерна для олеума	68	38,5±0,2				18	
15-1424-03	Вагон-цистерна для технічної сірчаної кислоти	65	38,5±0,2					
15-1482-05	Вагон-цистерна для сірки	65,5	38,5±0,5	26,9±0,82			ТУ 24.05.419-79	24
15-1482-06		67,5						
15-1487-01	Вагон-цистерни для слабкої азотної кислоти	68,7	54,5±0,2	24,6±0,7			ТУ 24.00503-82	27
15-1487-02	Вагон-цистерна для КФК	67		25,3±0,7				
15-1525-01	Вагон-цистерна для жовтого фосфору	68,5	46,0±0,2				ТУ 24.00.518-84	30

Продовження таблиці 1

Шифр моделі	Найменування	Вантажо- підйо- мність, т, не біль- ше	Об'єм, м <sup>3</sup>	Масса тари, т	Габарит	ТУ	Срок служби, років
15-1534-03	Вагон-цистерна для пек	62	63,4±0,5	30,6±0,9	1-Т	ТУ 24.00.6222-90	24
15-1548-02	Вагон-цистерна для поліпшеної сірчаної кислоти	67	38,5±0,2	23,3±0,7	02-ВМ	ТУ 24.00.6205	27
15-1601-01	Вагон-цистерна для меланжу	65	46,0±0,2	23,9±0,7			13
15-1614-01	Вагон-цистерна для соляної кислоти	67	63,0±0,3	25,8±0,8			18
15-1519-02	Вагон-цистерна для зріджених вуглеводневих газів і легкої вуглеводневої сировини	49,0	75,7	35,1±1,0	1-Т	ТУ 24.05.515-81	40
15-1520-01	Вагон-цистерна для пентана	42,0	73,1	26,3±0,8	1-Т	ТУ 24.00.516-82	24
15-1556-03	Вагон-цистерна для хлору	57,5	46,0	30,5	02-ВМ	ТУ 24.00. 803-82	
15-1597-01	Вагон-цистерна для аміаку	43,0	75,7	35,1	1-Т	ТУ 24-5.389-78	40
15-1780	Вагон-цистерна для пропану, бутану і їх сумішей	52,1	83,85	35,8±1,0		ТУ У 35. 2-32258888-545-2004	

Відповідність загальних технічних параметрів вагонів-цистерн які виробляються в Україні. Порівнюючи вимоги ТСТ [17] до значень параметрів «максимальна конструкційна швидкість» і «навантаження на вісь», наведених в підпункті 4.3 з параметрами платформ чотирьох вісних цистерн відповідно до вимог інтероперабельності можна зробити висновок, що всі цистерни які випускаються в даний час на Україні за вказаними параметрами відповідають вимогам ТСТ [17].

Функції кінцевої зчіпки на цистернах КВБЗ виконує автозчепний пристрій типу СА-2. Конструкція зчіпного пристрою виключає необхідність присутності людини між з'єднаними або розщепленими вагонами під час їх руху, іншими словами - відповідає вимогам інтероперабельності. Місця встановлення домкратів на цистернах позначені, і за цим параметром цистерни відповідають вимогам ТСТ [17].

Відповідність міцності конструкції і цілісності вагона-цистерни (закріплення його деталей авторами не оцінювалася, однак можна прийняти, що зазначені параметри забезпечуються у зв'язку з тим, що вимоги до міцності конструкції є одними з основних вимог при розробці нормативно-конструкторської документації в Україні. Відповідності функціональних і технічних складових інтероперабельності з вузлами цистерн, що випускаються на Україні наведені в табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Відповідність функціональних складових інтероперабельності до вузлів вагона-цистерни

Функціональна складова ТСТ	Відповідний вузол вагона-цистерни згідно з вітчизняною термінологією
Міцність конструкції.	Ходові частини, кузов.
Цілісність вагону	Ходові частини, кузов, ударно-тягові прилади, гальма
Габарит	Кузов, ходові частини
Сумісність з системами виявлення поїздів	Ходові частини



Продовження таблиці 2

Функціональна складова ТСІ	Відповідний вузол вагона-цистерни згідно з вітчизняною термінологією
Безпека проти сходу з рейок	Ходові частини
Вимоги безпеки до гальм	Гальма
Загальні функціональні вимоги до гальм	Гальма
Характеристики робочих гальм	Гальма
Характеристики стоянкових гальм	Гальма
Теплове розсіювання в гальмах	Гальма
Динамка вагона	Кузов, ходові частини
Параметри колісних пар	Ходові частини
Параметри осей	Ходові частини
Букси і підшипники	Ходові частини
Колісні пари змінної ширини колії	Відсутня
Елементи, що забезпечують індивідуальну заміну колісних пар	Відсутня

Таблиця 3

Таблиця відповідності технічних складових інтероперабельності з вузлами цистерн

Технічна складова ТСІ	Відповідний вузол вагона-цистерни згідно з вітчизняною термінологією
Кінцева зчіпка	Ходові частини
Внутрішнє з'єднання між частинами одного вагона	Відсутня
Системи контролю стану буксових підшипників	Ходові частини
Конструкція рами візка	Ходові частини
Протиюзний захист	Гальма
Вплив на навколишнє середовище	Відсутня
Пожежна безпека	Відсутня
Захист від ураження електричним струмом	Відсутня
Пристрої для установки хвостового сигналу	Кузов

Необхідно зазначити, що авторами не проводилася оцінка відповідності динамічних параметрів цистерни і безпеки проти сходу з рейок. Також встановлено, що вагони виробництва КВБЗ не відповідають вимогам інтероперабельності за параметрами пристроїв для установки хвостових сигналів і маркування вагона відповідно до EN 15877-1: 2012.

*Аналіз виконання вимог інтероперабельності до вагона-цистерни.* Аналіз принципу дії і конструкції гальмівних систем вантажних вагонів показав, що вони оснащені пневматичною гальмівною трубою з внутрішнім діаметром 32 мм, забезпечують різні режими гальмування з різним часом спрацювання і відпуску, кожен вагон має три режими гальмування, стиснене повітря не використовується для інших цілей, крім гальмування. На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що гальмівні системи вагонів виробництва Крюківського вагонобудівного заводу за своїми основними конструкційними параметрами і принципом дії відповідають вимогам інтероперабельності.

Щодо відповідності габариту вагонів-цистерн, то визначення габариту рухомого складу залізниці (або габариту рухомого складу) приведено в ДСТУ Б В.2.3-29: 2011 [19], а також у пам'ятці ОСЖД О 500 «Общие правила по габаритам для подвижного состава в интероперабельном международном сообщении». Вагони-цистерни, які досліджуються, побудовані за габаритом 01-ВМ і не відповідають вимогам інтероперабельності для колії 1435 мм, але відповідають зазначеним вимогам для колії 1520 мм, а цистерни, побудовані по габариту 02-ВМ відповідають вимогам інтероперабельності.

Був виконаний аналіз виконання умов, при виконанні яких можливий схід рухомого складу. Для цього авторами був проведений розрахунок на виконання умов сходу рухомого складу. Розрахунок проводився для порожнього вагона при наявності підвищення зовнішньої рейки  $h_p = 0,15$  м і  $h_p=0$ . Відповідно до проведених розрахунків, умова стійкості від сходу з

рейок для вагона-цистерни моделі 11-286 в обох випадках стійкість вагона забезпечена. Однак отримані значення не є достатньо точними. Розрахунки за нормами [20, 21] не дають можливості враховувати параметри рейкової колії, а саме нерівності як у вертикальній, так і в горизонтальній площині, які зустрічаються в процесі експлуатації. Також розрахунки критеріїв безпеки руху за даними нормами не дозволяють встановити вплив зносу колісних пар і залізничної колії. Крім цього, перевищення допустимого значення коефіцієнта запасу стійкості колісної пари від сходу не завжди призводить до вкочуванні гребня колеса на головку рейки. Це пояснюється тим, що співвідношення вертикального навантаження до горизонтальної сили може перевищити допустиме значення, але при цьому зазор між гребнем і рейкою ще не буде вичерпаний.

### Висновки

Для інтеграції України в єдиний європейський простір перед виробниками залізничної продукції постають нові виклики, з яких визначальним є приведення продукції, що випускається, до вимог європейського законодавства. Крюківський вагонобудівний завод, являючись провідним вітчизняним виробником рухомого складу, в умовах відкритої конкуренції з європейськими виробниками може програти конкурентну боротьбу, якщо не буде вживати заходів щодо приведення своєї продукції в відповідність до вимог інтероперабельності.

У преамбулі до Директиви [16] зазначено, що з метою дотримання відповідних положень про процедури закупівлі в залізничному секторі, підрядні організації повинні включати технічні специфікації в загальні документи або умови для кожного контракту. Для цього необхідно розробити звід правил, які будуть слугувати довідковими матеріалами для цих технічних специфікацій.

На сьогоднішній день на Україні випускається понад 15 моделей цистерн, для багатьох з яких задекларована можливість експлуатації на залізницях ЄС.

Аналіз нормативних документів ЄС в області інтероперабельності показав, що визначальним документом в даний час є Директива 2016/797 [16], яка до 2020 року діє паралельно з Директивою 2008/57 / ЄС [15].

Серед технічних специфікацій інтероперабельності безпосередньо пов'язаною до вагонів-цистерн є ТСТ «Рухомий склад-Вантажні вагони» [17], в якій наведено найголовніші вимоги до вантажних вагонів, в тому числі і до вагонів-цистерн. В зазначеному документі подаються посилання на норми EN і карти UIC, що визначають конкретні технічні та функціональні вимоги до окремих вузлів і конструкцій вагонів.

Аналіз вимог інтероперабельності для вантажних вагонів, в тому числі і до вагонів-цистерн показав, що вони стосуються наступних їх технічних і функціональних компонентів: кінцеві зчеплення; внутрішні з'єднання між частинами одного вагона; міцність конструкції; цілісність вагона; габарит; сумісність з допустимим навантаженням на колію; сумісність з системами виявлення поїздів; системи контролю стану буксових підшипників; безпеку проти сходу з рейок; динаміка вагона; конструкція рами візка; параметри колісних пар; параметри коліс; параметри осей; букси і підшипники; колісні пари змінної ширини колії; елементи, що забезпечують зміну відстані між колесами колісної пари; вимоги безпеки до гальм; загальні функціональні вимоги до гальм; характеристики робочих гальм; характеристики стоянкових гальм; теплове розсіювання в гальмах; протизнозного захисту; вплив на навколишнє середовище; пожежна безпека; захист від ураження електричним струмом; пристрої для установки хвостового сигналу. Оскільки не всі з зазначених компонентів існують в вагонах-цистернах, проведена декомпозиція вагона-цистерни на функціональні і технічні складові. Тоді для аналізу були обрані ті складові, які мають вирішальне значення в питанні відповідності конструкції вагона-цистерни вимогам інтероперабельності: навантаження на вісь, розмір, стійкість проти сходу з рейок.

Проведений аналіз вагонів-цистерн показав, що цистерна моделі 15-7076, не відповідає вимогам інтероперабельності за параметром «габарит рухомого складу». Вагони-цистерни моделей 15-776, 15-776-01 і 15-776Е мають габарит 02-ВМ, відповідний до гармонізованого габариту GC.

Принцип дії та конструкція гальмівних систем зазначених вагонів-цистерн (автоматичні гальма з декількома режимами гальмування, відключаються, використання безперервного повітропроводу діаметром 32 мм, кінцевих кранів тощо) відповідають основним вимогам інтероперабельності, проте, при застосуванні візків типу 18-100 та їх аналогів з одностороннім натисненням гальмівних колодок на вісь, не забезпечують регламентованої в ТСТ [17] величини гальмівно-

го шляху. Крім цього, вагони-цистерни 15-776, 15-776-01 і 15-776Е не відповідають ряду вимог інтероперабельності, приведення до відповідності з якими не становить великої технічної проблеми.

Для вагона-цистерни моделі 15-776 була виконана перевірка умови стійкості від сходу з рейок. Коефіцієнт стійкості від сходу для вагона даної моделі за другими розрахунковим методом склав 1,72, що не перевищило допустимого значення. Аналіз самої методики розрахунку показав, що розрахунки за затвердженими нормами не дають можливості враховувати несправності залізничної колії і знос ходових частин рухомого складу, які спостерігаються в експлуатації. Ці неточності можна врахувати за допомогою математичного моделювання.

Створення математичних моделей вагонів дозволить враховувати основні особливості конструкції ходових частин, знос колісних пар, залізничної колії і встановлювати момент часу, коли вичерпується зазор між гребнем колеса і рейкою (виникає їх динамічна взаємодія). Також для таких завдань необхідно володіти аналізом європейського досвіду у визначенні критеріїв безпеки руху.

В результаті проведеної роботи стало зрозумілим те, що для приведення вагонів-цистерн які виробляються в Україні у повну відповідність з умовами інтероперабельності необхідно:

1. Вирішити всі технічні питання, пов'язані з заміною візків типу 18-100 на візки Y25 або інші типи, які відповідають вимогам інтероперабельності.

2. Провести сертифікаційні випробування вагонів-цистерн з новими візками згідно вимог Директиви [17], ТСІ [17], EN 15273-3 [22] в процесі яких підтвердити відповідність їх розмірів габариту GC.

3. Внести необхідні зміни в гальмівну систему вагонів для забезпечення необхідного значення гальмівного шляху, провести відповідні сертифікаційні випробування згідно з вимогами Директиви [16], ТСІ [17] і документів, на які є в них посилання.

4. Внести необхідні незначні зміни в конструкцію для забезпечення виконання вимог до кріплення хвостового сигналу у вагонах, розміщення приводу ручного гальма з двох сторін вагона, маркування тощо.

5. Провести повний комплекс сертифікаційних випробувань (включаючи динамічні) згідно з вимогами Директиви [16] і отримати відповідні сертифікаційні документи.

Таким чином, в представленій роботі проаналізована конструкція і основні функціональні характеристики вагонів-цистерн, що випускаються в даний час на відповідність вимогам інтероперабельності та запропоновані першочергові заходи щодо досягнення вказаної відповідності.

#### Перелік використаних джерел:

1. Губенко В.К. Цистерны (Устройство, эксплуатация, ремонт): Справочное пособие / В.К. Губенко, А.П. Никодимов, Г.К. Жилин. – М. : Транспорт, 1990. – 151 с.
2. Вітчизняні підприємства у 2021 році скоротили виробництво вагонів на понад 30% [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://graintrade.com.ua/novosti/vitchiznyani-pidpriemstva-u-2021-rotci-skorotili-virobnitctvo-vagoniv-na-ponad-30.html>.
3. Офіційний сайт ННІ «Дніпропетровський інститут інфраструктури і транспорту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://diit.edu.ua/faculty/all>.
4. Офіційний сайт КВБЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kvsz.com>.
5. Офіційний сайт Азовмаш [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://azovmash.com/ua/catalog/25>.
6. Офіційний сайт «Полтававагон» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.poltavvagon.com/ua/products/ximiya-preparat>.
7. Терещак Ю.В. Вимоги з допуску рухомого складу до експлуатації у міжнародному сполученні / Ю.В. Терещак // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 6. – С. 39-41.
8. Донченко А.В. Разработка конструкций и расчетные исследования четырехосной цистерны с повышенной осевой нагрузкой : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Донченко Анатолий Владимирович. – Днепропетровск, 1990. – 21 с.
9. Олещак В.С. Статическая и динамическая нагруженность четырехосной безрамной цистерны с внутренним обустройством : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Олещак Валерий Станиславович. – Днепропетровск, 1992. – 23 с.
10. Лавренко Д.Т. Покращення технічних характеристик вагонів-цистерн шляхом удоскона-

- лення їх конструкції : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Лавренко Дмитро Трохимович. – Днепропетровск, 2003. – 25 с.
11. Милянч А.Р. Определение оптимального заполнения железнодорожных цистерн по критерию напряжения в логистических цепях перевозок / А. Р. Милянч // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2014. – Вип. 1(28). – С. 96-97.
  12. Odanovic Z. Analysis of the railway freight car axle fracture / Z. Odanovic // Procedia Structural Integrity. – 2017. – № 4. – Pp. 56-63. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.009>.
  13. Vasiliev A.S. Efficiency Evaluation of FreightCars Perspective Draft Gear Coupler / A.S. Vasiliev // Procedia Engineering. – 2017. – № 206. – Pp. 299-304. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.477>.
  14. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages / G. Vatulia, A. Falendysh, Y. Orel, M. Pavliuchenkov / 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation, Science and Technology. Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – Pp. 301-307. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.379>.
  15. Directive 2008/57/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 on the interoperability of the rail system within the Community [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0057>.
  16. Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system within the European Union [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L0797&from=EN>.
  17. Commission regulation (EU) No 321/2013 of 13 March 2013 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem «rolling stock – freight wagons» of the rail system in the European Union and repealing Decision 2006/861/EC [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1536757458116&uri=CELEX%3A32013R0321>.
  18. Правила технічної експлуатації залізниць України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97>.
  19. ДСТУ Б В.2.3. Габарити наближення будівель і рухомого складу залізниць колії 1520 (1524) мм (ГОСТ 9238, MOD). – Введ. 2012-12-01. – Київ, 2011. – 50 с.
  20. Тяговые расчеты: Справочник / П.Т. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцова; под. ред. П.Т. Гребенюка. – М. : Транспорт, 1987. – 272 с.
  21. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
  22. EN 15273-3: 2013 15273-3: 2013 Railway applications - Gauges - Part 3: Structure gauges [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ru.scribd.com/document/350958557/EN-15237-3-2013>.

#### References:

1. Gubenko V.K., Nikodimov A.P., Zhilin G.K. *Tsisterny (Ustroistvo, ekspluatatsiia, remont): Spravochnoe posobie* [Tanks (Device, operation, repair): Reference guide]. Moscow, Transport Publ., 1990. 151 p. (Rus.)
2. *Vitchizniani pidpriemstva u 2021 rotsi skorotili virobnitstvo vagoniv na ponad 30%* (In 2021, domestic enterprises reduced the production of wagons by more than 30%) Available at: <https://graintrade.com.ua/novosti/vitchiznyani-pidpriemstva-u-2021-rotci-skorotili-virobnitctvo-vagoniv-na-ponad-30.html> (accessed 15 December 2021) (Ukr.)
3. *Ofitsiinii sait NNI «Dnipropetrovs'kii institut infrastrukturi i transportu»* (Official website of the Dnipropetrovsk Institute of Infrastructure and Transport) Available at: <https://diit.edu.ua/faculty/all> (accessed 10 December 2021) (Ukr.)
4. *Ofitsiinii sait KVBZ* (The official site of the KBZ) Available at: <http://www.kvsz.com> (accessed 20 January 2022) (Ukr.)
5. *Ofitsiinii sait Azovmash* (Official website of Azovmash) Available at: <https://azovmash.com/ua/catalog/25> (accessed 10 November 2021) (Ukr.)
6. *Ofitsiinii sait «Poltavavagon»* (Official site «Poltavawagon») Available at: <https://www.poltavvagon.com.ua/products/ximiya-preparat> (accessed 10 November 2021) (Ukr.)
7. Tereshchak Iu.V. *Vimogi z dopusku rukhomogo skladu do ekspluatatsii u mizhnarodnomu*

- spoluchenni [Requirements for admission of rolling stock to operation in international traffic]. *Zalozhnykh transport Ukraini – Railway transport of Ukraine*, 2011, № 6, pp. 39-41. (Ukr.)
8. Donchenko A.V. *Razrabotka konstruktivnykh i raschetnykh issledovaniia chetyrekhosnoi tsisterny s povyshennoi osevoi nagruzkoj*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Development of structures and computational studies of a four-axle tank with increased axial load. Thesis of Cand. tech. sci. diss.]. Dnepropetrovsk, 1990. 21 p. (Rus.)
  9. Oleshchak V.S. *Sticheskaia i dinamicheskaia nagruzhenost' chetyrekhosnoi bezramnoi tsisterny s vnutrennim obustroistvom*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Static and dynamic loading of a four-axle frameless tank with internal equipment. Thesis of Cand. tech. sci. diss.]. Dnepropetrovsk, 1992. 23 p. (Rus.)
  10. Lavrenko D.T. *Pokrashchennia tekhnichnikh kharakteristik vagoniv-tsistern shliakhom udoskonalennia ikh konstruktivnykh*. Avtoref. diss. kand. techn. nauk [Improvement of technical characteristics of tank cars by improvement of their construction. Thesis of Cand. tech. sci. diss.]. Dnipropetrovsk, 2003. 25 p. (Ukr.)
  11. Milyanich A.R. *Opredelenie optimal'nogo zapolneniia zheleznodorozhnykh tsistern po kriteriiu napriazheniia v logisticheskikh tsepiakh perevozok* [Determination of the optimal filling of railway tanks according to the criterion of stress in the logistics chains of transportation]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport – Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport*, 2014, vol. 1(28), pp. 96-97. (Rus.)
  12. Odanovic Z. Analysis of the railway freight car axle fracture. *Procedia Structural Integrity*, 2017, № 4, pp. 56-63. doi: 10.1016/j.prostr.2017.07.009.
  13. Vasiliev A.S. Efficiency Evaluation of Freight Cars Perspective Draft Gear Coupler. *Procedia Engineering*, 2017, № 206, pp. 299-304. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.477.
  14. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation, Science and Technology. Procedia Engineering*, 2017, vol. 187, pp. 301-307. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.379.
  15. Directive 2008/57/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 on the interoperability of the rail system within the Community Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0057> (accessed 02 February 2022).
  16. Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system within the European Union Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L0797&from=EN> (accessed 02 February 2022).
  17. Commission regulation (EU) No 321/2013 of 13 March 2013 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem «rolling stock – freight wagons» of the rail system in the European Union and repealing Decision 2006/861/EC Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1536757458116&uri=CELEX%3A32013R0321> (accessed 15 January 2022).
  18. *Pravila tekhnichnoi ekspluatatsii zalozhnykh Ukraini* (Rules for the technical operation of Ukrainian railways) Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97> (accessed 3 January 2022). (Ukr.)
  19. *DSTU B V.2.3. Gabariti nablizhennia budivel' i rukhomogo skladu zalozhnykh kolii 1520 (1524) mm* [State Standard B V.2.3. Approximate dimensions of buildings and rolling stock of railway tracks 1520 (1524) mm]. Kyiv, 2011. 50 p. (Ukr.)
  20. Grebeniuk P.T., Dolganov A.N., Skvortsova A.I. *Tiagovye raschety: Spravochnik* [Traction Calculations: Handbook]. Moscow, Transport Publ., 1987. 272 p. (Rus.)
  21. *Pravila tiagovykh raschetov dlia poezdnoi raboty* [Rules for traction calculations for train operation]. Moscow, Transport Publ., 1985. 287 p. (Rus.)
  22. EN 15273-3: 2013 Railway applications - Gauges - Part 3: Structure gauges Available at: <https://ru.scribd.com/document/350958557/EN-15237-3-2013> (accessed 03 February 2022).

Рецензент: А.П. Фалендиш  
д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 20.02.2022