

- 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.¹, Ловська А.О.², Сова С.С.³, Литвиненко А.С.⁴

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-

¹ д-р техн. наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, ORCID: 0000-0003-2387-9946, fomin1985@ukr.net

² д-р техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, ORCID: 0000-0002-8604-1764, alyonaLovskaya.vagons@gmail.com

³ аспірант, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Северодонецьк, ORCID: 0000-0002-9810-8957, gorbunov0255@gmail.com

⁴ аспірант, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Северодонецьк, ORCID: 0000-0002-5182-9607, 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.

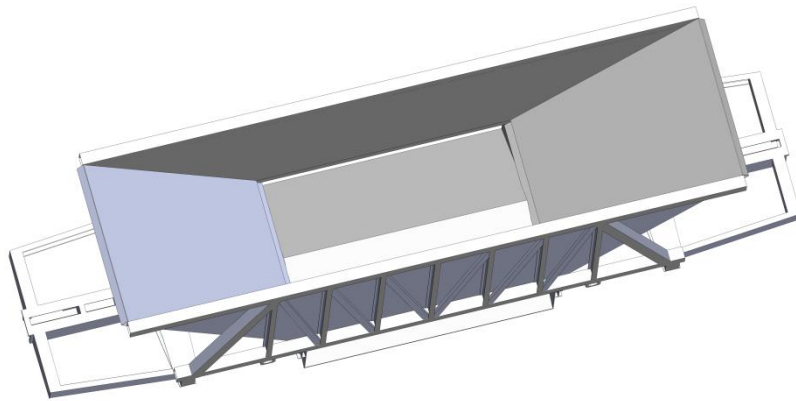


Рис. 1 – Просторова модель несучої конструкції вагона-хопера

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 елемента 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.

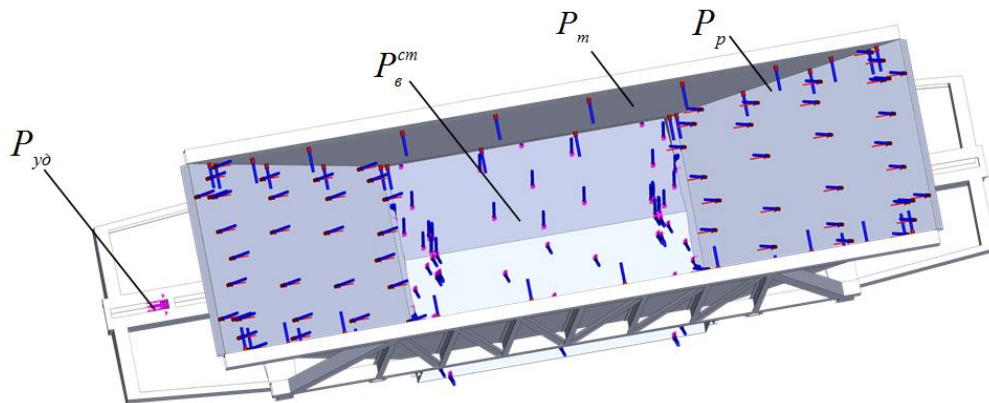


Рис. 2 – Розрахункова схема несучої конструкції вагона-хопера

Враховано, що на несучу конструкцію вагона діє вертикальне статичне навантаження $P_{с}^{ст}$. Також на конструкцію кузова діє тиск розпору від насипного вантажу P_p , 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_m , 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 γ – щільність насипного вантажу, т/м³;
 H – висота бокової стіни, м;
 φ – кут природнього відкосу вантажу, рад;
 g – прискорення вільного падіння, м/с².

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

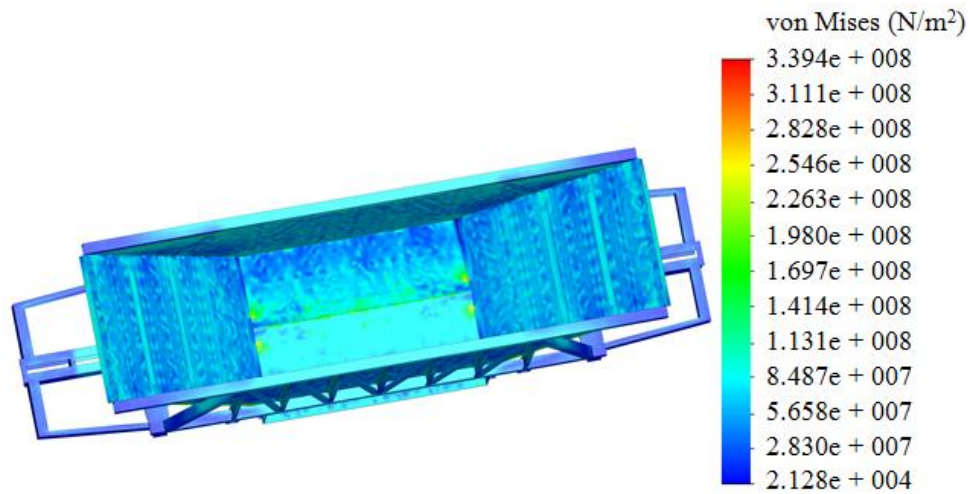


Рис. 3 – Напружений стан несучої конструкції вагона-хопера

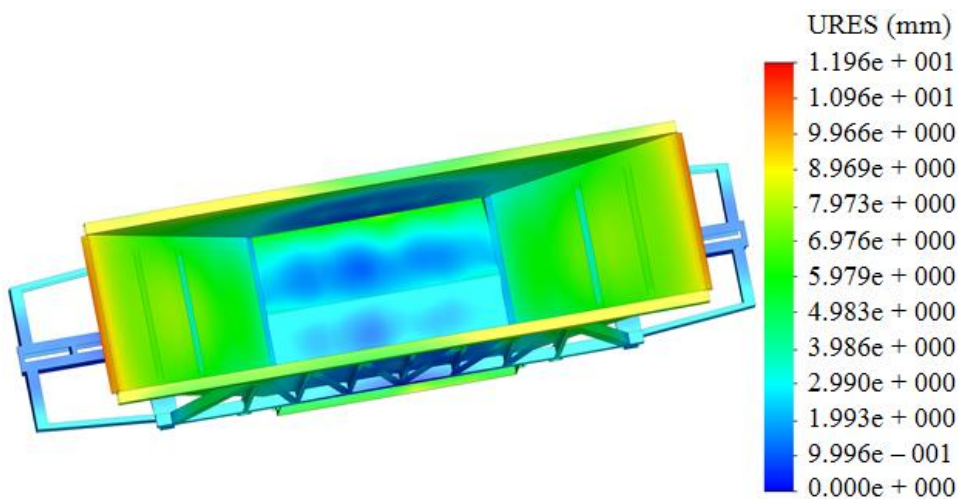


Рис. 4 – Переміщення в вузлах несучої конструкції вагона-хопера

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.

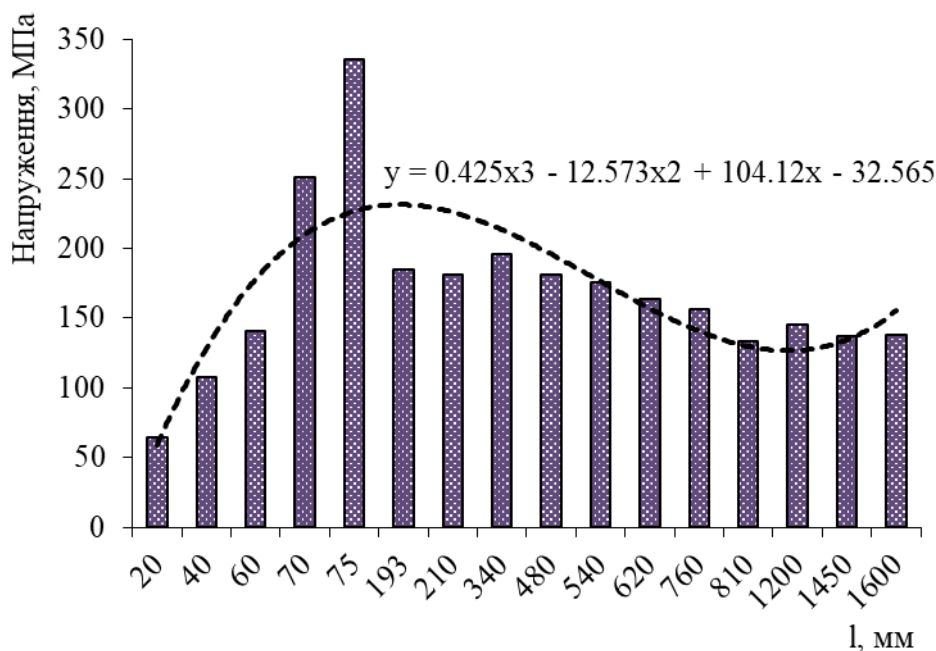


Рис. 5 – Розподілення максимальних еквівалентних напружень за висотою стійки вагона-хопера

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.

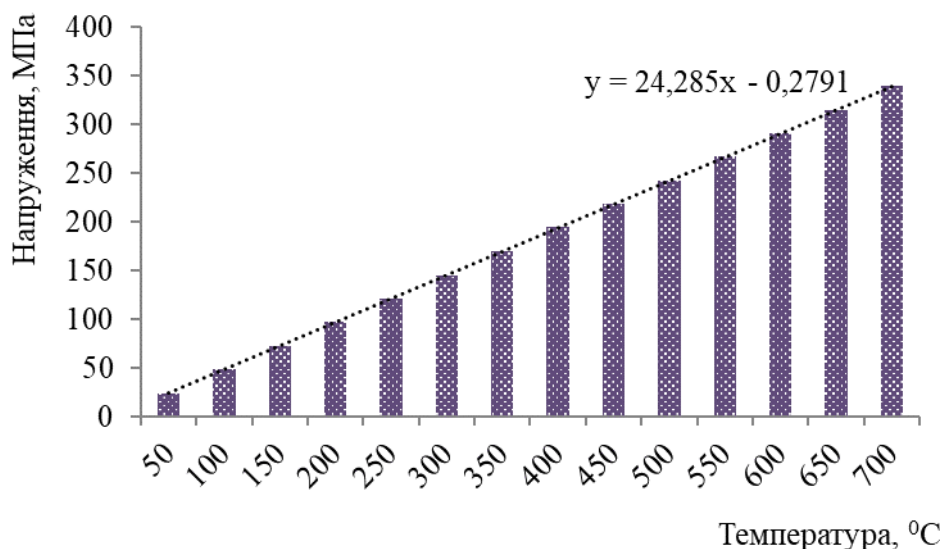


Рис. 6 – Залежність максимальних еквівалентних напружень в вертикальній стійці вагона-хопера від температурного впливу

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.¹, Джус В.С.², Джус О.В.³, Клецька О.В.⁴,
Кіріцева О.В.⁵

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

¹ канд. техн. наук, в.о. директора, Львівський інститут Українського державного університету науки і технологій, м. Львів, ORCID: 0000-0002-4787-1781, jarik762145@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Львівський інститут українського державного університету науки і технологій, м. Львів, ORCID: 0000-0002-1787-4471, jvs1960lviv@gmail.com

³ зав. лабораторії, Львівський НДІ судових експертиз, м. Львів, ORCID: 0000-0002-7577-4049, djusov22@gmail.com

⁴ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-4682-860X, gurao@ukr.net

⁵ ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-2481-5883, evkiritseva@gmail.com