

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КРИШКИ ЛЮКА ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ВІД ЗЙОМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ В НАПІВВАГОНІ

Альона Ловська

доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050,
alyonaLovskaya.vagons@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8604-1764

Павло Рукавішников

старший викладач кафедри інженерії вагонів та якості продукції

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050,
Rukavishnikov@kart.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9670-3071

Дмитро Петренко

доцент кафедри будівельних конструкцій

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Черноглазівська, 17,
Харків, Україна, 61002, petrenko_dmytro@ukr.net

ORCID: 0000-0002-8168-7224

Микола Равлюк

старший викладач кафедри механіки та проектування машин

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050,
ravmg@ukr.net

ORCID: 0000-0002-6021-660X

В статті висвітлено особливості проведення експериментального дослідження міцності кришки люка при її навантаженні від зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні. При цьому здійснено стендові випробування. Для моделювання реальної схеми закріплення кришки люка на напіввагоні створено спеціальний стенд. Визначення напружень, які виникають в кришці люка проведено методом електричного тензометрування. При цьому використано тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом. Перед початком випробувань здійснено тарування тензорезисторів.

Монтаж тензорезисторів проведено за мостовою схемою. Місця розміщення тензорезисторів на кришці люка визначено за отриманими теоретичним шляхом полями напружень. Передача навантаження на кришку люка здійснювалась через металеву пластину, ширина якої дорівнює ширині повздовжньої балки зйомного модуля. Величина навантаження контролювалась динамометром. При цьому максимальна величина навантаження прийнята рівною 6 т (60 кН), що відповідає максимально завантаженому стану контейнера типорозміру 1СС.

Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали 103,5 МПа. Ці напруження нижчі за допустимі.

Для порівняльного аналізу результатів експериментальних досліджень з теоретичними, авторами проводилися варіаційні розрахунки на міцність кришки люка із використанням методу скінчених елементів. Найбільший відсоток розбіжності склав 10,4% і зафіксований при навантаженні на кришку люка у 20 кН.

Отже запропонована схема кріплення контейнерів в напіввагоні дозволяє знизити напруження в кришці люка у 3 рази у порівнянні із типовою схемою взаємодії фітингів із фітинговими упорами.

Результати проведених досліджень сприятимуть створенню рекомендацій щодо залучення напіввагонів до перевезень контейнерів, а відповідно підвищенню ефективності експлуатації контейнерних перевезень.

Ключові слова: кришка люка напіввагона, міцність кришки люка, експериментальні випробування кришки люка, напружений стан кришки люка, контейнерні перевезення.

Актуальність роботи. Аналіз номенклатури перевозимих через територію України вантажів дозволив зробити висновок, що значний сегмент припадає на контейнери. У відповідності до даних ГЮЦ УЗ парк вагонів-платформ для перевезень контейнерів налічує їх більше 4600 одиниць. Розповсюдження контейнерних перевезень зумовило модернізацію універсальних вагонів-платформ до перевезень контейнерів. Така модернізація полягала у постановці фітингових упорів на раму. Разом з цим, дане рішення не вирішило повністю питання технічного забезпечення контейнерних перевезень залізницею.

Нестача вагонів-платформ в експлуатації викликає необхідність використання інших типів вагонів під контейнерні перевезення, наприклад, напіввагонів. Однак, використання напіввагонів під перевезення контейнерів потребує забезпечення надійної схеми їх взаємодії, адже напіввагон не пристосований для цих цілей. Тому питання ситуаційної адаптації напіввагонів до перевезень контейнерів є досить актуальними та потребують дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання визначення міцності та удосконалень кришок розвантажувальних люків є наразі досить актуальними. Наприклад, в роботі [1] для забезпечення міцності кришки люка запропоновано удосконалення її конструкції: кришка люка має два полотна (верхнє та нижнє), а в просторі між ними знаходиться пружно-в'язкий матеріал. Таке рішення сприяє зменшенню динамічної навантаженості кришки люка при експлуатаційних режимах. Наведено теоретичне обґрунтування запропонованого рішення.

Розрахунок на міцність удосконаленої конструкції кришки люка напіввагона висвітлено у публікації [2]. Особливість удосконалення полягає у тому, що кришка люка має поліматеріальне виконання та проміжне Ш-подібне обв'язування. Результати розрахунку показали, що міцність кришки люка при розглянутих схемах її навантаження дотримується.

Разом з цим, авторами публікацій [1, 2] не досліджувався випадок навантаженості кришки люка від контейнера, розміщеного в напіввагоні.

Особливості визначення міцності кришки люка при її навантаженні від фітингового упора висвітлено у публікаціях [3, 4]. При цьому авторами проводилися теоретичні розрахунки з використанням методу скінчених елементів. Однак результати цих розрахунків не підтверджено експериментальним шляхом.

Удосконалення кришки люка шляхом посилення її конструкції додатковими поясами запропоновано в роботі [5]. Висвітлено результати

визначення міцності кришки люка. Але при проведенні розрахунків на міцність автори приймали до уваги тільки основні режими її навантаження в експлуатації. Тобто міцність кришки люка при її навантаженні від контейнера не визначалась.

Нову конструкцію кришки люка запропоновано і в роботі [6]. Особливістю кришки люка є те, що вона має випуклу конфігурацію. Таке рішення забезпечує збільшення вантажопідйомності напіввагона. В роботі наведено обґрунтування конструкції кришки люка. Однак недоліком такої кришки люка є те, що вона обмежує використання напіввагонів для перевезень контейнерів.

Проведений аналіз наукових публікацій доводить, що питання експериментального дослідження міцності кришки люка напіввагона при навантаженні від контейнера є актуальними.

Метою статті є висвітлення особливостей експериментального дослідження міцності кришки люка при її навантаженні від зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні.

Досягнення поставленої мети відбувалось розв'язком таких завдань:

- провести експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від зйомного модуля;
- провести порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень міцності кришки люка з комп'ютерним моделюванням.

Матеріал і результати досліджень. Для безпечного перевезення контейнерів в напіввагоні пропонується використання зйомного модуля. Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між контейнером та кузовом напіввагона (рис. 1). Модуль складається із рами, яку утворюють поперечні балки 1, кінцеві балки 2, повздовжні балки 3, торцеві надбудови 4 та розкоси 5. Для кріплення модуля в напіввагоні він оснащений кутовими фітингами 6. Кріплення контейнерів в модулі здійснюється через фітингові упори 7.

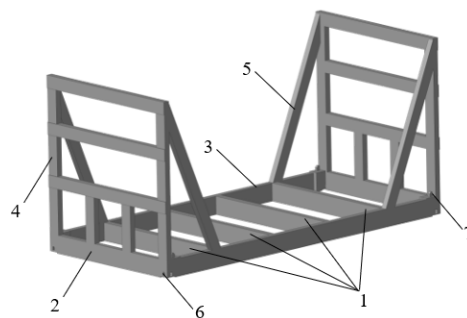


Рис. 1. Модуль для кріплення контейнерів в напіввагоні

Для обґрунтування застосування зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні проведено експериментальне визначення напружень в кришці люка напіввагона. При цьому здійснено стендові випробування в дослідній лабораторії «Центру діагностики споруд транспортного призначення» при Українському державному університеті залізничного транспорту. Визначення напружень, які виникають в конструкції кришки люка проведено з використанням методу електричного тензометрування. Перед монтажем тензорезисторів здійснювалось їх тарирування. При цьому застосовувалися тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом (рис. 2).



Рис. 2. Розміщення тензорезисторів на кришці люка

Монтаж тензорезисторів здійснено за мостовою схемою. Місця розміщення тензорезисторів на кришці люка визначено за отриманими теоретичним шляхом полями напружень. Схему розміщення груп тензорезисторів на кришці люка наведено на рис. 3. Знизу полотна кришки люка також розміщувалися тензорезистори у тих же зонах, що і зверху.

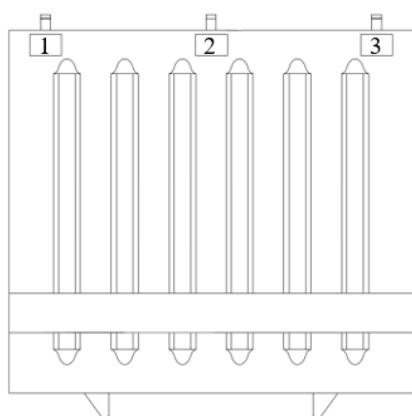


Рис. 3. Розміщення груп тензорезисторів на кришці люка 1 – перша група; 2 – друга група; 3 – третя група

Для випробування кришки люка створено спеціальний стенд. Закріплення кришки люка здійснювалось за петлі (рис. 4). Для цього використовувалися металеві пальці (рис. 5).

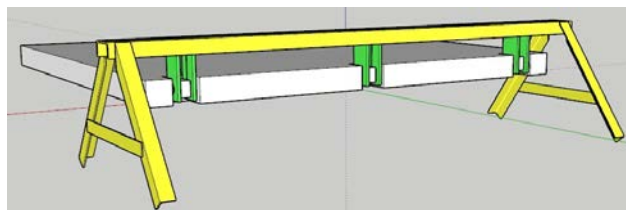


Рис. 4. Зони закріплення кришки люка за петлі



Рис. 5. Розміщення кришки люка на випробувальному стенді

Передача навантаження на кришку люка здійснювалась через металеву пластину, ширина якої дорівнює ширині повздовжньої балки зйомного модуля (рис. 6).

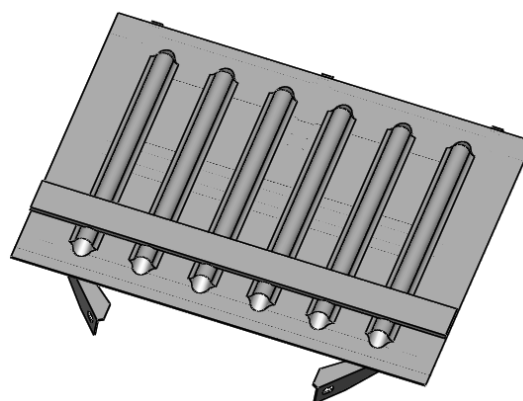


Рис. 6. Розміщення металевієї пластини на кришці люка

Навантаження на пластину передавалось через двотавр, який, в свою чергу, сприймав

навантаження від домкрата (рис. 7). Величина навантаження контролювалася динамометром. При цьому максимальна величина навантаження прийнята рівною 6 т (60 кН), що відповідає максимально завантаженому стану контейнера типорозміру 1СС.



Рис. 7. Передача навантаження на кришку люка

Найбільші показання деформацій під час випробувань зафіксовано групою тензорезисторів 3 (рис. 8).

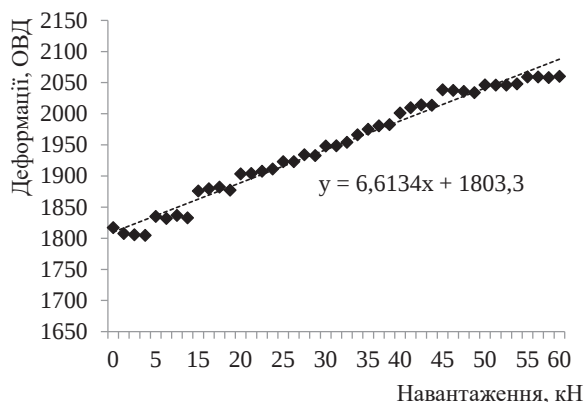


Рис. 8. Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження (група тензорезисторів №3)

З рис. 8 видно, що залежність відносних деформацій від навантаження є лінійною. Напруження, які виникають у кришці люка, наведено в таблиці 1, а також на рис. 9.

Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали 103,5 МПа. Ці напруження нижчі за допустимі [7].

Для порівняльного аналізу результатів експериментальних досліджень з теоретичними, авторами проводилися варіаційні розрахунки на

Таблиця 1

Напруження, які виникають в кришці люка в зоні розміщення групи тензорезисторів № 3

Навантаження, кН	Напруження, МПа
5	9,4
10	19,5
15	27,6
20	37,5
25	46,4
30	53,2
35	65,4
40	75,3
45	84,1
50	94,5
55	106,2
60	115,4

міцність кришки люка із використанням методу скінчених елементів [8, 9]. У якості прикладу, на рис. 10 наведено результати розрахунку кришки люка на міцність при максимальній завантаженості контейнера.

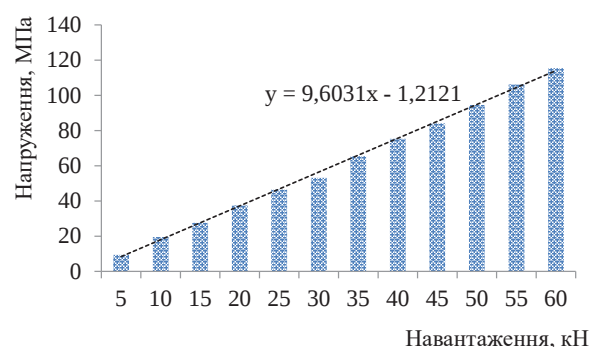


Рис. 9. Залежність напружень в кришці люка від навантаження на неї

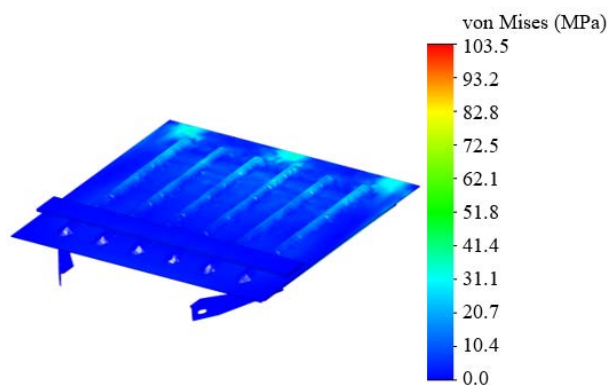


Рис. 10. Напружений стан кришки люка

Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки люка та експериментальними дослідженнями наведено на рис. 11.

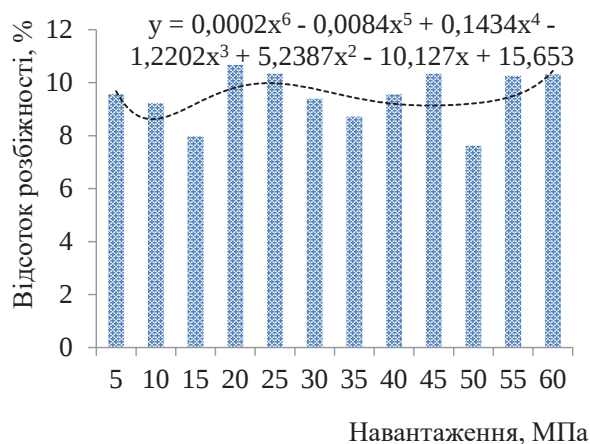


Рис. 11. Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки люка та експериментальними дослідженнями

З рис. 11 можна зробити висновок, що найбільший відсоток розбіжності складає 10,4% і зафіксований при навантаженні на кришку люка у 20 кН.

Отже запропонована схема кріплення контейнерів в напіввагоні дозволяє знизити напруження в кришці люка у 3 рази у порівнянні із типовою схемою взаємодії фітингів із фітинговими упорами.

Висновки.

1. Проведено експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від зйомного модуля. При цьому здійснено стендові випробування із застосуванням методу електричного тензометрування. Під час проведення випробувань застосовувалися тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом. Місця розміщення тензорезисторів на кришці люка визначено за отриманими теоретичним шляхом полями напружень. Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали 103,5 МПа. Отримана величина напружень нижча за допустимі.

2. Проведено порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень міцності кришки люка з комп'ютерним моделюванням. Встановлено, що найбільший відсоток розбіжності складає 10,4% і зафіксований при навантаженні на кришку люка у 20 кН.

Важливо сказати, що запропонована схема кріплення контейнерів в напіввагоні дозволяє знизити напруження в кришці люка у 3 рази у порівнянні із типовою схемою взаємодії фітингів із фітинговими упорами.

Подяка. Дана публікація підготовлена у рамках виконання стипендіальної роботи Верховної Ради України для молодих учених – докторів наук «Ефективні конструктивні рішення залізничного рухомого складу для перевезень стратегічних вантажів» (№ ДР 0124U003906).

ЛІТЕРАТУРА

1. Lovska A., Nerubatskyi V., Plakhtii O., Myamlin S. Determining the influence of sandwich-type components on the load of a hatch cover in a universal open wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. № 1/7 (127). Р. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.296620
2. Горбунов М. І., Фомін О. В., Ловська А. О., Коваленко В. В. Комплексний розрахунок поліматеріального виконання кришки люка напіввагону з проміжним ш-подібним обв'язуванням. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. Вип. 3 (75). С. 138–148. DOI: 10.15802/stp2018/132863
3. Gerlici Ju., Lovska A., Vatulia G., Dizo J., Blatnicki M. Research into the Strength of the Discharge Door of an Open Wagon Transporting Containers. *AIP Conf. Proc.* 2024. 3129, 060001. DOI: 10.1063/5.0201451
4. Ловська А. О., Мурад'ян А. О., Рукавішников П. В., Демидюков О. В. Аналіз міцності кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія:*

Технічні науки. 2024. Том 35 (74). № 2. С. 304–309. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.2/42

5. Візник Р. І., Чепурченко І. В., Яценко А. О. Особливості визначення експлуатаційних навантажень кузова напіввагона та шляхи удосконалення його конструкції з метою забезпечення міцності і збереження. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. Вип. 159. С. 91–97.

6. Baranovskyi D., Bulakh M., Myamlin S., Kebal I. New Design of the Hatch Cover to Increase the Carrying Capacity of the Gondola Car. *Advances in Science and Technology – Research Journal*. 2022. Vol. 16(6). Р. 186–191. DOI: 10.12913/22998624/156205

7. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

8. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: навчальний посібник. Луцьк, Вежа. 2018. 172 с.

9. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: Навчальний посібник. Херсон, Олді-плюс. 2018. 252 с.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF HATCH COVER STRENGTH UNDER THE LOAD FROM A REMOVABLE MODULE FOR ENSURING CONTAINERS IN AN OPEN WAGON

Alyona Lovska

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Wagon Engineering and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sqr., Kharkiv, Ukraine, 61050,
alyonaLovskaya.vagons@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8604-1764

Pavlo Rukavishnykov

Senior Lecturer at the Department of Wagon Engineering and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sqr., Kharkiv, Ukraine, 61050,
Rukavishnikov@kart.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9670-3071

Dmytro Petrenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Building
Constructions
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17 Chornohlazivska str., Kharkiv, Ukraine,
61002, petrenko_dmytro@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8168-7224

Mykola Ravlyuk

Senior Lecturer at the Department of Mechanics and Machine Design
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sqr., Kharkiv, Ukraine, 61050, ravmg@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6021-660X

The article highlights the features of conducting an experimental study of hatch cover strength of the when it is loaded by a removable module for ensuring containers in an open wagon. Bench tests were carried out. A special bench was created to simulate the real scheme of ensuring the hatch cover to an open wagon. The stresses that arise in the hatch cover were determined by the method of electrical strain gauge measurement. A strain gauge with a base of 10 mm and a resistance of 100 Ohms was used. Before the start of the tests, the strain gauge resistors were calibrated. The strain gauge resistors were installed according to a bridge scheme. The locations of the strain gauge resistors on the hatch cover were determined according to the theoretically obtained stress fields. The load was transferred to the hatch cover through a metal plate, the width of which is equal to the width of the longitudinal beam of the removable module. The load was checked by a dynamometer. In this case, the maximum load value is equal to 6 t (60 kN), which corresponds to the maximum loaded state of the ICC container. The maximum stresses recorded in the hatch cover were 103.5 MPa. These stresses are lower than the permissible ones. For a comparative analysis of the results of experimental studies with theoretical authors, variational calculations were performed on the strength of the hatch cover using the finite element method. The largest percentage of discrepancy is 10.4% and it was identified at the load of 20 kN on the hatch cover. Thus, the proposed scheme for fastening containers in an open wagon allows reducing the stresses in the hatch cover by 3 times compared to the typical scheme of interaction of fittings with fitting stops.

The results of the conducted research will contribute to the creation of recommendations for involving open wagons in container transportation, and accordingly increasing the efficiency of container transportation operations.

Key words: open wagon hatch cover, hatch cover strength, experimental tests of hatch covers, stress state of hatch covers, container transportation.

REFERENCES

1. Lovska, A., Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., & Myamlin, S. (2024). Determining the influence of sandwich-type components on the load of a hatch cover in a universal open wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/7 (127), 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.296620
2. Horbunov, M. I., Fomin, O. V., Lovska, A. O., & Kovalenko, V. V. (2018). Kompleksnyi rozrakhunok polimaterialnoho vykonannia kryshky liuka napivvahonu z promizhnym SH-podobnym obviazuvanniam [Comprehensive calculation of a multi-material design of an open wagon hatch cover with intermediate W-shaped strapping]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and progress of*

transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 3 (75), 138–148. DOI: 10.15802/stp2018/132863 [in Ukrainian].

3. Gerlici, Ju., Lovska, A., Vatulja, G., Dizo, J., & Blatnicki, M. (2024). Research into the Strength of the Discharge Door of an Open Wagon Transporting Containers. *AIP Conf. Proc.*, 3129, 060001. DOI: 10.1063/5.0201451

4. Lovska, A. O., Muradian, A. O., Rukavishnikov, P. V., & Demydiukov, O. V. (2024). Analiz mitsnosti kryshky liuka universalnogo napivvahona pry perevezenni v nomu konteineriv [Analysis of the strength of the hatch cover of an universal open wagon when transporting containers in it]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky – Scientific notes of the V.I. Vernadsky Tavrichesky National University. Series: Technical Sciences*, 35 (74), 2, 304–309. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.2/42 [in Ukrainian].

5. Vizniak, R. I., Chepurchenko, I. V., & Yatsenko, A. O. (2016). Osoblyvosti vyznachennia ekspluatatsiinykh navantazhen kuzova napivvahona ta shliakhy udoskonalennia yoho konstruktsii z metoiu zabezpechennia mitsnosti i zberezhenia [Peculiarities of determining the operational loads of an open wagon body and ways to improve its design to ensure strength and

safety]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 159, 91–97. [in Ukrainian].

6. Baranovskyi, D., Bulakh, M., Myamlin, S., & Kebal, I. (2022). New Design of the Hatch Cover to Increase the Carrying Capacity of the Gondola Car. *Advances in Science and Technology – Research Journal*, 16(6), 186–191. DOI: 10.12913/22998624/156205

7. Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih) [Freight cars. General requirements for calculations and design of new and modernized wagons of 1520 mm gauge (non-self-propelled)]. (2015). *DSTU 7598:2014 from 01 August 2015*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

8. Pustiulha, S. I., Samostian, V. R., & Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna hrafika v SolidWorks: navchalnyi posibnyk [Engineering graphics in SolidWorks: a tutorial]*. Lutsk: Vezha. [in Ukrainian].

9. Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V. & Parfeniuk, O. V. (2018). *Kompiuterna hrafika: SolidWorks: Navchalnyi posibnyk. [Computer Graphics: SolidWorks: a tutorial]*. Kherson, Oldi-plus. [in Ukrainian].

Стаття надійшла 03.04.2025