

**Ловська А.О.**

Український державний університет залізничного транспорту

**Мурад'ян А.О.**

Одеський національний морський університет

**Рукавішников П.В.**

Український державний університет залізничного транспорту

**Демидюков О.В.**

Одеський національний морський університет

## АНАЛІЗ МІЦНОСТІ КРИШКИ ЛЮКА УНІВЕРСАЛЬНОГО НАПІВВАГОНА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ В НЬОМУ КОНТЕЙНЕРІВ

*В матеріалах статті висвітлюються особливості розрахунку на міцність кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Графічні роботи зі створення просторової моделі кришки люка здійснено в програмному комплексі SolidWorks. Побудову просторової моделі здійснено за альбомом креслень кришки люка. При проведенні дослідження враховано, що для закріплення контейнерів в напіввагоні використовуються стаціонарні фітингові упори. Тому при побудові просторової моделі на полотні кришки люка встановлений фітинговий упор. При цьому модель є монолітною та не враховує зварювальних швів між її складовими.*

*Розрахунок на міцність здійснено за методом скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation. У якості розрахункового використано критерій Мізеса (IV теорія міцності). У якості матеріалу виконання кришки люка, а також фітингового упору застосовано низьколеговану сталь марки 09Г2С.*

*При проведенні розрахунків кришки люка враховано, що на неї діє вертикальне навантаження, яке розглянуто як суму вертикального статичного та динамічного навантажень. Скінчено-елементна модель кришки люка утворювалася ізопараметричними тетраедрами. Їх чисельність визначено графоаналітичним шляхом.*

*Результати розрахунку показали, що максимальні напруження виникають в петлі кришки люка. При цьому ці напруження склали 366,7 МПа та є вищими за допустимі. Це доводить неможливість такої схеми перевезень контейнерів. Максимальні переміщення в кришці люка зафіксовано у кутовій частині полотна, розміщеній протилежно від фітингового упору і склали 14,5 мм.*

*Проведені дослідження сприятимуть формуванню рекомендації щодо можливості залучення напіввагонів до контейнерних перевезень.*

**Ключові слова:** кришка люка напіввагона, навантаженість кришки люка, міцність кришки люка, контейнерні перевезення.

**Постановка проблеми.** Відомо, що залізнична галузь є двигуном розвитку економіки євразійських країн. Для забезпечення стабільності її функціонування важливим є впровадження в експлуатацію транспортних засобів з покращеними характеристиками. Відомо, що найбільш поширеним транспортним засобом в міжнародному сполученні є контейнери. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється спеціалізованими вагонами-платформами, обладнаними фітинговими упорами.

У зв'язку з нестачею вагонів-платформ дістало поширення використання напіввагонів для пере-

везень контейнерів (рис. 1 [1]). Для кріплення контейнерів у напіввагоні на їх підлогу монтуються фітингові упори, ідентичні до тих, що використовуються на вагонах-платформах. Здебільшого для таких цілей застосовуються глухоні напіввагони. Однак парк напіввагонів сформований і значною кількістю напіввагонів, підлога яких утворена кришками розвантажувальних люків.

У зв'язку з цим, для можливості перевезень контейнерів у таких напіввагонах, важливим є проведення досліджень в зазначеному напрямку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання дослідження міцності кришок розван-



Рис. 1. Розміщення контейнера у напіввагоні

тажувальних люків напіввагонів розглядалися в чималій кількості публікацій. Так, в роботі [2] для забезпечення схоронності кришок розвантажувальних люків напіввагонів запропоновано удосконалення шляхом посилення конструкції додатковими поясами. Запропоноване рішення обґрунтоване результатами розрахунків на міцність кришки люка. Важливо сказати, що в роботі [2] авторами не приймалося до уваги режиму навантаження кришки люка від фітингового упору для кріплення контейнера.

Для забезпечення схоронності кришки люка напіввагона при найбільш навантажених експлуатаційних режимах в публікації [3] запропоновано заходи щодо її удосконалення. Особливістю кришки люка є те, що вона складається з двох листів, які за периметром взаємодіють через Ш-подібне обв'язування. Простір, який утворюють листи та обв'язування, а також по периметру кришки люка, заповнений пружно (пружно-в'язкою) речовиною. Разом з цим така конструкція кришки люка викликає складнощі при технічному обслуговуванні і ремонті.

Для забезпечення схоронності складових конструкції напіввагона в процесі експлуатації є можливим використання новітніх матеріалів для їх виготовлення. Так, в статті [4] проводиться обґрунтування використання композитних матеріалів для виготовлення настилу підлоги вагона. Наведено відповідне наукове обґрунтування запропонованого рішення. Дане рішення є можливим застосувати і щодо конструкції кришок розвантажувальних люків напіввагонів. Однак авторами роботи не проводилося досліджень в цьому напрямку.

В публікації [5] проводиться аналіз міцності кузова глухонного напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Розрахунок на міцність реалізовано методом скінчених елементів. Визна-

чено поля розподілення еквівалентних напружень в кузові. Запропоновано рішення щодо покращення міцності кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Однак авторами не проводилося дослідження міцності кришки люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів.

Нову конструкцію кришки люка напіввагона запропоновано в статті [6]. Особливістю запропонованої кришки люка є те, що вона має випуклу конфігурація. Таке рішення дозволяє збільшити вантажопідйомність напіввагона на 0,9 т у порівнянні з прототипом. Результати розрахунків на міцність довели раціональність запропонованої конструкції кришки люка. Однак в статті до уваги прийнято тільки один розрахунковий режим її навантаження.

В роботі [1] проведено дослідження навантаженості кузова універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. До уваги прийнято випадок перевезення контейнерів при відсутності їх закріплення відносно кузова. Встановлено, що така схема перевезень не є допустимою. У зв'язку з цим запропоновано пристрій для закріплення контейнерів в кузові напіввагона. Обґрунтовано його конструкційні особливості, а також проведено розрахунок на міцність кузова напіввагона з урахуванням використання даного пристрою. Разом з цим, авторами даної роботи не досліджувалося міцності кришки розвантажувального люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів.

Аналіз публікацій [1–6] доводить, що питання визначення міцності кришки люка напіввагона при навантаженні її від фітингового упору для кріплення контейнерів є актуальним та потребує дослідження.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є аналіз міцності кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- створити просторову модель кришки люка універсального напіввагона;
- провести розрахунок на міцність кришки люка універсального напіввагона.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження можливості перевезень контейнерів у напіввагонах, підлога яких утворена кришками люків, доцільним є проведення її розрахунку на міцність. При цьому використано метод скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation [7, 8]. Графічні роботи зі створення просторової моделі кришки люка здійснено

в SolidWorks (рис. 2). Враховано, що для закріплення контейнерів в напіввагоні використовуються стаціонарні фітингові упори. Тому при побудові просторової моделі на полотно кришки люка встановлений фітинговий упор. При цьому модель є монолітною та не враховує зварювальних швів між її складовими.



Рис. 2. Просторова модель кришки люка з фітинговим упором

При проведенні розрахунків кришки люка враховано, що на неї діє вертикальне навантаження  $P_e$  (рис. 3). При цьому дане навантаження розглянуто як суму вертикального статичного та динамічного навантажень. Вертикальне статичне навантаження визначено як  $1/4$  ваги бруто контейнера (контейнер типорозміру 1СС).

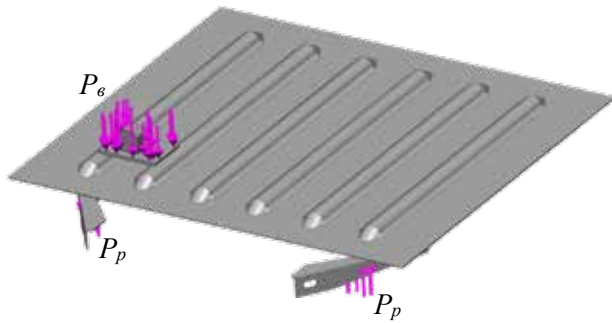


Рис. 3. Розрахункова схема кришки люка

Вертикальне динамічне навантаження розраховано за класичною формулою [9]

$$P_e^d = P_e^{cm} \cdot k_{\text{де}}, \quad (1)$$

де  $k_{\text{де}}$  – коефіцієнт вертикальної динаміки.

При цьому,

$$k_{\text{де}} = \frac{\bar{k}_{\text{де}}}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln \left( \frac{1}{1 - P(k_{\text{де}})} \right)}, \quad (2)$$

де  $\bar{k}_{\text{де}}$  – математичне очікування;

$\beta$  – коефіцієнт розподілу, для вантажних вагонів  $\beta = 1,15$ ;

$P(k_{\text{де}})$  – імовірність коефіцієнта вертикальної динаміки,  $P(k_{\text{де}}) = 0,97$ .

$$\bar{k}_{\text{де}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{V - 15}{f_{\text{ст}}}, \quad (3)$$

де  $a$  – безрозмірний коефіцієнт;

$b$  – коефіцієнт осності, який розраховується за формулою

$$b = \frac{n' + 2}{2 \cdot n'}, \quad (4)$$

де  $n'$  – число осей у візку або у групі візків під одним кінцем вагона;

$V$  – конструкційна швидкість;

$f_{\text{ст}}$  – статичний прогин ресорного підвішування.

Також при складанні розрахункової схеми кришки люка до запорних кронштейнів прикладалися реакції  $P_p$  на дію вертикального навантаження  $P_e$ .

Закріплення моделі відбувалося за петлі. У якості матеріалу виконання кришки люка, а також фітингового упору застосовано низьколеговану сталь марки 09Г2С.

Скінчено-елементна модель утворювалася ізопараметричними тетраедрами (рис. 4). Їх чисельність визначено графоаналітичним шляхом і склала 96345. Чисельність вузлів дорівнює 32015. Максимальний розмір елемента становить 40 мм, а мінімальний – 8 мм.

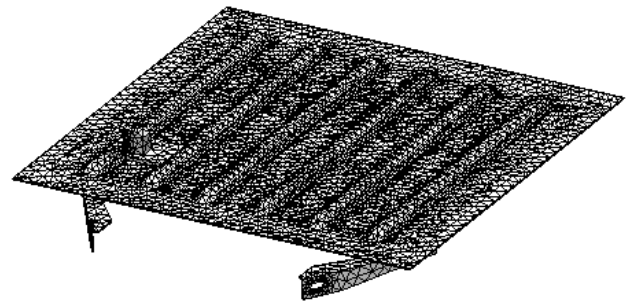


Рис. 4. Скінчено-елементна модель кришки люка

У якості розрахункового застосовано критерій Мізеса (IV теорія міцності). Результати розрахунку наведено на рис. 5–8. При цьому максимальні напруження виникають в петлі кришки люка (рис. 6) і складають 366,7 МПа (рис. 7). Отримані напруження вищі за допустимі [9], що доводить неможливість такої схеми перевезень контейнерів.

Максимальні переміщення в кришці люка виникають у кутовій частині полотна, розміщеній протилежно від фітингового упору і складають 14,5 мм (рис. 8). Такий розподіл полів пере-

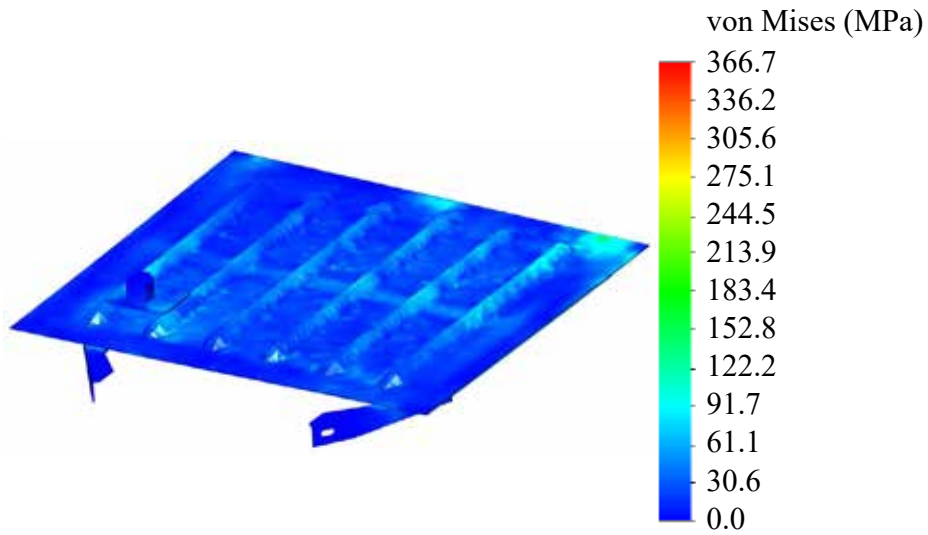


Рис. 5. Напружений стан кришки люка

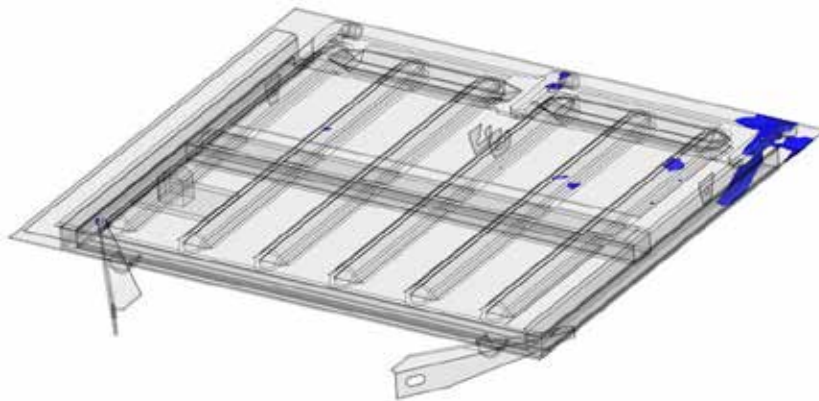


Рис. 6. Найбільш навантажені зони кришки люка

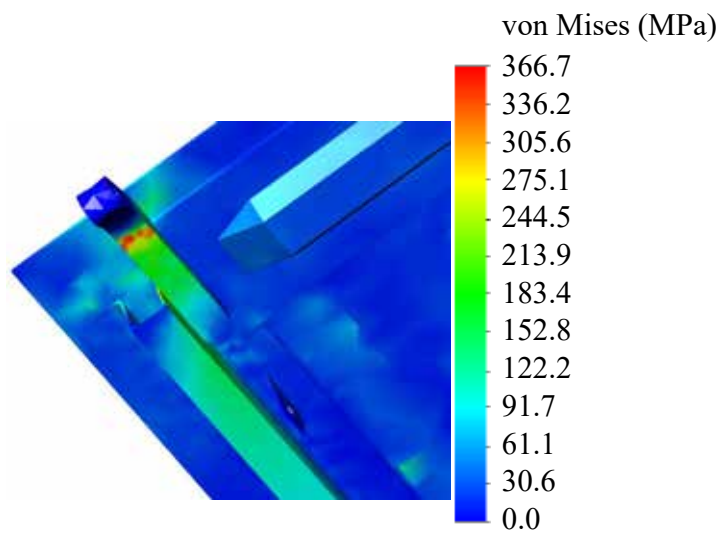


Рис. 7. Напруження в петлі кришки люка

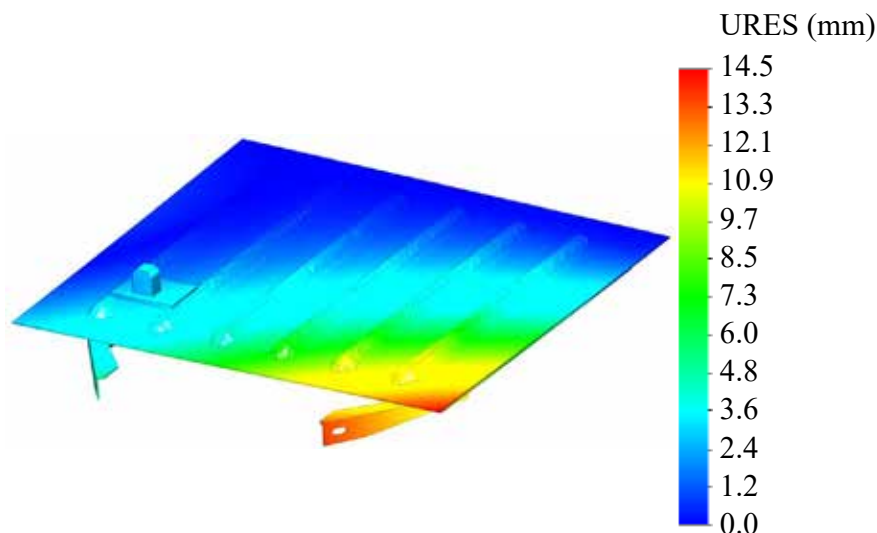


Рис. 8. Переміщення в кришці люка

міцень обумовлений тим, що фітинговий упор, через який передається навантаження на кришку люка, розміщений з протилежного боку від правої частини полотна.

#### Висновки.

1. Створено просторову модель кришки люка універсального напіввагона. Для моделювання її навантаженості при перевезенні контейнерів на кришку встановлено фітинговий упор. При цьому модель є монолітною та не враховує зварювальних швів між її складовими.

2. Проведено розрахунок на міцність кришки люка універсального напіввагона. При цьому вра-

ховано, що кришка люка сприймає вертикальне навантаження від фітингового упору. Результати розрахунку показали, що максимальні напруження виникають в петлі кришки люка і складають 366,7 МПа. Отримані напруження вищі за допустимі, що доводить неможливість такої схеми перевезень контейнерів. Максимальні переміщення в кришці люка виникають у кутовій частині полотна, розміщеній протилежно від фітингового упору і складають 14,5 мм.

Проведені дослідження сприятимуть формуванню рекомендацій щодо можливості залучення напіввагонів до контейнерних перевезень.

#### Список літератури:

1. Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Glib Vatulia, Mykhailo Pavliuchenkov, Oleksandr Kravchenko, Sebastian Solcansky. Situational adaptation of the open wagon body to container transportation // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(15), 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
2. Р. І. Візняк, І. В. Чепурченко, А. О. Яценко. 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.
3. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykola Gorbunov, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Vladimir Hauser. The improved hatch cover construction for universal open box-type wagon from the strength and durability point of view // *MANUFACTURING TECHNOLOGY*. 2019. April 2019, Vol. 19, No. 2. P. 216–221.
4. Zaynitdinov Olmos Irikovich, Ruzmetov Yadgor Ozodovich, Rustam Rahimov, Waail Mahmud Lafta. Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage. *International Journal of Engineering and Technology*. 2020. Vol. 9(2). P. 378–381.
5. J. Gerlici, G. Vatulia, A. Lovska, D. Skurikhin, J. Harušinec, A. Suchánek, V. Ishchuk // *Transport Means* 2023. Part I. 2023. P. 440–445.
6. Denys Baranovskyi, Maryna Bulakh, Sergey Myamlin, Ivan Keбал. 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). P. 186–191. <https://doi.org/10.12913/22998624/156205>
7. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник. Херсон: Олді-плюс. 2018. 252 с.

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

9. ДСТУ ISO 8323:2015. Вантажні контейнери. Контейнери універсальні (інтермодальні) для повітряних і наземних перевезень. Технічні умови та методи випробувань. Київ, 2015.

**Lovska A.O., Muradian A.O., Rukavishnikov P.V., Demydiakov O.V. ANALYSIS OF THE STRENGTH OF THE HATCH COVER OF A UNIVERSAL OPEN WAGON WHEN TRANSPORTING CONTAINERS IN IT**

*The material of the article highlights the features of calculating the strength of the hatch cover of a universal open wagon when transporting containers. A graphical work of the creation of a manhole cover spatial model was carried out in the SolidWorks software. The design of the spatial model was carried out based on the hatch cover drawing documentation. When conducting the research, it was taken into account that stationary fitting stops are used to secure the containers on the open wagon. Therefore, when creating the spatial model, a fitting stop is installed on the hatch cover plate. At the same time, the model is monolithic and does not take into account welding joints between components.*

*The strength calculation was carried out using the finite element method, which was implemented in the SolidWorks Simulation software. The Mises criterion (The 4<sup>th</sup> strength theory) was used as the calculation method. Low-alloy steel marked 09G2S is used as material for the hatch cover, as well as for the fitting stop.*

*When calculating the manhole cover, it is taken into account that it is subjected to the vertical load, which is considered as the sum of the vertical static and dynamic loads. The finite-element model of the manhole cover was formed by an isoparametric tetrahedral. Their number is determined by the grapho-analytical method.*

*The calculation results showed that the maximum stresses occur in the hinge of the hatch cover. At the same time, these stresses amounted to 366.7 MPa and they are higher than the permissible value. This proves the impossibility of such a container transportation scheme. The maximum displacements in the hatch cover were identified in the corner part of the cover located opposite to the fitting stop, and amounted to 14.5 mm.*

*The conducted studies will contribute to the formation of recommendations on the possibility of involving open wagons in container transportation.*

**Key words:** *an open wagon manhole cover, the hatch cover load, hatch cover strength, container transportation.*