

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

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА, НАВАНТАЖЕНОЇ ВІД ЗЙОМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ

Для можливості перевезень контейнерів у напіввагонах запропоновано конструкцію зйомного модуля. Даний модуль є проміжним адаптером між кузовом напіввагона та контейнером та забезпечує його надійне закріплення.

В рамках статті розглянуто особливості визначення основних показників міцності кришки люка універсального напіввагона, яка сприймає навантаження від зйомного модуля для кріплення контейнерів. Розрахунки на міцність реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation із використанням методу скінчених елементів. Просторову модель кришки люка відтворено із використанням опцій SolidWorks.

Для передачі вертикального навантаження на кришку люка на ній встановлено полосу, ширина якої дорівнює ширині профілю виконання зйомного модуля. Розрахункова модель кришки люка включає вертикальне навантаження, яке діє на полосу, що імітує поверхню обпирання зйомного модуля на кришку люка, а також реакції в запірних кронштейнах на дію вертикального навантаження. Закріплення кришки люка здійснено за петлі. Враховано, що матеріал виконання кришки люка має лінійні ізотропні властивості.

При створенні скінчено-елементної моделі використано тетраедри. Оптимальну чисельність яких визначено графоаналітичним методом.

Результати проведеного розрахунку показали, що максимальні напруження виникають у петлях кришки люка і складають 115,4 МПа. Дані напруження є нижчими за допустимі. Максимальні переміщення зафіксовано у запірних кронштейнах і дорівнюють 2,61 мм. Отже міцність кришки люка з урахуванням запропонованої схеми перевезення контейнерів в напіввагоні забезпечується.

Результати проведених досліджень сприятимуть формуванню рекомендацій щодо можливості залучення напіввагонів до контейнерних перевезень та підвищенню ефективності контейнерних перевезень.

Ключові слова: транспортна механіка, кришка люка напіввагона; міцність кришки люка; напружений стан кришки люка.

Постановка проблеми. Підвищення обсягів перевезень вантажів у міжнародному сполученні викликає потребу використання контейнерів, як найбільш мобільних транспортних засобів. Їх перевезення залізницею здійснюється на вагонах-платформах. Нестача вагонів-платформ викликає необхідність пошуку альтернативних варіантів перевезень контейнерів залізницею. Одним із таких можливих варіантів є використання напіввагонів для цих цілей, що пояснюється

відсутністю даху на них та можливістю завантаження контейнерів. Однак конструкція напіввагонів не пристосована до цих цілей, що може сприяти не тільки їх пошкодженню, а і виникненню аварій. У зв'язку з цим, виникає необхідність створення рішень, спрямованих на адаптацію напіввагонів до контейнерних перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для забезпечення кріплення контейнерів в напіввагонах в роботі [1] запропоновано конструкцію

зйомного модуля. Наведено обґрунтування використання зйомного модуля для кріплення контейнерів. Висвітлено результати модального аналізу кузова напіввагона, завантаженого контейнерами із урахуванням нової схеми їх взаємодії. Разом з цим, авторами не проводилося дослідження міцності кришок розвантажувальних люків, які утворюють підлогу напіввагона, з урахуванням запропонованої схеми закріплення контейнерів.

Подібні дослідження висвітлюються і в публікації [2], де для кріплення контейнерів в напіввагонах запропоновано зйомний модуль типу FLAT RACK. Авторами наведено обґрунтування конструкції зйомного модуля, а також розрахунок його на міцність. Висвітлено особливості визначення показників міцності несучої конструкції напіввагона із урахуванням перевезення в ньому контейнерів із використанням запропонованої схеми закріплення. Але автори обмежилися в своїх дослідженнях лише глухонною конструкцією напіввагона і не розглядали міцність кришки люка, навантаженої від зйомного модуля.

Для покращення міцності кришки люка напіввагона авторами публікації [3] запропоновано удосконалення її конструкції. Дане удосконалення полягає в зміні конфігурації її поясів, а також використання литих кронштейнів. Наведено результати розрахунку на міцність удосконаленої кришки люка, які підтвердили доцільність запропонованих рішень. Треба підкреслити, що при розрахунку кришки люка на міцність, авторами не враховувалися навантаження, які можуть діяти на неї від контейнерів при перевезенні їх в напіввагоні, обладнаними такими кришками люків.

Подібний недолік має і робота [4]. Авторським колективом розроблено та обґрунтовано досить цікавий з наукової точки зору концепт кришки люка із податливими зв'язками в конструкції. Запропоноване рішення сприяє зменшенню динамічний навантажень, які діють на кришку люка в експлуатації. Але було б цікаво дослідити її міцність і при навантаженні від контейнера, перевезеного в напіввагоні. Однак авторами не проводилися подібні дослідження.

В публікації [5] запропоновано кришку люка напіввагона випуклої конфігурації. Таке рішення сприяє збільшенню його вантажопідйомності. Наведено обґрунтування використання такої кришки люка. Але зазначена конфігурація кришки люка унеможливує використання напіввагона під контейнерні перевезення.

Для підвищення жорсткості кришки люка авторами публікації [6] запропоновано створення

її полотна з гофр, що мають прямокутну конфігурацію. Проведені розрахунки на міцність підтвердили доцільність зазначеного удосконалення. Однак автори не досліджували міцність кришки люка при навантаженні її від контейнера, перевезеного у напіввагоні.

Аналіз літературних джерел [1–6] показує, що питання удосконалення та дослідження міцності кришок люків напіввагонів є актуальними. Однак досі не приділялося належної уваги визначенню міцності кришки люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Тому виникає необхідність проведення додаткових досліджень в зазначеному напрямку.

Постановка завдання. Метою дослідження є висвітлення особливостей розрахунку на міцність кришки люка напіввагона, навантаженої від зйомного модуля для кріплення контейнерів. Для досягнення зазначеної мети визначено такі завдання:

- запропонувати розрахункову модель кришки люка;
- провести розрахунок на міцність кришки люка.

Виклад основного матеріалу. З метою адаптації напіввагона до перевезень контейнерів запропоновано конструкцію зйомного модуля (рис. 1, 2) [1]. Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між кузовом напіввагона та контейнером та забезпечує кріплення контейнера в напіввагоні з дотриманням умов його міцності. Передбачається розміщення на підлозі напіввагона фітингових упорів (рис. 3), якими він взаємодіє із фітингами зйомного модуля, а контейнери взаємодіють зі зйомним модулем через фітингові упори, які знаходяться в кутах взаємодії повздовжніх та кінцевих балок.



Рис. 1. Розміщення контейнера в модулі

Модуль забезпечує рівномірну передачу навантаження від контейнера на кришку люка за площею його прилягання до полотна, оскільки

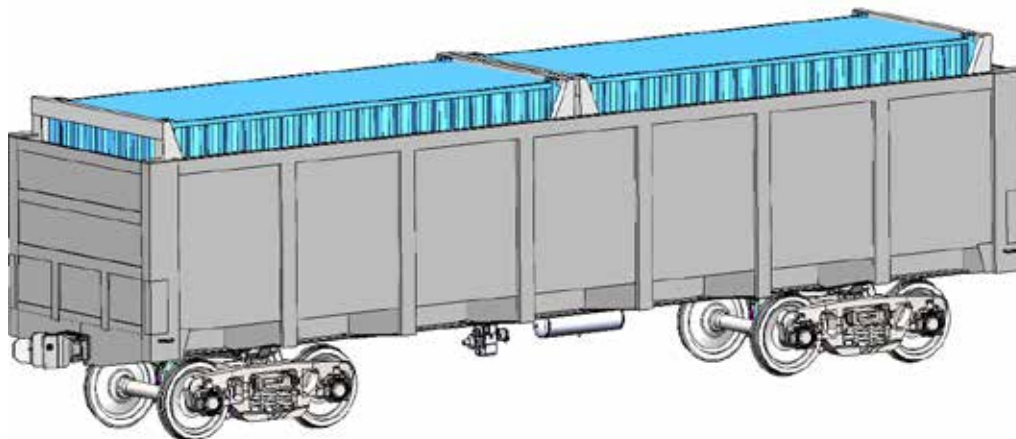


Рис. 2. Розміщення зйомних модулів з контейнерами в напіввагоні

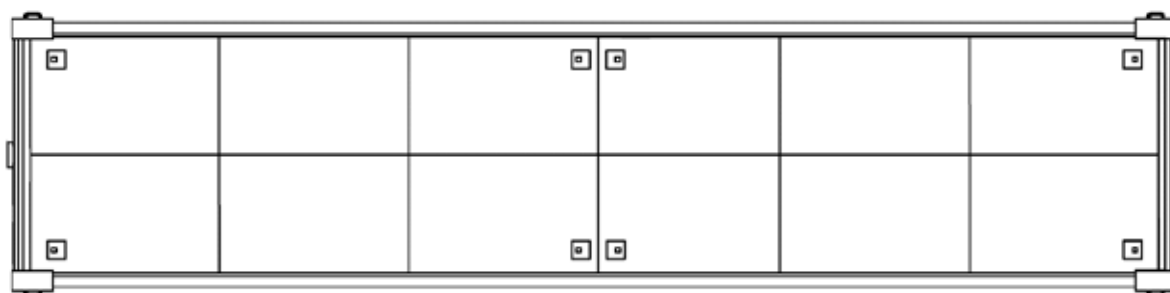


Рис. 3. Розміщення фітингових упорів в кузові напіввагона

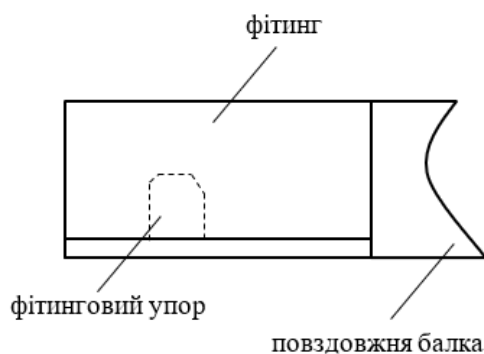


Рис. 4. Схема взаємодії фітингового упору напіввагона із фітингом зйомного модуля

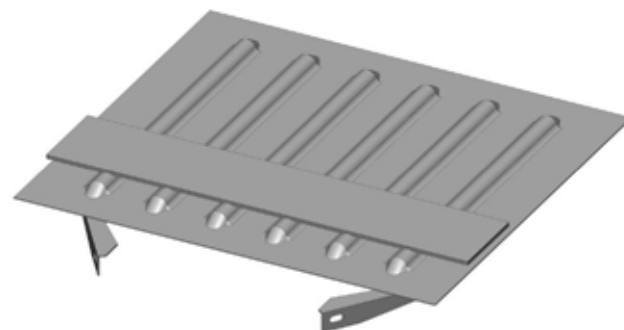


Рис. 5. Просторова модель кришки люка

фітинги зйомного модуля мають поглиблення (рис. 4). Завдяки цьому забезпечується можливість передачі навантаження від зйомного модуля за всією площею рами.

Для визначення міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від зйомного модуля, проведено її розрахунок. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation [7, 8]. Просторову модель кришки люка наведено на рис. 5.

Для передачі вертикального навантаження на кришку люка на ній встановлено полосу, ширина

якої дорівнює ширині профілю виконання зйомного модуля. Розрахункову схему кришки люка наведено на рис. 6. При її складанні враховано, що кришка люка сприймає вертикальне навантаження P_e , яке діє на полосу, що імітує поверхню обпирання зйомного модуля на кришку люка. Також на запірні кронштейни кришки люка діють реакції P_p на вертикальне навантаження P_e . Закріплення кришки люка здійснено за петлі. Матеріал виконання – сталь марки 09Г2С [9]. Враховано, що даний матеріал має лінійні ізотропні властивості.

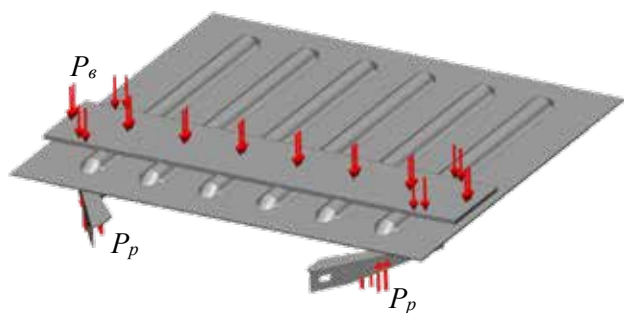


Рис. 6. Розрахункова схема кришки люка



Рис. 7. Скінчено-елементна модель кришки люка

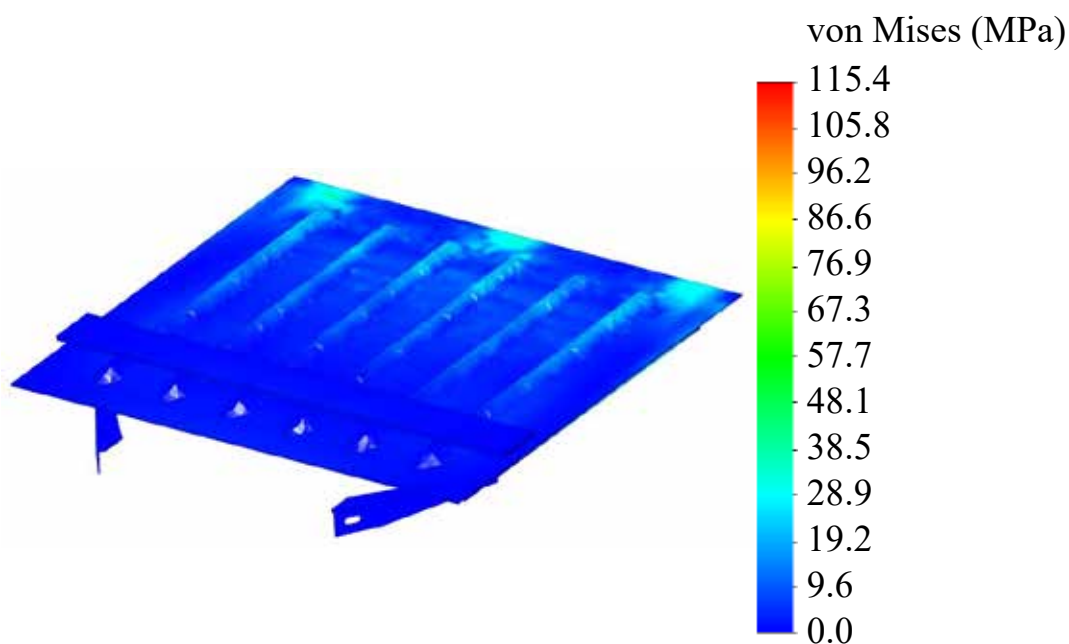


Рис. 8. Напружений стан кришки люка (вид зверху)

При створенні скінчено-елементної моделі використано тетраедри (рис. 7). Їх оптимальну чисельність визначено графоаналітичним методом. З урахуванням цього модель налічує 91556 елементів та 30477 вузлів. Максимальний розмір елементу склав 40 мм, а мінімальний – 8 мм.

Результати розрахунку наведено на рис. 8–10. З рис. 8, 9 видно, що максимальні напруження виникають у петлях кришки люка і складають 115,4 МПа, тобто є нижчими за допустимі. На рис. 10 окремо винесено найбільш навантажені зони кришки люка (позначено синім кольором).

Максимальні переміщення зафіксовано у запірних кронштейнах і складають 2,61 мм (рис. 11, 12).

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що міцність кришки люка із урахуванням запропонованої схеми закріплення контейнерів в напіввагоні дотримується.

Висновки.

1. Запропоновано розрахункову модель кришки люка, навантаженої від зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні. Модель включає полосу, геометрія якої ідентична до геометрії опорної частини повздовжньої балки зйомного модуля. Модель враховує сили, які діють на неї від зйомного модуля: вертикальне навантаження від контейнера, а також реакції, що виникають в запірних кронштейнах на дію вертикального навантаження.

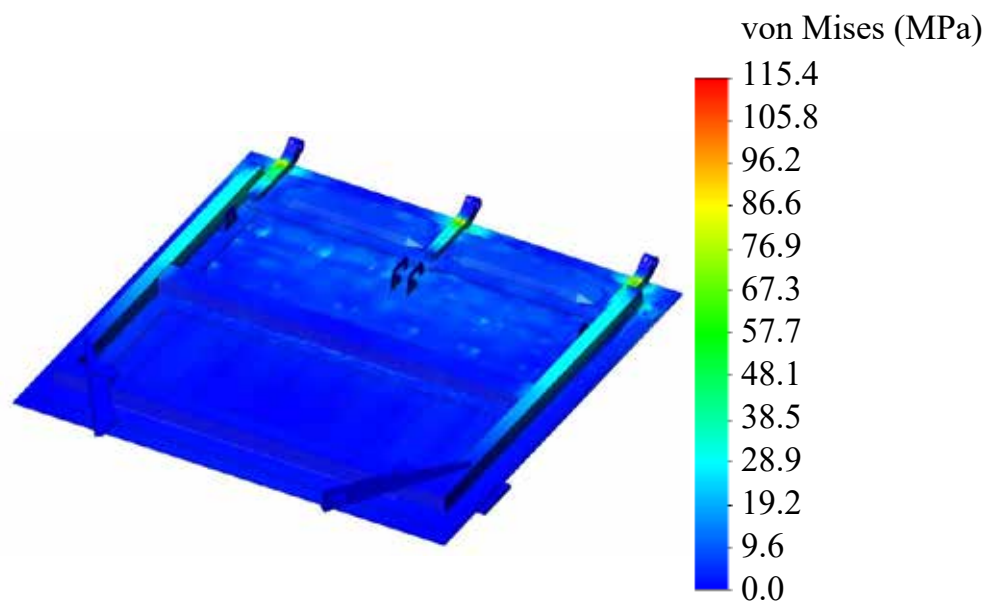


Рис. 9. Напружений стан кришки люка (вид знизу)

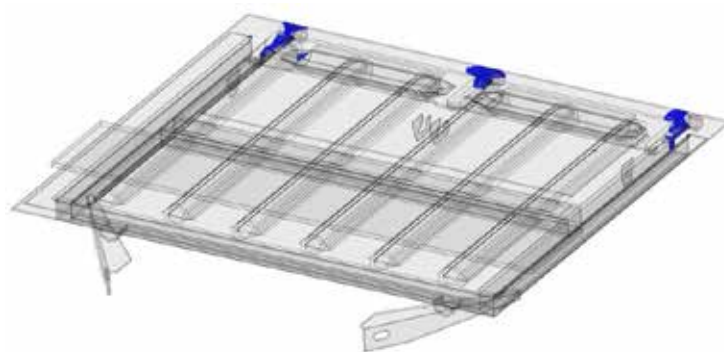


Рис. 10. Найбільш навантажені зони кришки люка

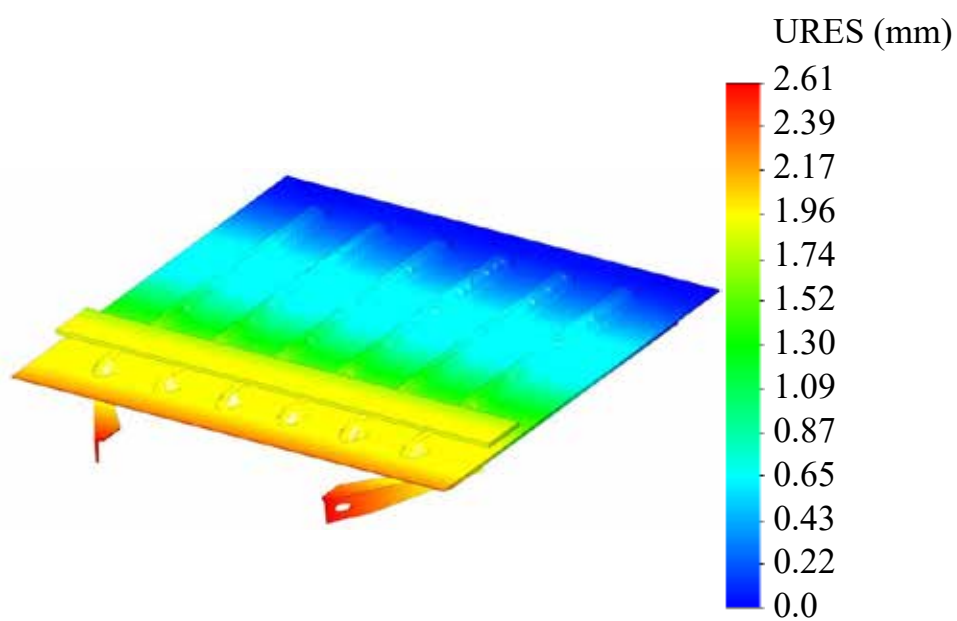


Рис. 11. Переміщення в вузлах кришки люка (вид зверху)

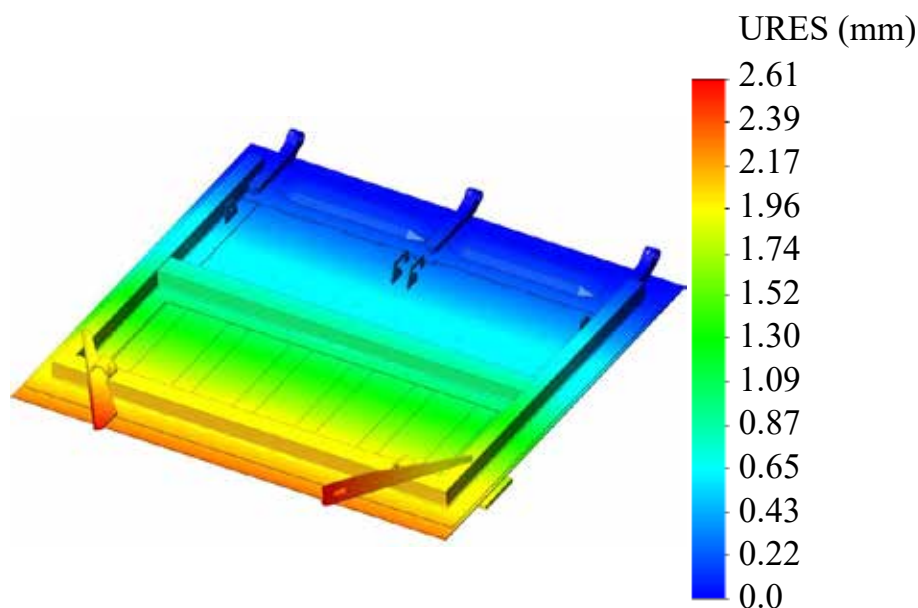


Рис. 12. Переміщення в вузлах кришки люка (вид знизу)

2. Проведено розрахунок на міцність кришки люка. Встановлено, що максимальні напруження виникають у петлях кришки люка і складають 115,4 МПа, тобто є нижчими за допустимі. Максимальні переміщення зафіксовано у запірних кронштейнах і дорівнюють 2,61 мм. Отже міцність кришки люка з урахуванням запропонова-

ної схеми перевезення контейнерів в напіввагоні забезпечується.

Результати проведених досліджень сприятимуть формуванню рекомендацій щодо можливості залучення напіввагонів до контейнерних перевезень та підвищенню ефективності контейнерних перевезень.

Список літератури:

1. Sergii Panchenko, Alyona Lovska, Arsen Muradian, Yevhen Pelypenko, Pavlo Rukavishnykov, Oleksii Demydiukov. Identifying possible ways for adapting an open wagon for transporting containers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 5/7 (131). P. 6 – 14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>
2. 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>
3. 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.
4. 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. Vol. 19. No. 2. P. 216-221.
5. Denys Baranovskyi, Maryna Bulakh, Sergey Myamlin, Ivan Kebal. 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>
6. Juraj Gerlici, Alyona Lovska. Study of the strength of the open wagon hatch door with rectangular corrugations under static loads. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*. 2024. Vol. 26, Issue 3. P. B216-B225. <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.039>
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 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 250 с.

Lovska A.O., Muradian A.O., Rukavishnykov P.V., Demydiakov O.V. SPECIFICS OF CALCULATION OF THE HATCH COVER STRENGTH OF AN OPEN WAGON LOADED BY A REMOVABLE MODULE FOR FIXING CONTAINERS

A design of a removable module is proposed in this research to enable the transportation of containers in open wagons. This module is an intermediate adapter between the open wagon body and the container and ensures its reliable fastening.

The article considers the specifics of determining the main strength indicators of the hatch cover of a universal open wagon, which perceives the load from the removable module for fastening containers. Strength calculations are implemented in the SolidWorks Simulation software package using the finite element method. The spatial model of the hatch cover is created using the SolidWorks software.

A strip profile is installed on it to transfer the vertical load to the hatch cover. Its width is equal to the width of the profile of the removable module. The calculated model of the hatch cover includes the vertical load acting on the strip, which simulates the support surface of the removable module on the hatch cover, as well as the reactions in the locking brackets to the action of the vertical load. The hatch cover is fastened by hinges. It was taken into account that the material of the hatch cover has linear isotropic properties.

When creating a finite element model, tetrahedra elements were used. Their optimal number was determined by the graph-analytical method.

The results of the calculation showed that the maximum stresses arise in the hinges of the hatch cover and they are of 115.4 MPa. These stresses are lower than the permissible values. The maximum displacements were recorded in the locking brackets and they are of 2.61 mm. Therefore, the strength of the hatch cover, taking into account the proposed scheme for transporting containers in an open wagon, is ensured.

The results of the research will contribute to the formation of recommendations on the possibility of involving open wagons in container transportation and increasing the efficiency of container transportation.

Key words: *transport mechanics, open wagon hatch cover; hatch cover strength; stress state of the hatch cover.*