УДК 621.869.888
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.1/36

Ловська А. О.
Український державний університет залізничного транспорту

Мурад'ян А. О.
Одеський національний морський університет

Рибін А. В.
Український державний університет залізничного транспорту

Демидюков О. В.
Одеський національний морський університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗДОВЖНЬОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ЗЕРНОВИХ ПРИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Для підвищення ефективності перевезень зернових залізничним транспортом запропоновано конструкцію спеціалізованого контейнера. Особливістю даної конструкції контейнера є те, що він створений на базі універсального контейнера типорозміру 1 СС шляхом її модернізації. Передбачається створення в торцевій стіні за висотою 1/3 від нижнього обв'язування розвантажувального люка, а на даху – встановлення трьох завантажувальних люків стандартного діаметру.

Для обґрунтування запропонованої модернізації здійснено розрахунок на міцність контейнера за умови розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні. При цьому застосовано програмний комплекс SolidWorks Simulation, який реалізує метод скінчених елементів. Для визначення прискорень, які діють на контейнер в повздовжній площині проведено математичне моделювання його навантаженості. Враховано, що контейнер розміщений на вагоні-платформі моделі 13-401М. Зазор між фітингами та фітинговими упорами не враховувався. Визначена величина прискорення, як складова динамічного навантаження, врахована при розрахунку на міцність контейнера. Формування скінчено-елементної моделі здійснено ізопараметричними тетраедрами. При цьому сітку створено на твердому тілі на основі змішанної кривини. Враховано, що на контейнер діє вертикальне навантаження, а також тиск розпору насипного вантажу на бокові та торцеві стіни. До передніх за ходом руху вагона-платформи фітингів контейнера прикладалися сили інерції. Результати проведених розрахунків показали, що максимальні напруження мають місце в середній частині горизонтального бруса для кріплення розвантажувального люка, але вони не перевищують допустимі значення.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності перевезень зернових залізничним транспортом шляхом залучення контейнерів.

Ключові слова: *залізничний транспорт, контейнерні перевезення, контейнер для зернових, міцність контейнера, навантаженість контейнера.*

Постановка проблеми. Відомо, що Україна є провідним експортером зернових в європейські країни. Для їх перевезень залізницею частіш за все використовуються вагони-хопери (рис. 1). Розбіжність в ширині колії між Україною та європейськими країнами зумовила використання для цих цілей контейнерів (рис. 2), що пояснюється їх мобільністю та зручністю обслуговування. Разом з цим, наразі контейнерний парк сформований здебільшого універсальними контейнерами, які призначені для перевезень широкої номенклатури вантажів.

Створення нових типів контейнерів, призначених для перевезень зернових, вимагає значних капітальних вкладень. Тому доцільним є дослідження можливості створення контейнерів для перевезень зернових на базі існуючих конструкцій. Це дозволить підвищити ефективність перевезень зернових у міжнародному напрямку. У зв'язку з цим, актуальним постає питання модернізації універсальних контейнерів для їх адаптації до перевезень зернових.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі в експлуатації використовується досить

а *б*

Рис. 1. Вагони-хопери для перевезень зернових: *а* – модель 19-7016; *б* – модель 19-765Э

а *б*

Рис. 2. Контейнери для зернових: *а* – з дахом; *б* – з тентом

велика різноманітність контейнерів, які різняться між собою не тільки конструкцією, а і способом технологічної обробки. Так, наприклад, в роботі [1] для зменшення бокових навантажень, які діють на контейнер в експлуатації, запропоновано впровадження у якості складових його конструкції сендвіч-панелей. Наведено результати визначення динамічної навантаженості та міцності контейнера, які підтвердили доцільність запропонованих рішень. Однак авторами не розглядалася можливість залучення даного контейнера під перевезення насипних, в тому числі, зернових вантажів.

Особливості розрахунку на міцність контейнера типорозміру 1АА проведено в роботі [2]. Автори закцентували свою увагу на визначенні міцності підлоги контейнера. При цьому розглянуто його рух через тунель певного радіусу. Проведені розрахунки дозволили сформувати рекомендації щодо безпечної експлуатації контейнера за даним маршрутом. Разом з цим, поза увагою авторів залишилися питання конструкційного удосконалення контейнера для покращення ефективності його експлуатації.

Вибір раціонального матеріалу виготовлення контейнера для плодоовочевої продукції з точки зору якісних характеристик перевозимого вантажу, проводиться в публікації [3]. Результати проведеного авторами аналізу виявили, що найбільш доцільним є використання пластикових контейнерів для перевезень плодоовочевої продукції. Разом з цим, автори обмежилися лише вибором раціонального матеріалу виконання контейнера та не досліджували особливостей його навантаженості в експлуатації.

В публікації [4] автори запропонували конструкцію контейнера з підлогою із сендвіч-панелей. Наведено комплексі теоретичні розрахунки на міцність конструкції контейнера, які підтвердили доцільність його удосконалення. Однак автори не розглядали можливість перевезень у такому контейнері зернових, оскільки ставили за мету створення універсальної конструкції контейнера.

Особливості розрахунку на міцність контейнера для перевезень плодоовочевої продукції висвітлено в роботі [5]. При цьому автори запропонували конструкційні рішення в контейнері, спрямовані на покращення його експлуатації.

Проведені розрахунки підтвердили доцільність запропонованого удосконалення. Разом із цим, авторами не досліджувалась можливість впровадження запропонованих рішень щодо конструкції контейнера для перевезень зернових.

В статті [6] авторами висвітлюються особливості конструкції складеного контейнера для перевезень масових вантажів. Доведено доцільність використання складеного контейнера з точки зору заощадження витрат на перевізний процес. Але в роботі не проведено аналізу навантаженості запропонованої конструкції контейнера, що не дозволяє оцінити його переваги у порівнянні із існуючими конструкціями з точки зору міцності.

Аналіз літературних джерел [1–6] дозволяє зробити висновок, що питання створення та удосконалення конструкцій контейнерів з метою можливості їх залучення до перевезень зернових, потребують подальших досліджень.

Постановка завдання. Метою статті є висвітлення результатів дослідження повздовжньої навантаженості контейнера для зернових при залізничних перевезеннях. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

– запропонувати рішення щодо технічної адаптації універсального контейнера до перевезень зернових;

– визначити повздовжню навантаженість контейнера за умови його розміщення на вагоні-платформі під час маневрового співударяння.

Виклад основного матеріалу. Для модернізації універсального контейнера з метою його залучення до перевезень зернових у якості прототипу обрано контейнер типорозміру 1СС. Просторову модель контейнера наведено на рис. 3.

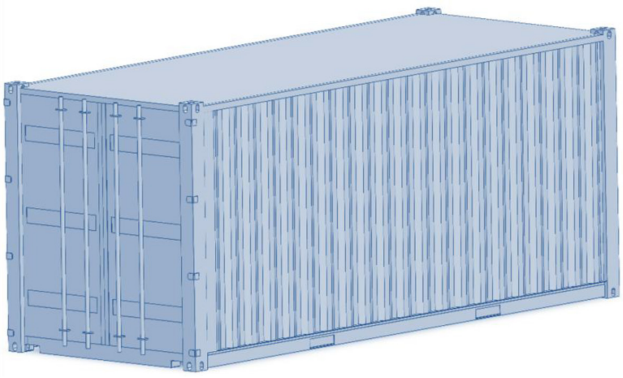

Рис. 3. Просторова модель контейнера типорозміру 1СС

Завантаження даного контейнера здійснюється через торцеві двері, які у зачиненому стані утворюють торцеву стіну. Для завантаження/розвантаження контейнера можуть застосовуватися механізована техніка.

З метою адаптації даного контейнера до перевезень зернових передбачається створення в торцевій стіні за висотою 1/3 від нижнього обв'язування розвантажувального люка, а також встановлення на даху трьох завантажувальних люків стандартного діаметру (рис. 4).

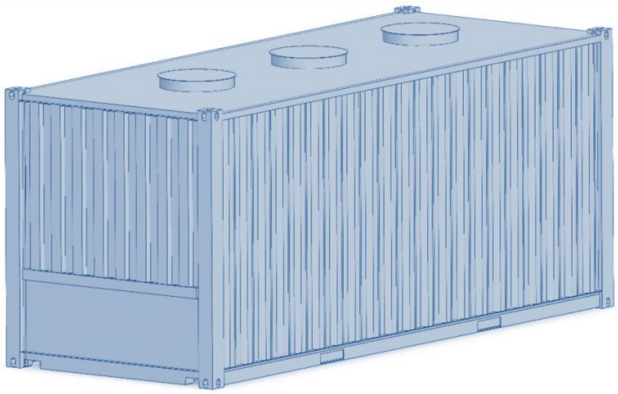

Рис. 4. Просторова модель контейнера

Для обґрунтування запропонованої модернізації проведено розрахунок на міцність контейнера при маневровому співударянні. Розрахунок здійснено за методом скінчених елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation. Розрахункову схему контейнера наведено на рис. 5. Враховано, що на контейнер діє вертикальне навантаження $P_в$, яке враховує його вантажопідйомність. Власну вагу контейнера враховано за допомогою опцій програмного комплексу SolidWorks Simulation за умови виготовлення конструкції зі сталі марки 09Г2С. До бокових стін контейнера прикладався тиск розпору насипного вантажу $P_б$, а до торцевих – $P_т$. До передніх за ходом руху вагона-платформи фітингів контейнера прикладалися сили інерції $P_ф$ [7].

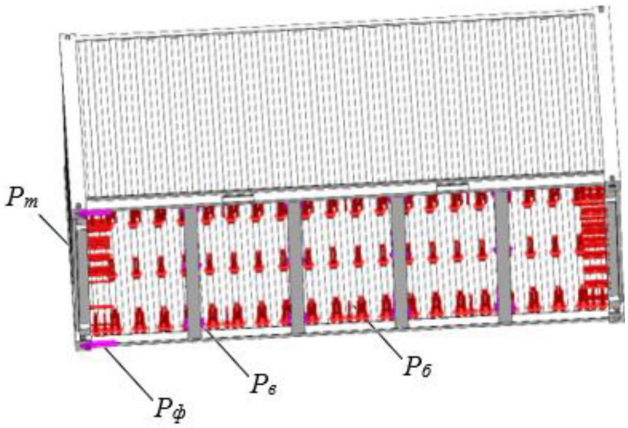

Рис. 5. Розрахункова схема контейнера

Для визначення сил інерції $P_ф$, які діють на фітинги, проведено математичне моделювання повздовжньої динаміки вагона-платформи, завантаженого двома контейнерами. Для цього використано математичну модель, наведену в роботі [8]. Враховано, що контейнери, розміщені на вагоні-платформі, не мають власного ступеня вільності у повздовжній площині. Розрахунок проведено на прикладі вагона-платформи моделі 13-401М.

Розв'язок математичної моделі здійснено у програмному комплексі MathCad. Рівняння, які утворюють математичну модель зводились до нормальної форми Коші. Після чого відбувалося їх інтегрування із застосуванням методу Рунге – Кутта.

Початкові умови покладені рівними нулю. Результати розрахунку встановили, що прискорення, яке діє на контейнери складає близько 34,8 м/с^2.

Дане прискорення враховано при розрахунках на міцність контейнера. Формування скінченоелементної моделі відбувалося із використанням тетраедрів [9–11]. Сітка утворювалась на основі змішаної кривини та налічує 1 027 293 елементів і 1 838 877 вузлів (рис. 6). Максимальний розмір елемента склав 60 мм, а мінімальний – 3 мм. Кількість точок Якобіана для сітки високої якості склала 16 одиниць. Зварювальні шви між окремими складовими контейнера не враховувалися, тобто його розглянуто як монолітну конструкцію.

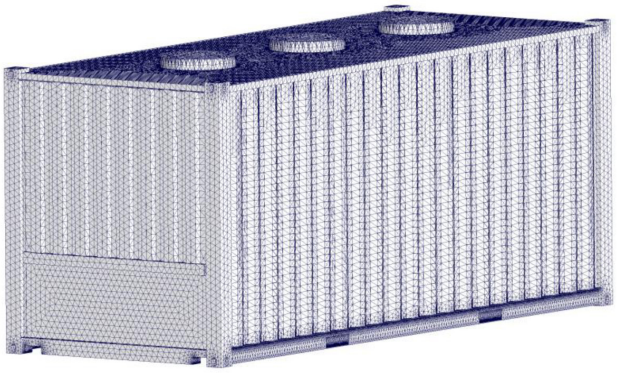

Рис. 6. Скінчено-елементна модель контейнера

Закріплення контейнера відбувалося на фітинги. Результати його розрахунку на міцність наведено на рис. 7, 8.

Максимальні напруження мають місце в середній частині горизонтального бруса для кріплення розвантажувального люка і складають 248,5 МПа (рис. 7). Дані напруження є нижчими за допустимі, які для зазначеного режиму прийняті рівними 310,5 МПа [12]. Отже міцність контейнера при завданому режимі навантаження його конструкції дотримується.

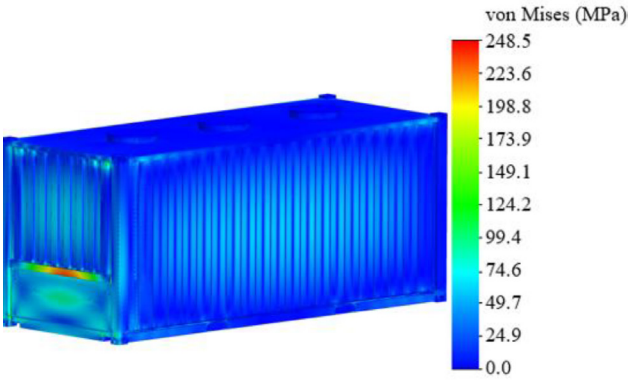

Рис. 7. Напружений стан контейнера

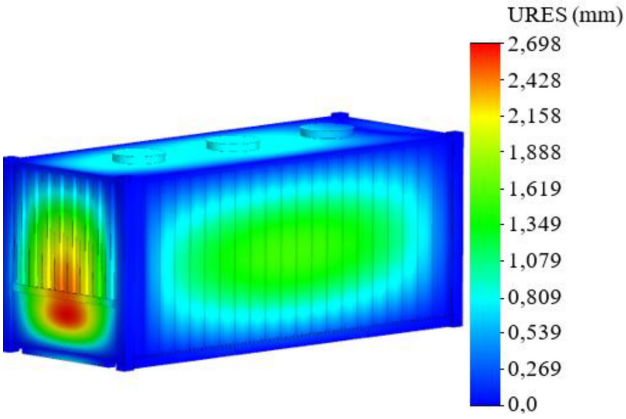

Рис. 8. Переміщення в вузлах контейнера

Максимальні переміщення зосереджено в розвантажувальному люку і склали близько 2,7 мм (рис. 8). Таке розподілення переміщень зумовлено конструкцією торцевої стіни та схемою прикладення навантаження до неї.

На послідуючому етапі планується дослідження міцності контейнера при інших експлуатаційних режимах навантаження, зокрема, при русі у складі поїзда, а також при перевезенні на залізничному поромі.

Висновки.

1. Для адаптації універсального контейнера до перевезень зернових запропоновано модернізацію його конструкції, яка полягає у створенні в торцевій стіні за висотою 1/3 від нижнього обв'язування розвантажувального люка, а також встановлення на даху трьох завантажувальних люків стандартного діаметру.

2. Для обґрунтування запропонованої конструкції контейнера проведено визначення його повздовжньої навантаженості при одній із найбільш неблагоприємних схем навантаження при залізничних перевезеннях – маневровому співударянні. Встановлено, що максимальні прискорення, які діють на контейнер, розміщений на вагоні-платформі за умови відсутності зазорів між фітингами

та фітинговими упорами складають 34,8 м/с^2. Отримані прискорення враховано при розрахунку на міцність контейнера. Результати розрахунку контейнера на міцність показали, що максимальні напруження в його конструкції складають 248,5 МПа і виникають в середній частині горизонтального бруса для кріплення розвантажувального люка. Зазначені напруження не перевищують допустимі значення. Максимальне переміщення зосереджено в розвантажувальному люку і склало близько 2,7 мм.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності перевезень зернових залізничним транспортом шляхом залучення контейнерів.

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).*

Список літератури:

1. G. L. Vatulia, A. O. Lovska, Ye. S. Krasnokutskyi. Research into the transverse loading of the container with sandwich-panel walls when transported by rail. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1254. 012140.

2. Arkadiusz Rzeczycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90.

3. D. K. Antala, R. M. Satasiya, P. M. Chauhan. Design, development and performance evaluation of transportation container for sapota fruit. *Journal of Food Sciences and Technology*. 2021. Vol. 58(10). P. 4024–4033. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04865-w

4. Alyona Lovska, Iraida Stanovska, Valeriia Kyryllova, Andrii Okorokov, Roman Vernigora. Determining the vertical load on a container with a floor made of sandwich panels transported by a flat wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 6/7(132). P. 6–14. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324

5. Rahimov Rustam Vyacheslavovich, Khadjimukhametova Matluba Adilovna, akhmatov Zafar Xasanovich. Development of improved technical means fortransportation fruits and vegetables. *European science review*. 2016. Vol. 1–2. P. 175–177.

6. Poklemba R., Zajac J., Goldyniak D., Olexa I., Dilýová M. Construction proposal of shipping bulk container. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 776. 012046. https://doi.org/10.1088/1757-899X/776/1/012046

7. Vatulia G., Lovska A., Myamlin S., Stanovska I., Holofieieva M., Horobets V., Nerubatskyi V., Krasnokutskyi Y. Revealing the effect ofstructural componentsmade of sandwich panelson loading the containertransported by railroad. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 1/7(121). P. 48–56. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272316

8. Ловська А. О. Розвиток наукових основ розрахунків конструкцій вагонів шляхом урахування наднормованих режимів при експлуатації: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.22.07. Харків, 2021. 40 с.

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

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

11. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при пружно-в'язкій взаємодії фітингів з фітинговими упорами. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2019. Вип. 184. С. 6–19.

12. 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., Rybin A. V., Demydiakov O. V. RESEARCH OF LONGITUDINAL LOADING OF A GRAIN CONTAINER IN RAILWAY TRANSPORT

To increase the efficiency of grain transportation by rail, a specialized container design has been proposed. A feature of this container design is that it is based on a universal container of standard size 1 CC by its modernization. It is planned to create an unloading hatch in the end wall at a height of 1/3 from the lower strapping, and on the roof – to install three loading hatches of standard diameter.

To substantiate the proposed modernization, a calculation was made for the strength of the container when placed on a platform wagon during shunting collision. The SolidWorks Simulation software package was used, which implements the finite element method. To determine the accelerations acting on the container in the longitudinal plane, a mathematical modeling of its loading was carried out. It was taken into account that the container is placed on a flat wagon of model 13-401M. The gap between the fittings and fitting stops was not taken into account. The determined acceleration value, as a component of the dynamic load,

was taken into account when calculating the strength of the container. The finite element model was formed using isoparametric tetrahedra. In this case, the mesh was created on a solid body based on mixed curvature. It was taken into account that the container is subjected to a vertical load, as well as the pressure of the bulk cargo expansion on the side and end walls. Inertia forces were applied to the container fittings in front of the flat wagon in terms of movement. The results of the calculations showed that the maximum stresses occur in the middle part of the horizontal beam for fastening the unloading hatch, but they do not exceed the permissible values.

The conducted studies will contribute to increasing the efficiency of grain transportation by rail by involving containers.

Key words: *rail transport, container transportation, grain container, container strength, container loading.*