

Ловська А.О.

Український державний університет залізничного транспорту

Мурад'ян А.О.

Одеський національний морський університет

Демидюков О.В.

Одеський національний морський університет

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ КОНТЕЙНЕРА ТИПУ ХОПЕР ПРИ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В матеріалах статті висвітлено особливості конструкції контейнера типу хопер, а також визначення його міцності при вантажно-розвантажувальних операціях. Контейнер має похилі торцеві стіни, а його підлогу утворено кришками розвантажувальних люків. Такі конструкційні особливості контейнера дозволяють здійснювати розвантаження вантажу із нього самотечією. Також контейнер можливо розвантажувати із використанням схеми «постановка на ребро».

Для забезпечення міцності контейнера при вантажно-розвантажувальних операціях проведено його розрахунок. До уваги прийнято такі схеми навантаження контейнера: підйом за верхні фітинги (стропами або спредером), а також штабелювання. Розрахунок на міцність реалізовано із застосуванням методу скінчених елементів. Його реалізацію здійснено у SolidWorks Simulation. При складанні розрахункової схеми контейнера за умови його підіймання за верхні фітинги стропами враховано, що навантаження від них розкладається на дві складові – вертикальну та горизонтальну, що обумовлено кутом розміщення стропів у просторі. При підйомі контейнера спредером до верхніх фітингів прикладалося вертикальне навантаження. В випадку штабелювання контейнера до верхніх та нижніх фітингів прикладалося вертикальне навантаження. При проведенні розрахунків також враховано дію на контейнер вертикального навантаження від його ваги бруто, а також тиск розпору насипного вантажу на стіни. Скінчено-елементну модель контейнера сформовано тетрадрами. Результати проведених розрахунків дозволили зробити висновок, що міцність контейнера при заданих режимах навантаження дотримується.

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера при розглянутих схемах його навантажень дотримується.

Ключові слова: контейнер типу хопер, вантажно-розвантажувальні операції, навантаженість конструкції, міцність конструкції, контейнерні перевезення.

Постановка проблеми. Вже тривалий час контейнерні перевезення є найбільш затребуваним видом перевезень вантажів у внутрішньому та зовнішньому сполученні європейських країн. Однією із найголовніших переваг контейнерних перевезень є те, що вони виключають необхідність перевантаження вантажу. Це значно скорочує час його доставки у порівнянні із іншими видами перевезень. Крім того, мобільність контейнера зумовлює можливість його перевезення різними видами транспорту [1, 2]. Наразі в експлуатації знаходиться досить великий сегмент різних за конструкцією контейнерів, які адаптовані до перевезень досить широкої номенклатури вантажів [3, 4]. Враховуючи перспективи розвитку міжнародних перевезень

прогнозується зростання попиту на даний вид перевезень.

Одним із найбільш поширених типів вантажів, які перевозяться в контейнерах є насипні. Для їх перевезень застосовуються bulk контейнери (рис. 1). Їх розвантаження частіш за все здійснюється за допомогою підйомно-транспортних засобів. При цьому це вимагає додаткового часу оскільки потребує дотримання спеціальної технології для забезпечення можливості зсипання вантажу під дією гравітаційних властивостей, тобто забезпечення кутового переміщення контейнера.

Для підвищення ефективності перевезень насипних вантажів актуальним є впровадження в експлуатацію спеціальних конструкцій



Рис. 1. Bulk контейнери
а) 20-ти футовий; б) 40-футовий

контейнерів, які дозволяють пришвидшити розвантажувальний процес. Тому питання створення та впровадження в експлуатацію контейнерів для перевезень насипних вантажів з можливістю їх саморозвантаження є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, присвячені створенню нових конструкцій контейнерів із покращеними технічними характеристиками, є досить поширеними. Так, в публікації [5] запропоновано нову конструкцію контейнера. Особливість конструкції полягає у використанні додаткових вентиляційних вікон у стінах. Наведено відповідне обґрунтування такого рішення. Однак даний контейнер є вузькоспеціалізованим та пристосований до перевезень лише плодоовочевої продукції.

Авторами статті [6] також запропоновано цікаву конструкцію контейнера. Контейнер має підвищене корисне завантаження, що сприяє можливості збільшити об'єм перевозимих у ньому вантажів. Однак авторами не досліджувалась можливість перевезень у даному типі контейнера насипних вантажів.

В роботах [7, 8] досліджено питання зменшення навантаженості контейнера при залізничних перевезеннях впровадженням сендвіч-панелей в його конструкцію. Наведено відповідне обґрунтування використання сендвіч-панелей як обшивки стін контейнера та настилу його підлоги. Разом із цим, широке впровадження такого контейнера в експлуатацію стримується високою собівартістю, що обмежує серійність його виготовлення та використання.

Робота [9] присвячена аналізу конструкційних матеріалів для виготовлення контейнера, призначеного для плодоовочевих вантажів. Встановлено, що найбільш раціональним є використання пластику. Це обґрунтовано легкістю конструкції та впливом на перевозимий вантаж. Разом із цим, виявлення навантаженості такого контейнера

при залізничних перевезеннях авторами не проводилось.

В публікації [10] для пришвидшення процесу розвантаження вантажів запропоновано конструкцію контейнера типу хопер. Наведено результати досліджень вертикальної навантаженості контейнера за умови його перевезень вагоном-платформною. Однак в рамках даної статті не проводилися дослідження навантаженості контейнера при інших експлуатаційних режимах.

Проведений аналіз наукових публікацій [5–10] доводить, що створення нових конструкцій контейнерів є важливим та актуальним питанням. Разом із цим, для підвищення ефективності контейнерних перевезень даний напрямок потребує подальшого дослідження.

Метою статті є висвітлення результатів дослідження міцності контейнера типу хопер при вантажно-розвантажувальних операціях. Завданнями, які дозволили досягти даної мети є

- провести визначення міцності контейнера при підйомі за верхні фітинги;
- провести визначення міцності контейнера при штабелюванні.

Виклад основного матеріалу. Для підвищення ефективності перевезень вантажів запропоновано конструкцію контейнера типу хопер, який має похилі торцеві стіни (рис. 2). Підлога контейнера утворена кришками розвантажувальних люків. Наявність похилих стін забезпечує можливість розвантаження контейнера само течією вантажу із використанням його гравітаційних властивостей. Також контейнер можливо розвантажувати із використанням схеми «постановка на ребро».

Для визначення міцності контейнера при вантажно-розвантажувальних операціях проведено його розрахунок при таких схемах навантажень: підйом за верхні фітинги, а також штабелювання.

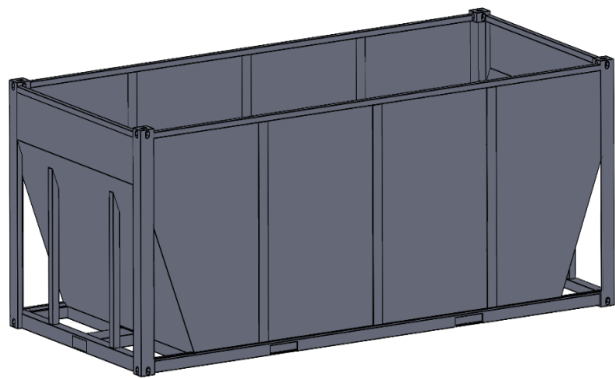


Рис. 2. Контейнер типу хопер

Для завантаження контейнера на транспортний засіб, наприклад, вагон-платформу здійснюється його підйом за чотири верхні фітинги. Для цього на стадії проєктування контейнера відбувається його розрахунок з послідовним випробуванням дослідного зразка [11]. Дане випробування також здійснюється для перевірки міцності підлоги та рами основи.

Випробування на штабелювання проводять для перевірки можливості контейнера, який повністю завантажений, витримувати навантаження, яке утворюється верхніми завантаженими контейнерами з урахуванням прискорень, що виникають при русі судна з урахуванням наявності ексцентриситету між завантаженими контейнерами у штабелі.

Розрахункові схеми контейнера при зазначених режимах навантаження наведено на

рис. 3. Враховано, що при підйомі контейнера стропами, вони розміщуються під кутом 45° . Тому зусилля, яке передається на фітинги через них розкладалося на дві складові – вертикальну та горизонтальну.

Враховано, що на стіни контейнера діє тиск розпору насипного вантажу. У якості вантажу враховано зерно. Тиск розпору визначено за класичною формулою:

$$P = \gamma \cdot g \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (1)$$

де γ – щільність насипного вантажу; H – висота стіни; g – прискорення вільного падіння; φ – кут природнього відкосу вантажу.

Для розрахунку контейнера на міцність застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано у SolidWorks Simulation [12, 13]. При цьому сітка створювалась на твердому тілі (рис. 4). Кришки розвантажувальних люків, які утворюють підлогу контейнера, при складанні моделі не враховувалися. Тобто модель включає елементи, які жорстко з'єднані між собою. В якості скінчених елементів застосовано тетраедрами [14, 15]. Скінчено-елементна модель налічує 121529 елементів та 40251 вузол. Матеріалом конструкції призначено сталь марки 09Г2С. Результати розрахунку контейнера наведено на рис. 5–7.

Отже, при підйомі контейнера за верхні фітинги стропами, максимальні напруження в його конструкції зафіксовано в зонах взаємодії

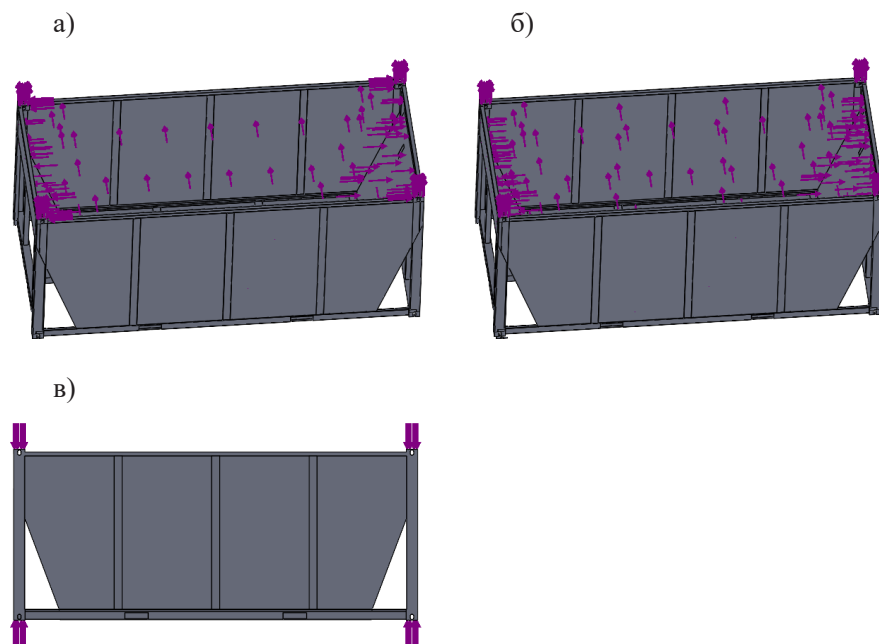


Рис. 3. Розрахункові схеми контейнера типу хопер
а) підйом за верхні фітинги стропами; б) підйом за верхні фітинги спредером; в) штабелювання

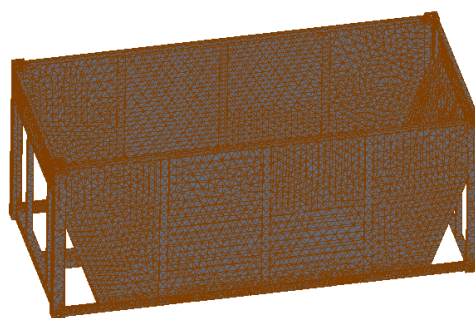


Рис. 4. Скінчено-елементна модель контейнера

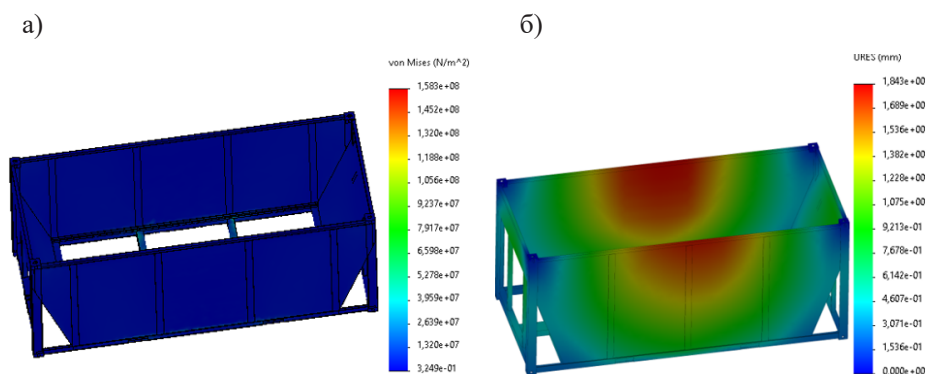


Рис. 5. Результати розрахунку контейнера при підйомі за верхні фітинги стропами
а) напружений стан; б) переміщення в вузлах

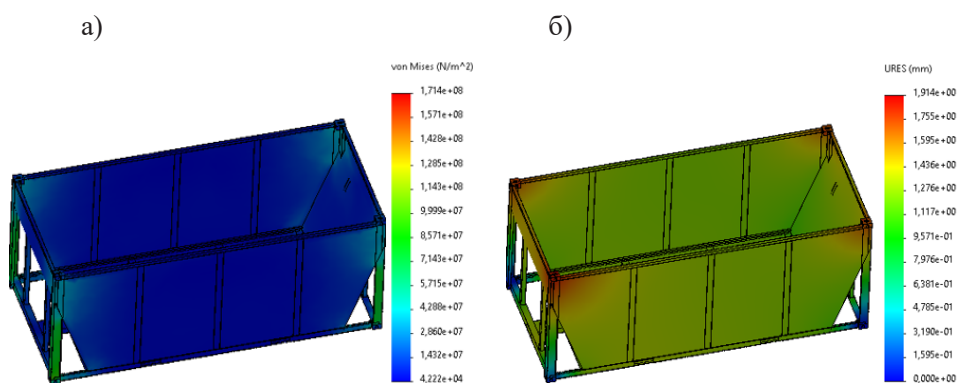


Рис. 6. Результати розрахунку контейнера при підйомі за верхні фітинги спредером
а) напружений стан; б) переміщення в вузлах

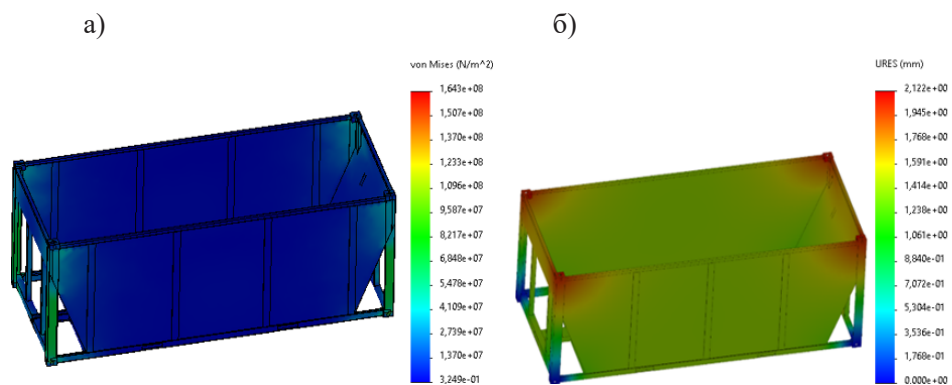


Рис. 7. Результати розрахунку контейнера при штабелюванні
а) напружений стан; б) переміщення в вузлах

верхніх фітингів із повздовжніми балками каркаса. Ці напруження склали 158,3 МПа (рис. 5, а)), що нижче за допустимі, які прийнято рівними 210 МПа [16]. Максимальні переміщення мають місце в бокових стінах і складають 1,83 мм (рис. 5, б)).

При підйомі контейнера спредером максимальні напруження виникають в зонах взаємодії кутових стійок з торцевою стіною і склали 171,4 МПа (рис. 6, а)), отже не перевищують допустимі значення. Максимальні переміщення в вузлах конструкції виникають в зонах взаємодії кутових стійок з боковими стінами – 1,91 мм (рис. 6, б)).

При штабелюванні контейнера максимальні напруження також виникають в зонах взаємодії кутових стійок з торцевою стіною (рис. 7, а)). Вони складають 164,3 МПа, що нижче за допустимі. Максимальні переміщення в конструкції контейнера склали 2,1 мм і мають місце в зонах взаємодії кутових стійок з боковими стінами (рис. 7, б)).

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера при розглянутих схемах його навантажень дотримується.

Висновки. 1. Проведено визначення міцності контейнера при підйомі за верхні фітинги. Розглядалися розрахункові схеми навантаження контейнера при його підйомі стропами, а також спредером. Встановлено, що при підйомі контейнера стропами максимальні напруження в його конструкції складають 158,3 МПа, а максимальні переміщення в вузлах конструкції – 1,83 мм.

При підйомі контейнера спредером максимальні напруження в його конструкції склали 171,4 МПа, а переміщення в вузлах конструкції – 1,91 мм. Отже міцність контейнера дотримується.

2. Проведено визначення міцності контейнера при штабелюванні. Встановлено, що максимальні напруження в його конструкції складають 164,3 МПа, а переміщення в вузлах – 2,1 мм. Отримані результати дозволяють стверджувати, що міцність контейнера при штабелюванні забезпечується.

Список літератури:

1. Gerlici J., Lovska A., Vatulja G., Pavliuchenkov M., Kravchenko O., Solcansky S. Situational adaptation of the open wagon body to container transportation. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13 (15). 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
2. Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov. Study of the Dynamics and Strength of the Detachable Module for Long Cargoes under Asymmetric Loading Diagrams. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, 3211. <https://doi.org/10.3390/app14083211>
3. 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.
4. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні. *Транспортні системи і технології*. 2016. Вип. 28. С. 90–98.
5. Rahimov Rustam Vyacheslavovich, Khadjimukhametova Matluba Adilovna, akhmatov Zafar Xasanovich. Development of improved technical means for transportation fruits and vegetables. *European science review*. 2016. Vol. 1–2. P. 175–177. <https://doi.org/10.20534/ESR-16-1.2-175-177>
6. Cheng K. J., Lees C. H., Peng C. C. Design and structural analysis of high payload C1 container. *Journal of Physics: Conference Series*. 2024. Vol. 2878. 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2878/1/012012>
7. G. L. Vatulja, 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. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012140>
8. 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. № 6/7 (132). P. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>
9. 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>
10. Gerlici J., Lovska A., Kravchenko O., Solcansky S., Krasnokutskyi Ye. The computer modelling of the vertical loading on a long-base flat wagon loaded with hopper containers. *Transportation Research Procedia*. 2023. Vol. 74 P. 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.159>
11. ДСТУ ISO 1496-1:2013 Вантажні контейнери серії 1. Технічні вимоги та методи випробування. Частина 1. Контейнери загальної призначеності універсальні. Київ, 2013.

12. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник. Херсон: Олді-плюс, 2018. 252 с.
13. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: навчальний посібник. Луцьк: Вежа, 2018. 172 с.
14. Gerlici J., Lovska A., Pavliuchenkov M., Harušinec J. Investigation of the Strength and Dynamic Load on a Wagon Covered with Tarpaulin for 1520 mm Gauge Lines. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. 6810. <https://doi.org/10.3390/app14156810>
15. Valeri Stoilov, Svetoslav Slavchev, Vladislav Maznichki and Sanel Purgic. Method for Theoretical Assessment of Safety against Derailment of New Freight Wagons. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. 12698. <https://doi.org/10.3390/app132312698>
16. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015.

Lovska A.O., Muradian A.O., Demydiakov O.V. DETERMINATION OF THE STRENGTH OF A HOPPER CONTAINER DURING LOADING AND UNLOADING OPERATIONS

The materials of the article highlight the design features of the hopper-type container, as well as determining its strength during loading and unloading operations. The container has sloping end walls, and its floor is formed by the covers of the unloading hatches. Such structural features of the container allow unloading of cargo from it by gravity. The container can also be unloaded using the “standing on its edge” scheme.

To ensure the strength of the container during loading and unloading operations, its calculation was carried out. The following loading schemes of the container were taken into account: lifting by the upper fitting (with slings or a spreader), as well as stacking. The strength calculation was implemented using the finite element method. It was implemented in SolidWorks Simulation. When compiling the calculation schemes of the container, provided that it is lifted by the upper fittings with slings, it was taken into account that the load from them is decomposed into two components – vertical and horizontal, which is determined by the angle of placement of the slings in space. When lifting the container with a spreader, a vertical load was applied to the upper fittings. In the case of stacking the container, a vertical load was applied to the upper and lower fittings. When performing the calculation, the effect of the vertical load on the container from its gross weight, as well as the pressure of the bulk cargo on the walls, was also taken into account. The finite element model of the container was formed by tetrahedra. The results of the calculations allowed us to conclude that the strength of the container under the given loading conditions is maintained.

The calculations made allow us to conclude that the strength of the container under the considered load schemes during loading and unloading operations is maintained.

Key words: *hopper-type container, loading and unloading operations, structural loading, structural strength, container transportation.*