

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КОНТЕЙНЕРА З КАРКАСОМ ФЕРМОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СХЕМАХ НАВАНТАЖЕНЬ

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

Михайло Павлюченко

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки

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

доцент кафедри будівельних конструкцій

Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160, Суми, Україна, 40021, pavliuchenkov@ukr.net

ORCID: 0000-0002-8168-7224

Василь Равлюк

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

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

ORCID: 0000-0003-4818-9482

Дмитро Скуріхін

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, skurikhin@i.ua

ORCID: 0000-0002-1122-1234

Андрій Рибін

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, rybinandrey2006@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4430-8018

Для покращення міцності контейнера запропоновано удосконалення його каркаса. Передбачається виготовлення каркаса з фермової конструкції, яка включає розкоси. При цьому покращення міцності контейнера досягається за рахунок підвищення жорсткості каркаса.

Для обґрунтування запропонованого удосконалення проведено визначення силових факторів (згинальних моментів), які виникають в каркасі при сприйнятті бокових навантажень. Дослідження проведено на прикладі контейнера типорозміру 1СС вагою бруто 240 кН.

За результатами проведених розрахунків при відомому значенні згинального моменту, що діє в перерізі каркаса, та допустимими напруженнями матеріалу його виготовлення, проведено підбір профілю виконання фермових складових каркаса.

Здійснено розрахунок на міцність контейнера удосконаленої конструкції при деяких експлуатаційних схемах його навантажень: для бокових навантажень, повздовжніх, підйом за верхні фітинги та штабелювання. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано у SolidWorks Simulation. Скінчено-елементу модель контейнера утворено із тетраедрів. Сітка створювалась на твердому тілі. Розрахунок на міцність контейнера проведено за критерієм Мізеса (IV теорія міцності). Результати розрахунку контейнера при всіх розглянутих схемах навантажень показали, що міцність його конструкції забезпечується. При цьому максимальні напруження в боковій стіні контейнера на 19% нижчі за ті, що мають місце в типовій конструкції.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проєктування контейнерів з покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками та можуть бути корисними напрацюваннями не тільки при створенні їх нових конструкцій, а і при модернізаціях існуючих.

Ключові слова: контейнер, удосконалення конструкції, міцність контейнера, навантаженість конструкції, контейнерні перевезення.

Актуальність роботи. Контейнерні перевезення є одним із найбільш перспективних видів перевезень вантажів в міжнародному сполученні [1, 2]. Це пояснюється відсутністю необхідності перевантаження вантажу, а також можливістю перевезень контейнера різними транспортними засобами. Разом із цим, в умовах експлуатації на конструкцію контейнера діють різні за величиною та природою походження силові фактори. Вони можуть сприяти пошкодженню контейнера. Одними із найбільш неблагоприємних серед них є пошкодження бокових стін. Ці пошкодження обумовлені не тільки експлуатаційними навантаженнями, а і ненадійністю закріплення вантажу у контейнері. Внаслідок подібних пошкоджень виникає необхідність позапланових видів ремонту контейнерів, а також загроза виникнення надзвичайних ситуацій на шляху прямування контейнера. Тому важливим є створення науково-технічних рішень, спрямованих на покращення міцності бокових стін контейнерів в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для покращення міцності контейнера авторами публікації [3] пропонується підвищення жорсткості його конструкції. Дане рішення обґрунтовано не тільки теоретичними розрахунками, а і експериментальними дослідженнями. Але таке впровадження не сприяє покращенню міцності бокових стін контейнера.

Питання покращення міцності бокових стін контейнера висвітлено у публікації [4]. Авторами пропонується впровадження у якості їх обшивки сендвіч-панелей. При цьому покращення міцності бокових стін досягається зменшенням їх навантаженості. В статті наведено відповідне обґрунтування такого рішення.

В публікації [5] для покращення міцності контейнера також запропоновано впровадження в його конструкцію сендвіч-панелей. Таке удосконалення обґрунтовано на прикладі настилу підлоги контейнера.

Важливо сказати, що зазначені у публікаціях [4, 5] рішення є досить вартісним з точки зору впровадження, що стримує серійність виготовлення таких контейнерів.

Покращення міцності контейнера можливо досягти і шляхом впровадження в його конструкцію нових матеріалів. Так, наприклад, в публікації [6] запропоновано використання вуглепластикових матеріалів в конструкції контейнера. Таке рішення безумовно має ряд переваг у порівнянні зі сталлю, яка є типовим матеріалом виготовлення контейнерів, але і вимагає відповідних капітальних вкладень на його застосування.

Для покращення міцності контейнера в роботі [7] запропоновано у якості складових каркасу використання квадратних труб. Висвітлено особливості розрахунку на міцність такого каркаса та доведено доцільність запропонованого удосконалення. Разом із цим, авторами не досліджувалися питання покращення міцності бокових стін контейнера.

В публікації [8] запропоновано конструкцію контейнера та наведено результати його розрахунку на міцність при основних режимах навантажень. Однак поза увагою авторів залишилися питання покращення міцності конструкції контейнера при залізничних перевезеннях.

Проведений огляд літературних джерел доводить, що питання підвищення міцності бокових стін контейнера є актуальним та потребує подальшого дослідження.

Метою статті є висвітлення результатів наукового обґрунтування використання фермової конструкції каркаса бокової стіни універсального контейнера. Досягнення зазначеної мети здійснено з урахуванням розв'язку таких завдань:

- дослідити силові фактори, що виникають в каркасі контейнера фермової конструкції;
- провести розрахунок на міцність контейнера при експлуатаційних схемах навантажень.

Матеріал і результати досліджень. Для забезпечення міцності бокових стін контейнера в процесі експлуатації авторами пропонується посилення його каркаса додатковими елементами, які утворюють фермову конструкцію (рис. 1).

Передбачається встановлення розкосів між кутовими та вертикальними стійками. Також пропонується встановлення посилюючого горизонтального поясу між вертикальними стійками. Цей пояс проходить за висотою $1/3$ від нижнього обв'язування каркаса. Дослідження проведено на прикладі контейнера типорозміру 1СС вагою бруто 240 кН.

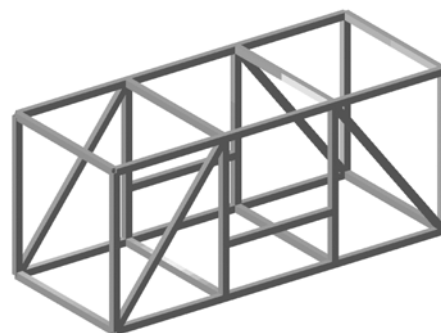


Рис. 1. Каркас контейнера

Для обґрунтування запропонованого удосконалення проведено визначення силових факторів, які діють в каркасі при сприйнятті бокових навантажень. Розрахунок здійснено у програмному комплексі «Ліра – САПР» [9]. З цією метою створено розрахункову схему каркаса у вигляді стрижневої системи (рис. 2).

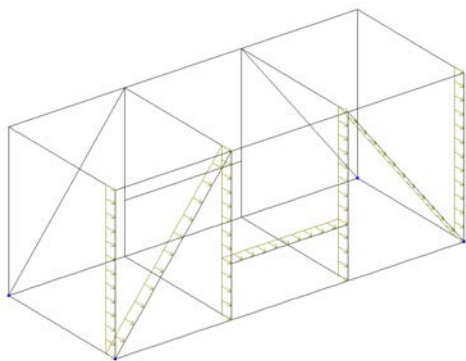


Рис. 2. Розрахункова схема каркаса

Закріплення каркаса здійснювалося в зонах розміщення фітингів, тобто за нижніми кутовими частинами. При складанні розрахункової схеми враховано, що на каркас діє відцентрова сила $P_{вц}$ та вітрове навантаження P_v .

Відцентрова сила $P_{вц}$ визначалась за формулою [10]:

$$P_{вц} = \frac{P_{бр} \cdot V^2}{g \cdot R}, \quad (1)$$

де $P_{бр}$ – вага бруто контейнера; V – швидкість руху вагона, завантаженого контейнерами; g – прискорення вільного падіння; R – радіус кривої в яку вписується вагон, завантажений контейнерами.

Вітрове навантаження розраховувалось в такий спосіб:

$$P_v = w \cdot S, \quad (2)$$

де w – інтенсивність вітрового навантаження на бокову стіну контейнера; S – площа бокової стіни контейнера.

Розрахунок проведено на прикладі контейнера типорозміру 1СС. На підставі проведених розрахунків отримано епюри силових факторів, що діють в каркасі (рис. 3, 4). При цьому блакитним кольором на даних рисунках позначено від'ємне значення силових факторів, а помаранчевим – додатне. Отже, максимальне значення згинального моменту у вертикальній площині складало $1,25 \text{ т} \cdot \text{м}$ і зосереджено у кінцевих балках каркаса (рис. 3). При чому з одного боку контейнера значення моменту є додатнім, а з іншого – від'ємним.

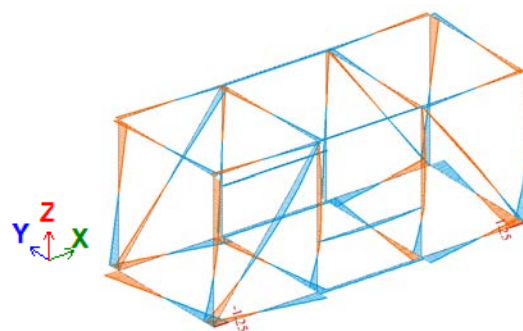


Рис. 3. Епюра згинальних моментів відносно осі Z (т · м)

Максимальне значення згинального моменту у повздовжній площині зафіксовано також в кінцевих балках. Значення цього моменту за довжиною кінцевої балки є знакозмінним. З боку навантаження стіни даний момент має значення $-1,7 \text{ т} \cdot \text{м}$, а з боку розвантаження – $1,35 \text{ т} \cdot \text{м}$.

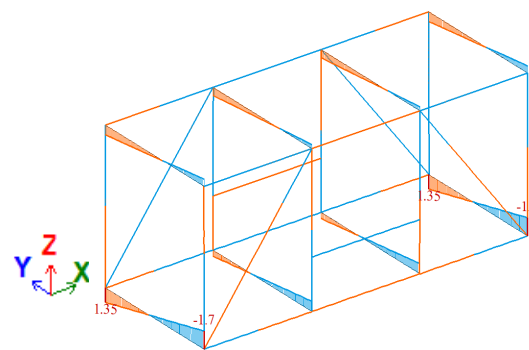


Рис. 4. Епюра згинальних моментів відносно осі Y (т · м)

За результатами проведених розрахунків при відомому значенні згинального моменту M , що діє в перерізі каркаса, та допустимими напруженнями $[\sigma]$ матеріалу його виготовлення, здійснено підбір профілю виконання фермових складових каркаса. При цьому застосовано відому залежність опору матеріалів [11]: $W = M / [\sigma]$.

Враховуючи, що максимальне значення згинального моменту в розкосах бокової стіни складає $1,36 \text{ т} \cdot \text{м}$ і те, що матеріалом їх виготовлення є низьколегована сталь 09Г2С, то момент опору $W = 63,53 \text{ см}^3$. При цьому допустимі напруження прийнято рівними 210 МПа .

З урахуванням визначеного моменту опору у якості профілю фермових складових запропоновано застосування квадратної труби 120×120 з $W = 67,05 \text{ см}^3$ та товщиною стінки $4,0 \text{ мм}$. Маса 1 м погонного такої труби складає $14,25 \text{ кг}$.

Враховуючи параметри даного профілю побудовано просторову модель контейнера із каркасом, удосконаленої конструкції (рис. 5).

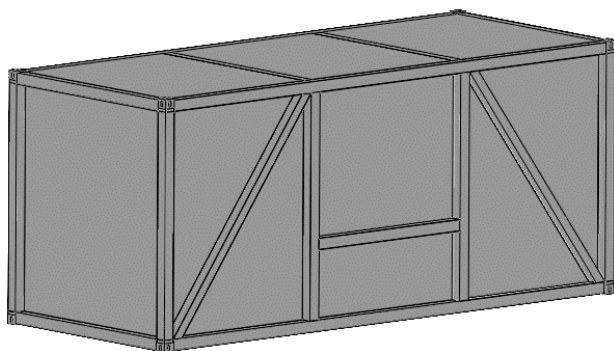


Рис. 5. Просторова модель каркаса контейнера

Для оцінки міцності даної конструкції контейнера при деяких експлуатаційних схемах його навантажень проведено розрахунок на міцність за методом скінчених елементів у SolidWorks Simulation [12, 13]. При цьому застосовано критерій Мізеса (IV теорія міцності). Скінчено-елементу модель сформовано із тетраедрів [14, 15]. Сітка створювалась на твердому тілі. Загальна чисельність тетраедрів склала 111068. При цьому число вузлів дорівнює 34812. Максимальний розмір елемента дорівнює 80 мм.

До уваги прийнято такі схеми навантажень контейнера: дія бокових навантажень, повздовжніх, підйом за верхні фітинги та штабелювання. Розрахункові схеми контейнера наведено на рис. 6.

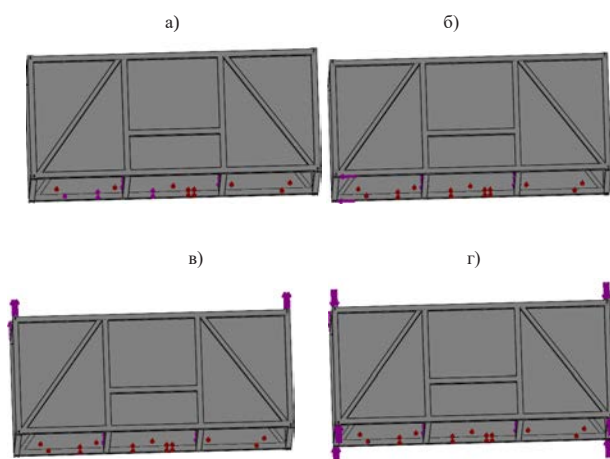


Рис. 6. Розрахункові схеми контейнера
а) дія бокових навантажень;
б) дія повздовжніх навантажень; в) підйом за верхні фітинги; г) штабелювання

Результати розрахунків наведено на рис. 7.

Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновок, що максимальні напруження в контейнері при сприйнятті ним бокових навантажень виникають в зоні взаємодії розкоса з кутовою вертикальною стійкою і складають 142,1 МПа (рис. 7, а). При дії повздовжнього навантаження на контейнер максимальні напруження зафіксовано у фітингу і дорівнюють 184,4 МПа (рис. 7, б). При підйомі контейнера за верхні фітинги максимальні напруження виникають у нижній частині вертикальних стійок (рис. 7, в). Ці напруження складають 158,1 МПа. При штабелюванні максимальні напруження в контейнері зафіксовано у кутовій вертикальній стійці – 164,5 МПа (рис. 7, г). Важливо зазначити, що при всіх розглянутих схемах навантажень контейнера розрахункові напруження не перевищують допустимі, які прийнято рівними 210 МПа [10]. Отже міцність конструкції контейнера дотримується. З урахуванням запропонованого удосконалення вдається знизити максимальні напруження в боковій стіні на 19% у порівнянні із типовою конструкцією контейнера.

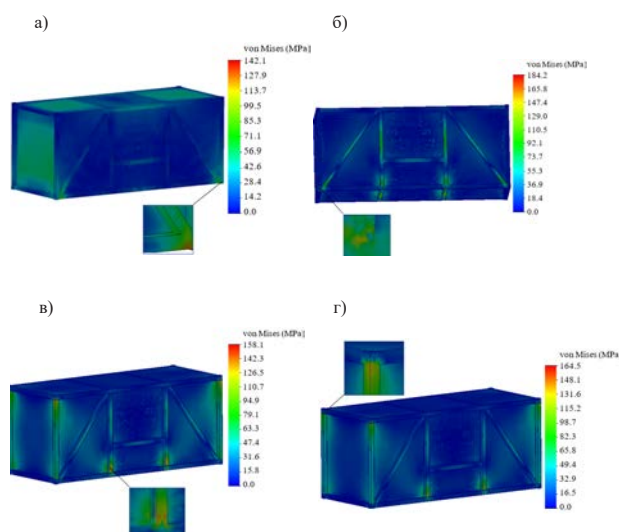


Рис. 7. Напружений стан контейнера при експлуатаційних схемах навантажень
а) дія бокових навантажень;
б) дія повздовжніх навантажень; в) підйом за верхні фітинги; г) штабелювання

На дану конструкцію контейнера сформовано та подано заявку на отримання патенту України.

На подальших етапах досліджень авторами планується удосконалення геометрії обшивки бокових стін контейнера, а також його розрахунок при інших експлуатаційних схемах навантажень.

Висновки.

1. Досліджено силові фактори, що виникають в каркасі контейнера фермової конструкції. Встановлено, що при сприйнятті бокових навантажень в каркасі максимальне значення згинального моменту у повздовжній площині склало 1,7 т · м і зафіксовано в кінцевих балках.

2. Проведено розрахунок на міцність контейнера удосконаленої конструкції. До уваги прийнято такі схеми навантажень контейнера: дія бокових навантажень, повздовжніх, підйом за верхні фітинги та штабелювання. Результати розрахунку контейнера при всіх розглянутих схемах навантажень показали, що міцність його конструкції забезпечується.

Важливо підкреслити, що з урахуванням запропонованого удосконалення макси-

мальні напруження в боковій стіні контейнера на 19% нижчі за ті, що мають місце в типовій конструкції.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проєктування контейнерів з покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками та можуть бути корисними напрацюваннями не тільки при створенні їх нових конструкцій, а і при модернізаціях існуючих.

Подяка. Дана публікація виконана в рамках науково-дослідної роботи «Підвищення безпеки руху залізничного рухомого складу шляхом впровадження інтегрованих технологій підтримки життєвого циклу» (№ДР 0125U001907), яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2025 р.

ЛІТЕРАТУРА

1. Soloviova L., Strelko O., Isaienko S., Soloviova O., Berdnychenko Yu. Container Transport System as a Means of Saving Resources. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 459. 052070. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052070

2. Caban J., Nieoczym A., Gardyński L. Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 127, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487>.

3. Xiaoxiong Zha and Yang Zuo. Theoretical and experimental studies on in-plane stiffness of container structure with holes. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016. Vol. 8(6). P. 1–17. <https://doi.org/10.1088/10.1177/1687814016651372>

4. Vatulia G. L., Lovska A. O., Krasnokutskyi Ye. S. 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>

5. Lovska A., Stanovska I., Kyryllova V., Okorokov A., Vernigora R. 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. –14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>

6. Turkay Yildiz. Design and Analysis of a Lightweight Composite Shipping Container Made of Carbon Fiber Laminates. *Logistics*. 2019. Vol. 3. No. 18. <https://doi.org/10.1088/10.3390/logistics3030018>

7. Gerlici Juraj, Lovska Alyona, Pavliuchenkov Mykhailo, Kravchenko Oleksandr. Peculiarities of designing the frame of a universal container made of rectangular

pipes. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*. 2024. Vol. 26. Issue 2. P. B72-B79. <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.016>

8. 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>

9. Барабаш М. С., Сорока М. М., Сур'янінов М. Г. Нелінійна будівельна механіка з ПК Ліра-Сапр. Одеса, Екологія, 2018. 248 с.

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

11. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів: Підручник. Київ, Знання, 2016. 400 с.

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

13. Gerlici J., Lovska A., Vatulia 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>

14. 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>

15. Arkadiusz Rzezzycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90. <https://www.scientific.net/SSP.252.81>

RESEARCH ON THE STRENGTH OF A CONTAINER WITH A TRUSS FRAME UNDER OPERATIONAL LOAD SCHEMES

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

Mykhailo Pavliuchenkov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department
of Theoretical and Structural Mechanics
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17 Chornohlazivska str., Kharkiv, Ukraine, 61002
Associate Professor at the Department of Building Constructions
Sumy National Agrarian University, 160 H. Kondratieva str., Sumy, Ukraine, 40021, pavliuchenkov@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8168-7224

Vasyl Ravlyuk

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Wagon Engineering
and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sqr., Kharkiv, Ukraine, 61050, ravvg@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4818-9482

Dmytro Skurikhin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Wagon
Engineering and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sqr., Kharkiv, Ukraine, 61050, skurikhin@i.ua
ORCID: 0000-0002-1122-1234

Andrij Rybin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Wagon Engineering
and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sqr., Kharkiv, Ukraine, 61050,
rybinandrey2006@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4430-8018

To improve the strength of the container, it is proposed to improve its frame. It is planned to manufacture the frame from a truss structure that includes braces. In this case, improving the strength of the container is achieved by increasing the rigidity of the frame.

To substantiate the proposed improvement, the force factors (bending moments) that arise in the frame when perceiving lateral loads were determined. The study was conducted on the example of a container of standard size 1CC with a gross weight of 240 kN.

According to the results of the calculations, with a known value of the bending moment acting in the cross-section of the frame and the permissible stresses of the material of its manufacture, the profile of the truss components of the frame was selected.

The strength of the container of the improved design was calculated for some operational schemes of its loads: the action of lateral loads, longitudinal loads, lifting by the upper fittings and stacking. In this case, the finite element method was used, which is implemented in SolidWorks Simulation. The finite element model of the container is formed from tetrahedra. The mesh was created on a solid. The calculation of the container strength was carried out according to the Mises criterion (IV strength theory). The results of the container calculation for all considered load schemes showed that the strength of its structure is ensured. At the same time, the maximum stresses in the side wall of the container are 19% lower than those that occur in a typical structure.

The conducted research will contribute to the creation of recommendations for the design of containers with improved technical and operational characteristics and can be useful not only when creating new structures, but also when modernizing existing ones.

Key words: container, design improvement, container strength, structure loading, container transportation.

REFERENCES

1. Soloviova, L., Strelko, O., Isaenko, S., Soloviova, O., & Berdnychenko, Yu. (2020). Container Transport System as a Means of Saving Resources. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 459. 052070. DOI:10.1088/1755-1315/459/5/052070
2. Caban, J., Nieoczym, A., & Gardyński, L. (2021). Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*, 127, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487>.
3. Xiaoxiong Zha and Yang Zuo. (2016). Theoretical and experimental studies on in-plane stiffness of container structure with holes. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(6), 1–17. <https://doi.org/10.1088/10.1177/1687814016651372>
4. Vatulja, G. L., Lovska, A. O., & Krasnokutskyi, Ye. S. (2023). Research into the transverse loading of the container with sandwich-panel walls when transported by rail. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1254. 012140. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012140>
5. Lovska, A., Stanovska, I., Kyrillova, V., Okorokov, A., & Vernigora, R. (2024). 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*, 6/7 (132), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324>
6. Turkay Yildiz. (2019). Design and Analysis of a Lightweight Composite Shipping Container Made of Carbon Fiber Laminates. *Logistics*, 3, 18. <https://doi.org/10.1088/10.3390/logistics3030018>
7. Gerlici Juraj, Lovska Alyona, Pavliuchenkov Mykhailo, Kravchenko Oleksandr. (2024). Peculiarities of designing the frame of a universal container made of rectangular pipes. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 26, 2, B72–B79. <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.016>
8. Cheng, K. J., Lees, C. H., & Peng, C. C. (2024). Design and structural analysis of high payload C1 container. *Journal of Physics: Conference Series*, 2878, 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2878/1/012012>
9. Barabash, M. S., Soroka, M. M. & Suryaninov, M. G. (2018). *Nelinijna budivelna mehanika z PK LIRA-SAPR. [Nonlinear structural mechanics with PC LIRA-SAPR]*. Odesa, Ecology. [in Ukrainian].
10. 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].
11. Shvabyuk, V. I. (2016). *Opir materialiv: Pidruchnik [Resistance of materials: Textbook]*. Kyiv, Znannia. [in Ukrainian].
12. Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V. & Parfeniuk, O. V. (2018). *Kompiuterna hrafika: SolidWorks: Navchalnyi posibnyk. [Computer Graphics: SolidWorks: a tutorial]*. Kherson, Oldi-plius. [in Ukrainian].
13. Gerlici, J., Lovska, A., Vatulja, G., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, O., & Solcansky, S. (2023). Situational adaptation of the open wagon body to container transportation. *Applied Sciences*, 13(15). 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
14. Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov. (2024). Study of the Dynamics and Strength of the Detachable Module for Long Cargoes under Asymmetric Loading Diagrams. *Applied Sciences*, 14, 3211. <https://doi.org/10.3390/app14083211>
15. Arkadiusz Rzezycki, Bogusz Wisnicki. (2016). Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*, 252, 81–90. Retrieved from <https://www.scientific.net/SSP.252.81>

Стаття надійшла 27.02.2025