

Ловська А. О.

Український державний університет залізничного транспорту

Павлюченко М. В.

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова

Равлюк В. Г.

Український державний університет залізничного транспорту

Скуріхін Д. І.

Український державний університет залізничного транспорту

Рибін А. В.

Український державний університет залізничного транспорту

Федоришин В. С.

Український державний університет залізничного транспорту

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗДОВЖНЬОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КАРКАСА УНІВЕРСАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Стаття присвячена визначенню міцності каркаса універсального контейнера удосконаленої конструкції. Особливість удосконалення полягає у використанні в каркасі контейнера додаткових елементів, які будуть розвантажувати найбільш навантажені зони його конструкції.

Проведено визначення профілю виконання додаткових елементів каркаса із використанням опцій програмного комплексу «ЛІРА – САПР». Розрахунок здійснено на прикладі контейнера типорозміру ІСС за умови його повздовжньої навантаженості. При цьому розглянуто режим його навантаження при перевезенні у складі поїзда на вагоні-платформі. Визначено повздовжнє навантаження, яке сприймає контейнер при цьому та здійснено побудову епюри повздовжньої сили, яка діє в каркасі.

На підставі проведених розрахунків у якості профілю виконання каркаса обрано квадратну трубу 180×180 мм з площею поперечного перерізу $A = 4,5$ см² та масою 1 погонного метра $m = 24,39$ кг.

Створено просторову модель каркаса контейнера з урахуванням його удосконалення. На базі даної моделі проведено розрахунок на міцність каркаса контейнера з використанням методу скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation.

Встановлено, що максимальні напруження в каркасі виникають в зоні взаємодії повздовжніх балок із фітінгами і складають 174,1 МПа. Отримані напруження є нижчими за допустимі майже на 20 %. Максимальні переміщення виникають у середній частині виделки і складають 3,2 мм.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проєктування контейнерів із покращеними техніко-економічними та експлуатаційними характеристиками. Також результати досліджень можливо використовувати при модернізаціях існуючого парку контейнерів.

Ключові слова: залізничний транспорт, контейнерні перевезення, конструкція контейнера, міцність контейнера, навантаженість контейнера.

Постановка завдання. Контейнерні перевезення є найбільш затребуваним видом перевезень вантажів різними галузями транспорту. Разом із цим, процес транспортування контейнерів супроводжується дією на їх конструкцію різних за природою виникнення навантажень. Це

обумовлює пошкодження їх конструкцій в експлуатації.

У зв'язку з цим було досліджено основні режими навантажень контейнерів в експлуатації і встановлено, що найбільш неблагоприємні навантаження мають місце при залізничних перевезен-

нях [1, 2]. При цьому контейнер випробовує значні динамічні навантаження, які зумовлюють його пошкодження. Здебільшого ці пошкодження припадають на повздовжні балки рами, а саме, зони їх взаємодії із фітингами. Така ситуація загрожує пошкодженню контейнера, розвалюванню вантажу на шляху прямування, а також безпеці руху поїзда. Тому виникає необхідність удосконалення конструкції контейнера для забезпечення його міцності при експлуатаційних режимах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для виявлення наявного доробку з питань удосконалення контейнерів проведено аналіз наукових публікацій за тематикою дослідження. Так, наприклад, в статті [3] авторами запропоновано конструкцію універсального контейнера у якого обшивку стін утворюють сендвіч-панелі. Зазначено, що таке впровадження сприяє покращенню схоронності перевозимих вантажів, адже дозволяє зменшити величини динамічних навантажень, які діють на контейнер в експлуатації. Результати проведеного моделювання навантаженості контейнера підтвердили, що таке рішення є обґрунтованим. Однак впровадження контейнерів запропонованої конструкції стримується фінансово, оскільки вимагає значних капітальних вкладень. Аналогічний недолік має і публікація [4], де авторами запропоновано впровадження сендвіч-складових у якості настилу підлоги контейнера та торцевих стін.

Дослідження впливу податливості контейнера на міцність його конструкції при залізничних перевезеннях висвітлено в роботі [5]. На підставі проведених розрахунків сформульовано вимоги щодо безпечної експлуатації контейнера. В роботі [6] досліджено особливості навантаженості контейнера при його водному перевезенні. Проведені дослідження також дозволили сформувати вимоги щодо безпеки перевезень контейнера за досліджуваним маршрутом. Однак при цьому в роботах [5, 6] не запропоновано конструкційних рішень щодо удосконалення контейнера.

Автори публікації [7] запропонували конструкцію контейнера для плодоовочевих вантажів. В роботі наведено обґрунтування такої конструкції відповідними розрахунками на міцність. Однак при цьому в роботі не розглянуто повздовжньої навантаженості контейнера, а також не зазначено конструкційних рішень щодо можливості її зменшення.

Проведений літературний огляд публікацій [3–7] показує, що питанням удосконалення каркаса контейнера для покращення його міцності

в експлуатації не приділялося належної уваги. Тому необхідним є проведення досліджень за даним науковим напрямком.

Постановка завдання. Метою статті є наукове обґрунтування конструкційного виконання каркасу універсального контейнера з посилюючими елементами в рамі. Це сприятиме зменшенню пошкоджень контейнерів в експлуатації, а відповідно і зменшенню витрат на їх утримання. Для досягнення сформульованої мети визначено такі завдання:

- провести визначення силових факторів в каркасі контейнера із урахуванням його удосконалення;
- провести розрахунок на міцність каркаса контейнера при експлуатаційних навантаженнях.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення міцності контейнера в експлуатації пропонується удосконалення його конструкції. Передбачається постановку до нижньої частини каркасу контейнера додаткових елементів, які будуть розвантажувати найбільш навантажені зони його конструкції (рис. 1).

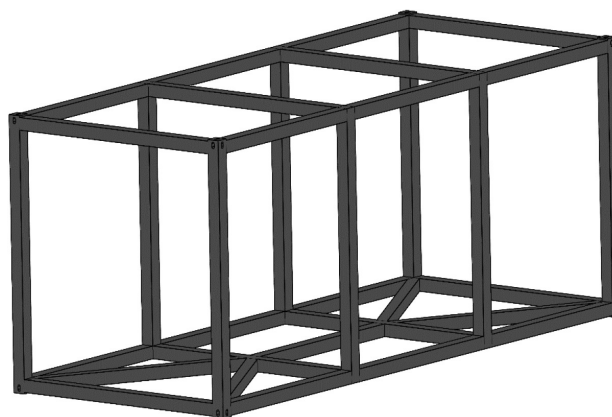


Рис. 1. Каркас контейнера

Посилюючі елементи каркасу представлені у вигляді виделки, кінцеві частини (розкоси) якої сприймають частину навантаження від фітингів та передають його на її середню частину. Для обґрунтування запропонованого рішення проведено розрахунок каркаса як стрижневої системи у програмному комплексі «ЛІРА – САПР». Розрахунок проведено на прикладі контейнера типорозміру 1СС.

До уваги прийнято повздовжню навантаженість контейнера при його перевезенні у складі поїзда. Розрахункову схему каркаса наведено на рис. 2. Враховано, що повздовжні навантаження сприймаються повздовжніми балками нижньої частини каркаса. Для визначення значення повздовжнього

навантаження проведено математичне моделювання динамічної навантаженості контейнера за умови його перевезення на вагоні-платформі. При цьому використано математичну модель, сформовану у попередній роботі авторів [8].

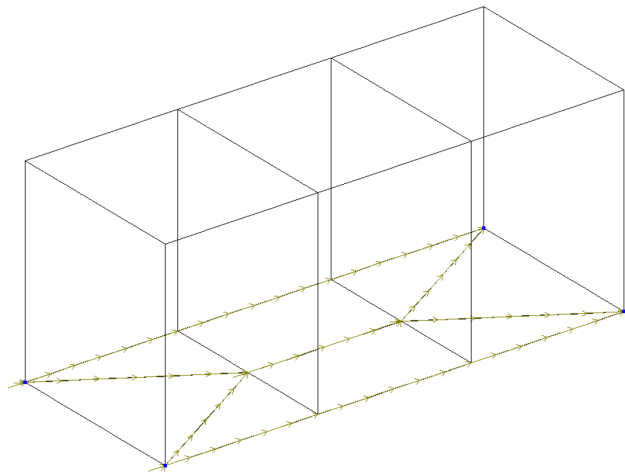


Рис. 2. Розрахункова схема каркаса

Враховано, що величина повздовжньої сили, яка діє на упори автозчепного пристрою вагона-платформи складає 2,5 МН [9]. На підставі розв'язку математичної моделі прискорення, яке діє на контейнер, склало близько 20 м/с². Це прискорення враховано при визначенні величини повздовжнього навантаження, яке діє на контейнер. Дане навантаження склало 480 кН.

З урахуванням прикладення повздовжнього навантаження до балок каркасу контейнера у ньому виникають повздовжні сили (рис. 3). Максимальне значення повздовжньої сили спостерігається в повздовжніх балках і дорівнює 156 кН. Дані сили на 35 % нижчі за ті, що мають місце в типовій конструкції каркаса контейнера.

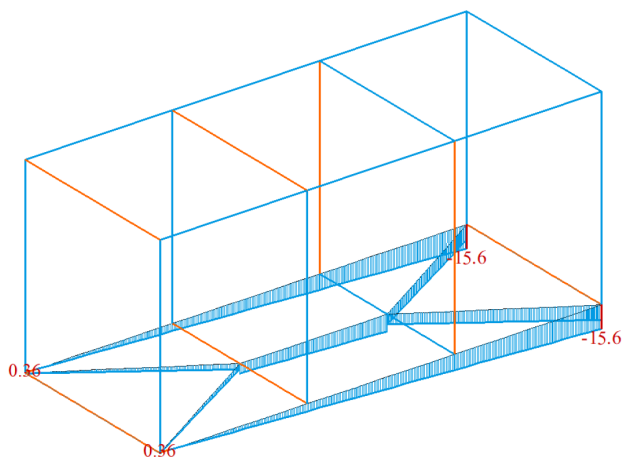


Рис. 3. Епюра повздовжніх сил, що діють на каркас контейнера

Це можна пояснити тим, що розкоси знімають частину повздовжнього навантаження, що діє на повздовжні балки.

На підставі проведених розрахунків у якості профілю виконання каркаса обрано квадратну трубу 180 × 180 мм з площею поперечного перерізу $A = 4,5 \text{ см}^2$ та масою 1 погонного метра $m = 24,39 \text{ кг}$.

З урахуванням обраного профілю виконання каркаса контейнера побудовано його просторову модель в SolidWorks. На базі даної моделі проведено розрахунок на міцність каркаса контейнера з використанням методу скінчених елементів в SolidWorks Simulation [10, 11].

При створенні скінчено-елементної моделі використано тетраедри [12]. Чисельність елементів моделі склала 50 723 та визначена графоаналітично. Чисельність вузлів дорівнює 16 557. Розрахункову схему контейнера наведено на рис. 4. Вона включає вертикальне навантаження P_v , а також повздовжнє P_n , прикладене до передніх за ходом руху поїзда фітингів контейнера. Вертикальне навантаження, яке діє на контейнер включає навантаження, яке обумовлене власною вагою контейнера, а також вагою вантажу, що перевозиться в ньому. При цьому власна вага каркаса контейнера завдавалася із урахуванням опцій програмного комплексу SolidWorks Simulation. Матеріалом каркаса обрано сталь марки 09Г2С, яка для завданого режиму експлуатації має допустимі напруження 210 МПа [9]. Закріплення моделі здійснено за фітинги [13, 14].

Результати розрахунку наведено на рис. 5, 6. При цьому максимальні напруження в каркасі зафіксовано в зоні взаємодії повздовжніх балок із фітингами (рис. 5). Ці напруження склали 174,1 МПа і є нижчими за допустимі майже на 20 %.

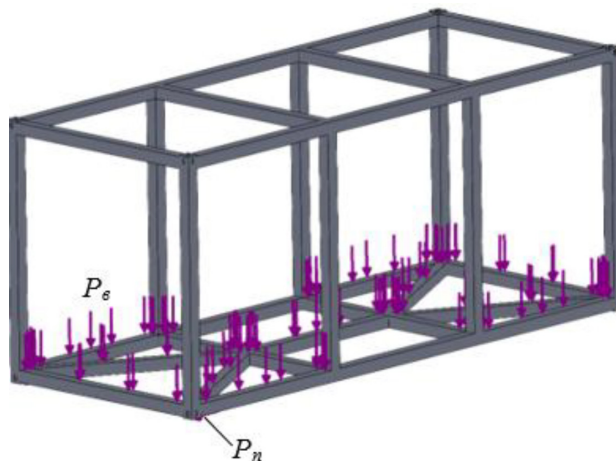


Рис. 4. Розрахункова схема каркаса контейнера

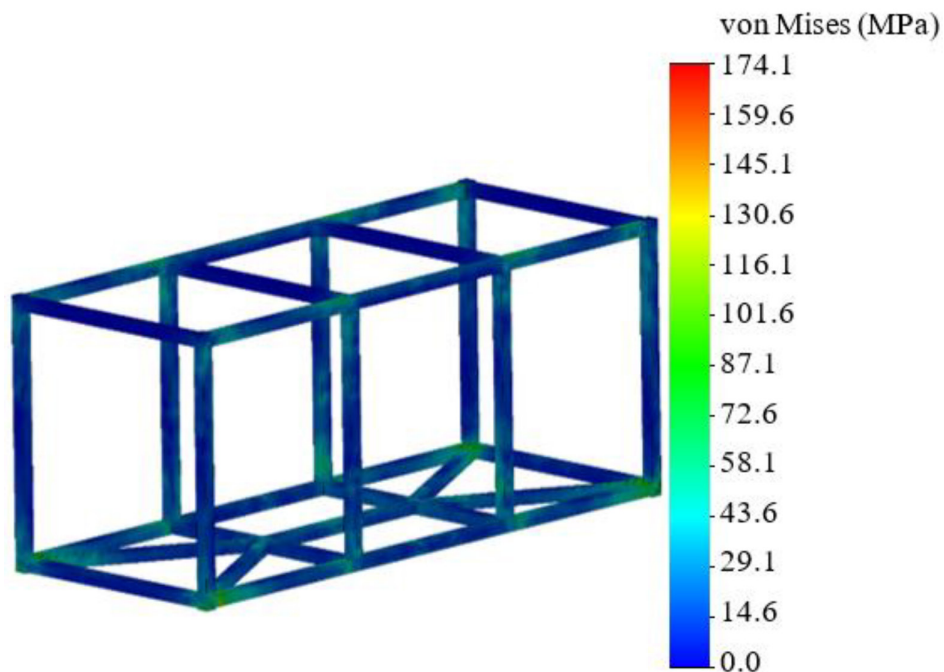


Рис. 5. Напружений стан каркаса контейнера

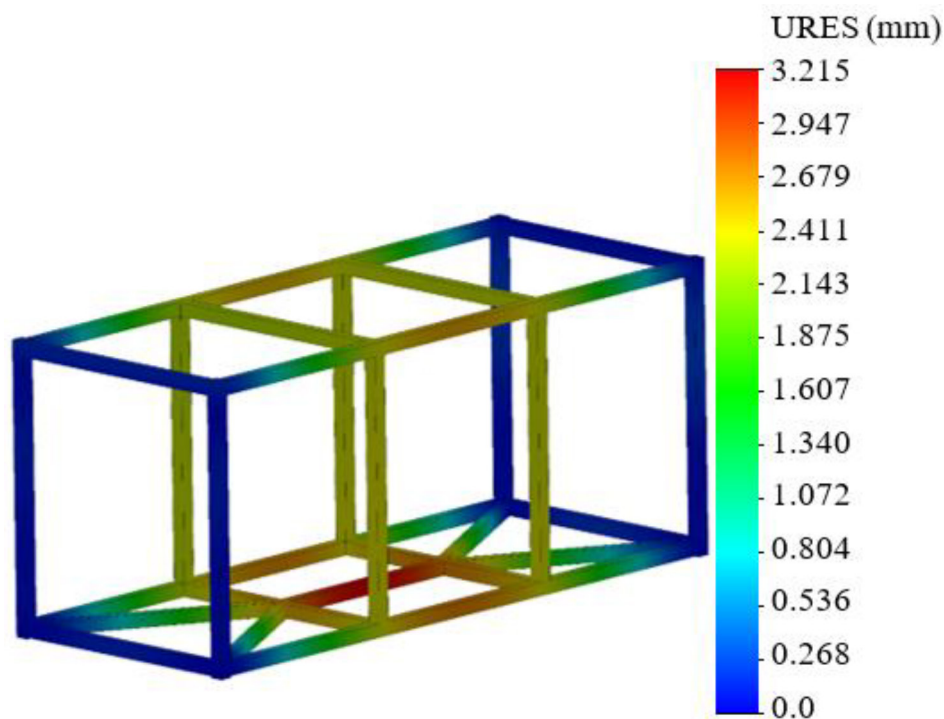


Рис. 6. Переміщення в вузлах конструкції каркаса контейнера

Максимальні переміщення виникають у середній частині виделки і складають 3,2 мм (рис. 6). Така дислокація переміщень пояснюється схемою прикладення навантажень до каркаса контейнера та його закріпленням.

Подальшим розвитком даного дослідження буде оптимізація обшивки контейнера, а також

дослідження його навантаженості при інших розрахункових режимах.

Висновки.

1. Проведено визначення силових факторів в каркасі контейнера удосконаленої конструкції. Встановлено, що при сприйнятті каркасом контейнера повздовжніх навантажень в ньому вини-

кають повздовжні сили, максимальне значення яких складає 156 кН та зафіксовано в зонах взаємодії фітингів з розкосами. Дані сили на 35 % нижчі за ті, що мають місце в типовій конструкції каркаса контейнера.

Обрано профіль виконання каркаса контейнера: квадратна труба 180×180 мм з площею поперечного перерізу $A = 4,5 \text{ см}^2$ та масою 1 погонного метра $m = 24,39$ кг.

2. Проведено розрахунок на міцність каркаса контейнера при експлуатаційних навантаженнях. Встановлено, що максимальні напруження в кар-

касі виникають в зоні взаємодії повздовжніх балок із фітингами і складають 174,1 МПа. Ці напруження є нижчими за допустимі майже на 20 %. Максимальні переміщення виникають у середній частині виделки і складають 3,2 мм.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування контейнерів із покращеними техніко-економічними та експлуатаційними характеристиками. Також результати досліджень можливо використовувати при модернізаціях існуючого парку контейнерів.

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. Antala D. K., Satasiya R. M., Chauhan P. M. 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>
3. Lovska A., Stanovska I., Kyrylova 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*. 2025. № 6/7(132). P. 36–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.315059>
4. Glib Vatulia, Alyona Lovska, Serhii Myamlin, Iraida Stanovska, Maryna Holofieieva, Volodymyr Horobets, Volodymyr Nerubatskyi, Yevhen Krasnokutskyi Revealing the effect of structural components made of sandwich panel on loading the container transported by railroad. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 1/7 (121). P. 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272316>
5. Andrew Nikitchenko, Viktor Artiukh, Denis Shevchenko, Raghu Prakash. Evaluation of Interaction Between Flat Wagons and Container at Dynamic Coupling of Flat Wagonss. *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 7, 04008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/2016 TPACEE-2016>
6. 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.
7. Matluba A. Khadjimukhametova, Avaz M. Merganov. Development of the Design and Conditions of Operation of Containers for Transportation of Fruit and Vegetable Products International. *Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2020. Vol. 8, Issue 5. P. 2277–3878.
8. 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.
9. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 250 с.
10. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник. Херсон : Олді-плюс, 2018. 252 с.
11. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: навчальний посібник. Луцьк : Вежа, 2018. 172 с.
12. Gerlici J., Lovska A., Kozáková K. Research into the Longitudinal Loading of an Improved Load-Bearing Structure of a Flat Car for Container Transportation. *Designs*. 2025. Vol. 9(1), 12. <https://doi.org/10.3390/designs9010012>
13. Aurelio Liguori, Andrea Formato, Arcangelo Pellegrino, Francesco Villecco. Study of Tank Containers for Foodstuffs. *Machines*. 2021. Vol. 9, 44. <https://doi.org/10.3390/machines9020044>
14. 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.

Lovska A. O., Pavliuchenkov M. V., Ravlyuk V. G., Skurikhin D. I., Rybin A. V., Fedorishin V. S.
**RESEARCH OF THE LONGITUDINAL LOADING OF THE FRAME
OF AN UNIVERSAL CONTAINER OF AN IMPROVED DESIGN**

The article is devoted to determining the strength of the frame of a universal container of improved design. The peculiarity of the improvement is the use of additional elements in the container frame that will unload the most loaded areas of its structure.

The profile of the additional frame elements was determined using the options of the “LIRA – CAD” software package. The calculation was carried out on the example of a container of standard size 1 CC, provided that it is longitudinally loaded. At the same time, its loading mode was considered when transported as part of a train on a flat wagon. The longitudinal load that the container perceives in this case was determined and a diagram of the longitudinal force acting in the frame was constructed.

Based on the calculations, a square tube 180×180 mm with a cross-sectional area $A = 4.5$ cm² and a mass of 1 linear meter $m = 24.39$ kg was selected as the frame profile.

A spatial model of the container frame was created taking into account its improvement. Based on this model, the strength of the container frame was calculated using the finite element method, which is implemented in SolidWorks Simulation.

It was found that the maximum stresses in the frame occur in the zone of interaction of the longitudinal beams with the fittings and are 174.1 MPa. The resulting stresses are lower than the permissible ones by almost 20 %. The maximum displacements occur in the middle part of the fork and are 3.2 mm.

The conducted research will contribute to the creation of recommendations for the design of containers with improved technical, economic and operational characteristics. The results of the research can also be used in the modernization of the existing container fleet.

Key words: railway transport, container transportation, container design, container strength, container loading.