

Ловська А. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНИ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЯХ

В матеріалах статті висвітлено особливості розрахунку на міцність контейнера-цистерни з удосконаленою конструкцією каркасу. Суть удосконалення полягає у використанні в каркасі виделки, яка сприяє зменшенню повздовжньої навантаженості його конструкції. Авторами статті сформовано гіпотезу, що впровадження виделки в каркас також сприятиме зменшенню переміщень нижніх частин його стійок при підйомі контейнера-цистерни.

Для перевірки зазначеної гіпотези проведено розрахунок на міцність контейнера-цистерни при підйомі за верхні фітинги. Результати проведеного розрахунку встановили, що з урахуванням впровадження виделки в каркас не тільки зменшується його повздовжня навантаженість, а і переміщення в нижніх частинах стійок на 0,7 мм.

Результати даного дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проєктування сучасних конструкцій контейнерів-цистерн, а також підвищенню ефективності експлуатації контейнерних перевезень.

Ключові слова: залізничний транспорт, контейнер-цистерна, удосконалення конструкції, міцність конструкції, вантажно-розвантажувальні операції.

Актуальність дослідження. Залізнична галузь забезпечує привабливий сегмент вантажооберту між європейськими країнами. Наразі залізницею перевозяться всі типи вантажів різних галузей народного господарства [1 – 3]. Досить поширеними серед таких вантажів є наливні. Перевезення наливних вантажів залізницею здійснюються вагонами-цистернами.

Для підвищення мобільності перевезень наливних вантажів залізницею дістали використання контейнери-цистерни. Наразі експлуатується велика кількість за конструкційними особливостями та технологією обробки контейнерів-цистерн.

Постановка проблеми. Можливість транспортування контейнерів-цистерн різними видами транспорту зумовлює досить різні схеми навантажень їх конструкцій в експлуатації. Аналіз існуючих нормативних документів із питань проєктування та розрахунку контейнерів-цистерн показав, що найбільш неблагоприємним режимом їх навантаження є маневрове співударяння, що має місце при залізничних перевезеннях. При цьому на контейнер-цистерну діють повздовжні сили, зумовлені силами інерції, а також реактивні сили в зонах взаємодії фітингів із фітинговими упорами. В випадку перевищення динамічних сил, що діють на контейнер-цистерну над вертикальною складовою ваги бруто, він переміщується у повздовжній площині і виникає ударна взаємодія фітингів об фітингові упори. Це може призвести до їх обоюдного пошкодження, що викликає необхідність здійснення позапланових видів ремонту транспортних засобів. Подібна ситуація на шляху прямування контейнера-цистерни у складі поїзда є досить небезпечною із точки зору екології. Зважаючи на це, питання удосконалень конструкцій контейнерів-цистерн для покращення їх міцності в експлуатації є досить актуальними.

Теоретичний аналіз дослідження.

Питання удосконалень контейнерів-цистерн є досить поширеними і висвітлюються в чималій кількості публікацій. Так, наприклад, особливості структурно-функціонального аналізу конструкцій контейнерів-цистерн розглядаються в публікації [4]. Метою даного аналізу було виявлення потенційних напрямків удосконалень контейнерів-цистерн для покращення їх техніко-економічних параметрів. Автором наведено відповідний аналіз, але не запропоновано конкретних удосконалень їх конструкцій.

Дослідження напруженого стану контейнера-цистерни для перевезень харчових продуктів наведено в публікації [5]. Проведений аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що найбільш навантаженим вузлом конструкції контейнера-цистерни є вузол взаємодії котла із рамою. Виявлено частоти власних коливань контейнера-цистерни. Запропоновано напрямок щодо удосконалення конструкції контейнера-цистерни не тільки з точки зору його міцності, а і зменшення тари. Разом з цим, авторським колективом при проведенні відповідних розрахунків контейнера-цистерни не досліджувався випадок навантаження його конструкції при маневровому співударянні.

В рамках публікації [6] наводиться аналіз напружено-деформованого стану контейнера-цистерни. Визначено найбільш навантажені зони його конструкції, а також прогин його складових. У якості подальшого напрямку дослідження зазначено зменшення тари контейнера-цистерни. Однак шляхи досягнення зазначеної мети в роботі не висвітлено.

Дослідження міцності контейнера-цистерни удосконаленої конструкції при залізничних перевезеннях проводиться в роботі [7]. Конструкційною особливістю контейнера-цистерни є наявність податливих зв'язків в нижніх кутових фітингах та виготовлення котла із композиційного матеріалу. Результати розрахунку на міцність довели спроможність запропонованих конструкційних удосконалень. Однак із рядом переваг даної конструкції, вона має і значний недолік – висока вартість виготовлення, що в умовах серійності виробництва викликає необхідності значних капіталовкладень.

В публікації [8] висвітлено особливості визначення міцності великовантажного контейнера-цистерни при залізничних перевезеннях. При цьому автори застосували експеримент та чисельне моделювання. Визначено вплив технологічного зазору на навантаженість контейнера-цистерни при різних швидкостях співударянь. Запропоновано рішення щодо удосконалення конструкції контейнера-цистерни, однак не наведено результати їх реалізації.

В роботі [9] висвітлено особливості визначення міцності контейнера-цистерни при експлуатаційних навантаженнях. При цьому для покращення міцності контейнера-цистерни запропоновано три варіанти удосконалень його конструкції. Проведені розрахунки на міцність підтвердили доцільність застосування кожного із варіантів удосконалення. Авторами зазначено подальші шляхи розвитку даного дослідження. Однак в роботі не проводилося математичне моделювання динамічної навантаженості контейнерів-цистерн, а при проведенні розрахунків на міцність враховувалися нормативні значення навантажень.

Проведений аналіз наукових публікацій [4 – 9] доводить, що питання визначення навантаженості та міцності контейнерів-цистерн є досить актуальними. Однак для підвищення ефективності їх експлуатації дані питання потребують подальшого розвитку.

Мета статті: дослідження міцності контейнера-цистерни удосконаленої конструкції при вантажно-розвантажувальних операціях.

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

- сформулювати розрахункову схему контейнера-цистерни при підйомі за верхні фітинги;
- дослідити міцність контейнера-цистерни.

Викладення основного матеріалу дослідження. З метою забезпечення міцності контейнера-цистерни при експлуатаційних режимах навантаження запропоновано удосконалення його каркаса постановкою посилюючого елемента в конструкцію [1] (рис. 1).

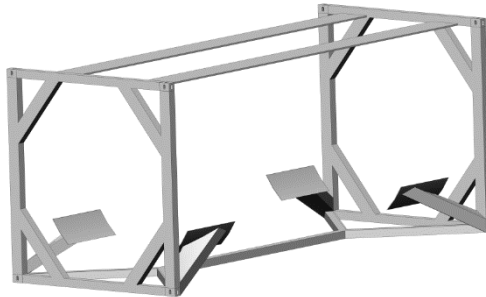


Рисунок 1 – Каркас контейнера-цистерни

Посилюючий елемент виконано у вигляді виделки, кінцеві частини якої (розкоси) розміщуються під кутом $\alpha=45^\circ$ до горизонталі (рис. 2). Вузли взаємодії розкосів між собою з лівого та правого боку контейнера-цистерни сполучені поперечним поясом. Даний елемент виконано із такого ж профілю як і пояси каркасу.

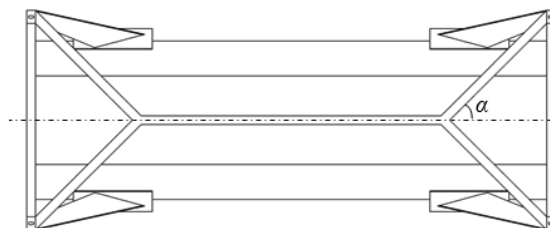


Рисунок 2 – Каркас контейнера-цистерни (вид знизу)

Просторову модель контейнера-цистерни наведено на рис. 3.

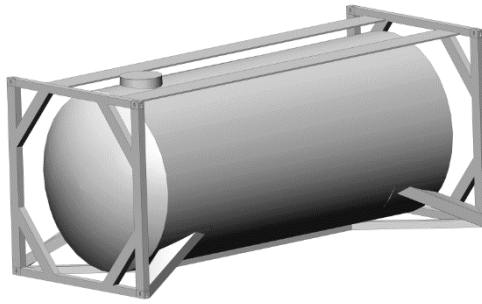


Рисунок 3 – Просторова модель удосконаленої конструкції контейнера-цистерни

Для визначення доцільності такого удосконалення проведено розрахунок на міцність контейнера-цистерни. Результати розрахунку підтвердили, що впровадження виделки в конструкцію каркаса сприяє зменшенню його навантаженості у порівнянні із типовою конструкцією [1].

Разом із цим, авторами статті сформовано гіпотезу, що впровадження виделки в каркас сприятиме зменшенню переміщень нижніх частин його стійок при підйомі контейнера-цистерни.

Для перевірки зазначеної гіпотези проведено розрахунок на міцність контейнера-цистерни при підйомі за верхні фітинги.

При проведенні розрахунку застосовано метод скінчених елементів. Його реалізацію здійснено у Solid-Works Simulation [10, 11]. Створення скінчено-елементної моделі здійснено тетраедрами [12, 13], чисельність яких склала 182213, а вузлів – 60189. Максимальний розмір елемента – 120 мм, а мінімальний – 24 мм.

При створенні розрахункової схеми враховано, що на контейнер-цистерну діють такі навантаження (рис. 4) [14, 15]:

- вертикальне статичне навантаження P_g ;
- тиск від наливного вантажу на котел P_k ;
- реакції у фітингах P_ϕ на дію вертикального навантаження. Ці реакції розкладалися на дві складові: горизонтальну та вертикальну із урахуванням кута нахилу стропи – 45° .

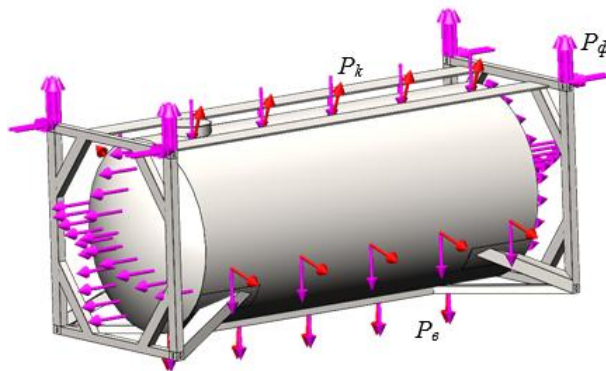


Рисунок 4 – Розрахункова схема контейнера-цистерни

Результати розрахунку наведено на рис. 5 – 7. Максимальні напруження в котлі зафіксовано в зоні розміщення люка-лаза (рис. 5) і склали 180,1 МПа (рис. 6). Ці напруження є нижчими за допустимі на 14%.

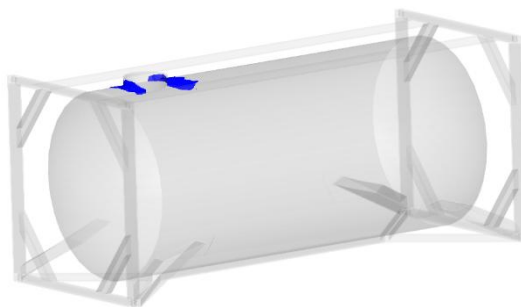


Рисунок 5 – Найбільш навантажені зони контейнера-цистерни

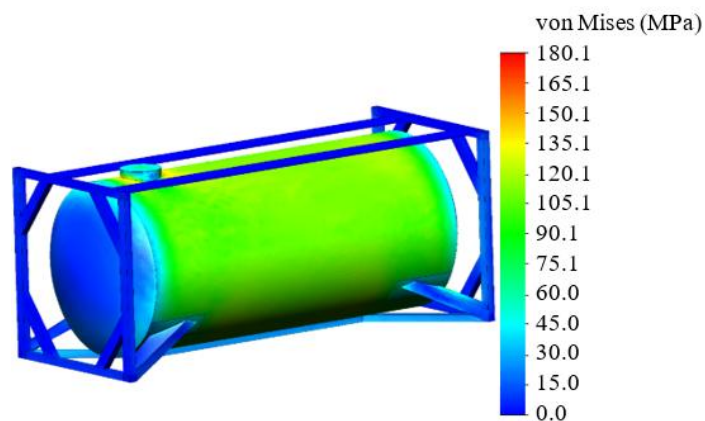


Рисунок 6 – Напружений стан контейнера-цистерни

Максимальні переміщення виникають в торцевій частині котла, що розміщена з протилежного боку від люка-лаза (рис. 7). Ці переміщення склали 2,3 мм. Важливо сказати, що за рахунок впровадження видалки в каркас, переміщення в нижніх частинах стійок зменшилися на 0,7 мм у порівнянні із типовою конструкцією. Отже гіпотеза щодо посилення жорсткості каркаса підтвердилася.

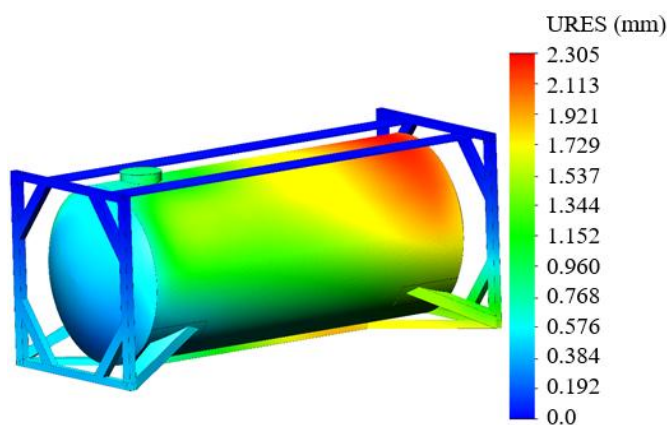


Рисунок 7 – Переміщення в вузлах контейнера-цистерни

Перспектива розвитку даного дослідження полягає у визначенні навантаженості удосконаленого контейнера-цистерни при перевезенні і іншими видами транспорту, оскільки це є мобільна транспортна одиниця.

Результати даного дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проєктування сучасних конструкцій контейнерів-цистерн, а також підвищенню ефективності експлуатації контейнерних перевезень.

Висновки:

1. Сформовано розрахункову схему контейнера-цистерни при його підйомі за верхні кутові фітинги. Враховано, що контейнер-цистерна випробовує дію вертикального навантаження, тиск від наливного вантажу на котел, а також навантаження від стропів, яке розкладалося на дві складові із урахуванням кута нахилу стропу.

2. Проведено розрахунок на міцність контейнера-цистерни. Встановлено, що максимальні напруження виникають в зоні розміщення люка-лаза і дорівнюють 180,1 МПа. Отримані напруження є нижчими за допустимі на 14%.

Максимальні переміщення виникають в торцевій частині котла з протилежного боку від люка-лаза і складають 2,3 мм. З урахуванням впровадження видалки в каркас не тільки зменшується його повздовжня навантаженість, а і переміщення в нижніх частинах стійок на 0,7 мм.

Література

1. Alyona Lovska, Arsen Muradian, Hanna Barsukova, Oleksandr Yurchenko, Oleksii Demydiukov. Determining the Loading of an Improved Tank Container for Railroad Transportation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 1/7 (133). P. 90 – 98. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.321858>
2. Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov, Volodymyr Nerubatskyi, Andrii Okorokov, Denys Hordienko, Roman Vernigora, Irina Zhuravel. Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 6/7 (120). P. 21 – 29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
3. Du-Yong Lee, Jae-Sang Jo, Antony John Nyongesa, Won-Ju Lee. Fatigue Analysis of a 40 ft LNG ISO Tank Container. Materials. 2023. Vol. 16, 428. <https://doi.org/10.3390/ma16010428>

4. Kovalenko Vjacheslav. Structural and functional analysis of tank containers. Metallurgical and Mining Industry. 2017. No. 1. P. 26 – 31.
5. 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>
6. Rudraprasad Bhattacharyya, Abhishek Hazra. A study on stress analysis of iso tank container. Proceedings of 58th Congress of ISTAM. 2013.
7. Sergii Panchenko, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Andrij Rybin, Oleksandr Kravchenko. Strength assessment of an improved design of a tank container under operating conditions. Communication – Scientific Letters of the University of Zilina. 2023. Vol. 25 (3). B.186 – B.193. <https://doi.org/10.26552/com.C.2023.047>
8. Zhiqiang Wang, Caifu Qian, Wei Li. Study on Impact Process of a Large LNG Tank Container for Trains. Applied Sciences. 2023. Vol. 13, 1351. <https://doi.org/10.3390/app13031351>
9. Zhiqiang Wang, Caifu Qian, Zhiwei Wu. Stress Analysis and Structural Improvement of LNG Tank Container Frames under Impact from Railway Transport Vehicles. Applied Sciences. 2023. Vol. 13, 13335. <https://doi.org/10.3390/app132413335>
10. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: Навчальний посібник. – Херсон: Олді-плюс, 2018. – 252 с.
11. Пустульга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.
12. 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>
13. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні. Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». 2016. Вип. 28. С. 90 – 98.
14. ДСТУ ISO 1496-3:2013 Вантажні контейнери серії 1. Технічні вимоги та методи випробування. Частина 3. Контейнери-цистерни для рідин, газів і сипких вантажів під тиском.
15. ISO 1496-3:1995 + ISO 1496-3:1995/Amd 1:2006 Series 1 freight containers. Specification and testing. Part 3: Tank containers for liquids, gases and pressurized dry bulk.

References

1. Alyona Lovska. (2025). Determining the Loading of an Improved Tank Container for Railroad Transportation / Alyona Lovska, Arsen Muradian, Hanna Barsukova, Oleksandr Yurchenko, Oleksii Demydiukov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 1/7 (133). P. 90 – 98. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.321858>
2. Glib Vatulia. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes / Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov, Volodymyr Nerubatskyi, Andrii Okorokov, Denys Hordiienko, Roman Vernigora, Irina Zhuravel // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 6/7 (120). P. 21 – 29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
3. Du-Yong Lee. (2023). Fatigue Analysis of a 40 ft LNG ISO Tank Container / Du-Yong Lee, Jae-Sang Jo, Antony John Nyongesa, Won-Ju Lee // Materials. – Vol. 16, 428. <https://doi.org/10.3390/ma16010428>
4. Kovalenko Vjacheslav. (2017). Structural and functional analysis of tank containers / Kovalenko Vjacheslav // Metallurgical and Mining Industry. – No. 1. P. 26 – 31.
5. Aurelio Liguori. (2021). Study of Tank Containers for Foodstuffs / Aurelio Liguori, Andrea Formato, Arcangelo Pellegrino, Francesco Villecco // Machines. – Vol. 9, 44. <https://doi.org/10.3390/machines9020044>
6. Rudraprasad Bhattacharyya. (2013). A study on stress analysis of iso tank container / Rudraprasad Bhattacharyya, Abhishek Hazra // Proceedings of 58th Congress of ISTAM.
7. Sergii Panchenko. (2023). Strength assessment of an improved design of a tank container under operating conditions / Sergii Panchenko, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Andrij Rybin, Oleksandr Kravchenko // Communication – Scientific Letters of the University of Zilina. – Vol. 25 (3). B.186 – B.193. <https://doi.org/10.26552/com.C.2023.047>
8. Zhiqiang Wang. (2023). Study on Impact Process of a Large LNG Tank Container for Trains / Zhiqiang Wang, Caifu Qian, Wei Li // Applied Sciences. – Vol. 13, 1351. <https://doi.org/10.3390/app13031351>
9. Zhiqiang Wang. (2023). Stress Analysis and Structural Improvement of LNG Tank Container Frames under Impact from Railway Transport Vehicles / Zhiqiang Wang, Caifu Qian, Zhiwei Wu // Applied Sciences. – Vol. 13, 13335. <https://doi.org/10.3390/app132413335>
10. Kozyar M. M., Feshuk Yu. V., Parfenyuk O. V. Komp'yuterna grafika: SolidWorks: Navchalnij posibnik. Herson, 2018. 252 s.
11. Pustulga S. I., Samostyan V. R., Klak Yu. V. Inzhenerna grafika v SolidWorks: Navchalnij posibnik. Luck, 2018. 172 s.
12. Gerlici J. (2023). Situational adaptation of the open wagon body to container transportation / Gerlici J., Lovska A., Vatulia G., Pavliuchenkov M., Kravchenko O., Solcansky S. // Applied Sciences. – Vol. 13(15). 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
13. Lovska A. O. (2016). Research on the strength of the supporting structure of a tank container placed on a platform wagon during shunting collision / Lovska A. O. // Collection of scientific works of DETUT: Series "Transport systems and technologies". – Issue 28. P. 90 – 98.
14. DSTU ISO 1496-3:2013 Cargo containers of series 1. Technical requirements and test methods. Part 3. Tank containers for liquids, gases and bulk cargoes under pressure. ISO 1496-3:1995 + ISO 1496-3:1995/Amd 1:2006 Series 1 freight containers. Specification and testing. Part 3: Tank containers for liquids, gases and pressurized dry bulk.
15. ISO 1496-3:1995 + ISO 1496-3:1995/Amd 1:2006 Series 1 freight containers. Specification and testing. Part 3: Tank containers for liquids, gases and pressurized dry bulk.

The materials of the article highlight the features of the calculation of the strength of a tank container with an improved frame design. The essence of the improvement is the use of a fork in the frame, which helps to reduce the longitudinal load on its structure. The authors of the article have formed a hypothesis that the introduction of a fork into the frame will help to reduce the displacement of the lower parts of its racks *when lifting the tank container*.

To verify the above hypothesis, a calculation of the strength of the tank container was carried out when lifting by the upper fittings. The results of the calculation established that taking into account the introduction of a fork into the frame design, not only its longitudinal load is reduced, but also the displacement in the lower parts of the racks by 0.7 mm.

The results of this study will contribute to the creation of developments in the design of modern tank container structures, as well as increasing the efficiency of container transportation operations.

Keywords: rail transport, tank container, design improvement, structural strength, loading and unloading operations.

Ловська А. О. – д.т.н., професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту.