

# РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 656.2.073.235-046.32

Г. Л. ВАТУЛЯ<sup>1</sup>, А. О. ЛОВСЬКА<sup>2\*</sup>, Є. С. КРАСНОКУТСЬКИЙ<sup>3</sup>,  
П. В. РУКАВІШНИКОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Навчально-науковий інститут будівельної та цивільної інженерії, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, Україна, 61002, тел. +38 (097) 560 91 30, ел. пошта glib.vatulia@kname.edu.ua, ORCID 0000-0002-3823-7201

<sup>2\*</sup>Каф. «Інженерія вагонів та якість продукції», Український державний університет залізничного транспорту, май. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

<sup>3</sup>Філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця», вул. С. Гедройця, 5, Київ, Україна, 03150, тел. +38(044) 309 61 36, ел. пошта ek1520mm@gmail.com, ORCID 0000-0001-6978-4489

<sup>4</sup>Каф. «Теплотехніка, теплові двигуни та енергетичний менеджмент», Український державний університет залізничного транспорту, май. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 21, ел. пошта Rukavishnikov@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-9670-3071

## Визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей під час експлуатаційних режимів навантаження

**Мета.** Основною метою роботи є висвітлення результатів визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей за основних експлуатаційних режимів навантажень. **Методика.** Для забезпечення міцності несної конструкції контейнера запропоновано виготовити його торцеві та бокові стіни із сендвіч-панелей. При цьому передбачено створення сендвіч-панелей із двох металевих листів, між якими знаходиться наповнювач у вигляді енергопоглинального матеріалу. Товщину листів сендвіч-панелей визначено за методом Бубнова – Гальоркіна. Лист розглянуто як тонкостінну плиту з відповідними параметрами ширини та висоти. Для визначення міцності несної конструкції контейнера зі стінами із сендвіч-панелей проведено відповідні розрахунки за методом скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation. Як розрахунковий застосовано критерій Мізеса (IV теорія міцності). Просторову модель контейнера створено в SolidWorks. **Результати.** З урахуванням проведених розрахунків встановлено раціональну товщину листів, із точки зору забезпечення міцності, бокової та торцевої стін, яка склала, відповідно, 1,6 та близько 3,0 мм. Важливо, що застосування прямокутних гофр дає можливість зменшити товщину листа торцевої стіни до 1,0 мм. Такого ж узяття і товщину листа бокової стіни. Максимальні напруження в контейнері в разі його поздовжньої навантаженості виникають у фітингах і складають 268,3 МПа, що нижче за допустимі на 13,6 %. Максимальні напруження в контейнері за умови його поперечної навантаженості зафіксовані в зонах взаємодії бокової стіни з кутовими стійками. Чисельне значення цих напружень склало 178 МПа, що на 15,2 % нижче за допустимі. **Наукова новизна.** У роботі науково обґрунтовано використання сендвіч-панелей як стін універсального контейнера. **Практична значимість.** Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій транспортних засобів модульного типу та підвищенню ефективності функціонування транспортної галузі.

**Ключові слова:** контейнер ISO; сендвіч-панель; навантаженість контейнера; міцність контейнера; контейнерні перевезення

## Вступ

Забезпечення ефективності експлуатації машинобудівної галузі зумовлює необхідність створення та впровадження сучасних конструкцій транспортних засобів. Найбільш конкурентоспроможною складовою машинобудівної промисловості вже тривалий час є залізничний транспорт, на долю якого припадає значний сегмент вантажоперевезень [1]. При цьому однією з найбільш пріоритетних складових залізничної галузі є контейнерні перевезення. Разом із цим окрім ряду переваг, контейнерні перевезення порівняно з іншими транспортними симбіозами мають і суттєві недоліки, які полягають головним чином у недостатній міцності складових контейнерів. Це обумовлено значними величинами експлуатаційних навантажень, у тому числі знакозмінних динамічних, які на них. Таких навантажень зазнає не тільки контейнер, а й вантаж, розміщений у ньому. Унаслідок наявності власного ступеня вільності вантажу в контейнері може мати місце додаткова навантаженість його конструкції. У зв'язку з цим виникають пошкодження контейнерів, що спричиняє додаткові витрати на їх утримання в експлуатації, а також впливає на безпеку та екологічність перевезень. Тому дослідження, присвячені вдосконаленню конструкцій контейнерів із метою зменшення їх динамічної навантаженості за експлуатаційних режимів, є досить актуальними.

Особливості проектування контейнера ISO розглянуто в роботі [11]. Автори проаналізували основні схеми навантажень контейнера в експлуатації. Також у роботі досліджено опір конструкції впливом зовнішніх навантажень.

Конструкцію контейнера для перевезень плодоовочевої продукції запропоновано в роботі [12]. Наведено результати розрахунку контейнера на міцність та зазначено вимоги до умов його експлуатації. Разом із цим під час проектування таких контейнерів автори не запропонували рішень щодо поліпшення міцності їх стін як одного з найбільш вразливих елементів конструкції.

У статті [10] запропоновано контейнер із пружно-фрикційними складовими в конструкції. Таке вдосконалення сприяє зменшенню навантажень, які впливають на контейнер в експлуатації. Результати математичного моделювання динаміки, а також розрахунки на міц-

ність підтвердили доцільність такого вдосконалення. Однак необхідно сказати, що запропоноване в роботі вдосконалення не сприяє поліпшенню міцності стін контейнера в умовах транспортування, у тому числі залізницею.

Для зменшення динамічних навантажень, які впливають на транспортні засоби, водночас поліпшення їх показників міцності використовують сендвіч-панелі в їх конструкціях. Так, обґрунтування впровадження таких панелей у конструкцію залізничного транспортного засобу наведено в статті [7]. У роботі представлено алгоритм оптимізації несної конструкції транспортного засобу. Результати розрахунків показали, що таке впровадження сприяє зменшенню тари несної конструкції більше ніж на 16 % порівняно з прототипом.

Також використання сендвіч-панелей у конструкції кузова транспортного засобу обґрунтовано в роботах [8, 13]. Дослідження проведені на прикладі залізничного вагона. Таке впровадження можливо здійснювати не тільки під час виготовлення вагонів, а і в разі їх модернізації. Доведено доцільність запропонованого рішення шляхом теоретичних розрахунків на міцність несної конструкції вагона.

Важливо сказати, що автори цих публікацій не приділяли уваги питанню впровадження сендвіч-панелей у зйомні транспортні засоби, зокрема контейнери.

Проведений огляд літературних джерел дозволяє зробити висновок, що питання вдосконалення контейнерів є досить поширеними. Разом із цим поліпшенню їх міцності шляхом упровадження сендвіч-панелей у несні конструкції досі не приділяли належної уваги. У зв'язку з цим виникає необхідність проведення досліджень у зазначеному напрямку.

## Мета

Основною метою дослідження є висвітлення результатів визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей за основних експлуатаційних режимів навантажень. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі задачі:

- визначити товщину металевих листів, які утворюють сендвіч-панель;
- провести визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей у разі поздовжньої навантаженості його конструкції;

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

– провести визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей у разі поперечної навантаженості його конструкції.

## Методика

Для забезпечення міцності несної конструкції контейнера запропоновано виготовити його торцеві та бокові стіни у вигляді сендвіч-панелей (рис. 1). При цьому поліпшення міцності стін контейнера досягається за рахунок зменшення динамічної навантаженості в умовах експлуатаційних режимів. Це у свою чергу сприятиме зменшенню пошкоджень контейнерів, а відповідно, і витрат на їх утримання. Передбачено створення сендвіч-панелей із двох металевих листів, між якими знаходиться наповнювач у вигляді енергопоглинального матеріалу.

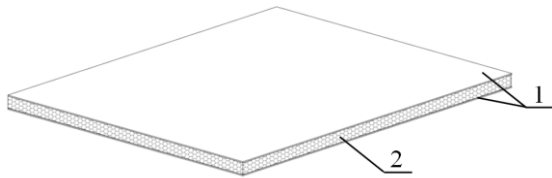


Рис. 1. Сендвіч-панель:  
1 – металевий лист; 2 – наповнювач

Fig. 1. Sandwich panel:  
1 – metal sheet; 2 – filler

Для поліпшення міцності сендвіч-панелі доцільно виготовити металеві листи, які її утворюють, із прямокутними гофрами (рис. 2).



Рис. 2. Переріз металевого листа сендвіч-панелі

Fig. 2. Cross-section of a metal sheet of a sandwich panel

Таке рішення обґрунтоване тим, що лист із прямокутною конфігурацією гофр має більший момент опору порівняно з іншими варіантами його виконання. При цьому сендвіч-панель матиме переріз, наведений на рис. 3.

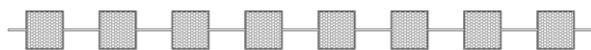


Рис. 3. Переріз сендвіч-панелі стіни контейнера

Fig. 3. Cross-section of the container wall sandwich panel

Тобто сендвіч-панель утворена двома гофрованими листами, а в прошарку, що утворюють гофри, розміщується наповнювач.

Товщину листів визначено за методом Бубнова – Гальборкіна. При цьому лист розглянуто як тонкостінну плиту з відповідними параметрами ширини та висоти. Напруження, які виникають у плиті, визначаються за виразом:

$$\sigma = P \cdot \frac{96}{\pi^4} \cdot \frac{(b^2 + \mu \cdot a^2) \cdot a^2 \cdot b^2}{(a^2 + b^2)^2 \cdot \delta^2}, \quad (1)$$

де  $P$  – тиск, що діє на плиту;  $a$  – ширина плити;  $b$  – висота плити;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;  $\delta$  – товщина плити.

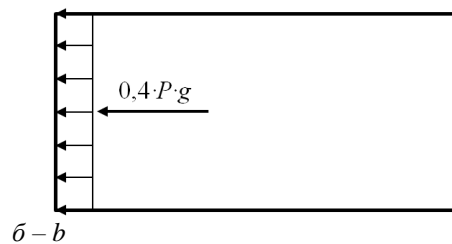
Звідси можна записати:

$$\delta = \sqrt{\frac{P \cdot 96 \cdot (b^2 + \mu \cdot a^2) \cdot a^2 \cdot b^2}{\sigma \cdot \pi^4 \cdot (a^2 + b^2)^2}}. \quad (2)$$

Під час визначення товщини листів сендвіч-панелей, які утворюють стіни контейнера, враховано нормативні схеми його навантажень в експлуатації (рис. 4) [4]. На рис. 4 літерою  $P$  позначено вантажопідйомність контейнера.

Розрахунок здійснено за умови виготовлення листів сендвіч-панелей зі сталі 09Г2С.

$a - a$



$b - b$

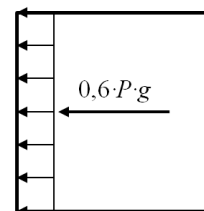


Рис. 4. Навантаження, які сприймає контейнер, розміщений на вагоні-платформі:

$a$  – поздовжні;  $b$  – поперечні

Fig. 4. Loads perceived by the container, placed on a platform car:

$a$  – longitudinal;  $b$  – transverse

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Основні характеристики матеріалу наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Основні характеристики сталі марки 09Г2С**

Table 1

**Main characteristics of steel grade 09G2S**

Назва параметру	Значення
Модуль пружності, МПа	2,1
Коефіцієнт Пуассона	0,28
Масова щільність, кг/м <sup>3</sup>	7 800
Межа міцності, МПа	490
Межа плинності, МПа	345

**Результати**

З урахуванням проведених розрахунків товщина листа бокової обшивки склала 1,6 мм, а торцевої – близько 3,0 мм. Допустимі напруження під час визначення товщини листа бокової стіни взято рівними 210 МПа (III розрахунковий режим), а торцевої – 310,5 МПа (I розрахунковий режим) [3].

Застосування прямокутних гофр можливість зменшити товщину листів торцевої та бокової стін до 1,0 мм.

Для визначення міцності несної конструкції контейнера зі стінами із сендвіч-панелей проведено відповідні розрахунки за методом скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation [2, 6]. Як розрахунковий застосовано критерій Мізеса (IV теорія міцності). Просторову модель контейнера створено в SolidWorks (рис. 5).



Рис. 5. Просторова модель контейнера

Fig. 5. Spatial model of the container

Прозорим кольором на рис. 5 показано несну конструкцію контейнера, а матовим сірим-наповнювач, що знаходиться у стінах. Тобто під час проведення розрахунку на міцність контейнер розглянуто як конструкцію, яка складається з металокаркасу та металевих листів, що утворюють сендвіч-панель, а також наповнювача. При цьому наповнювач змодельовано постановкою прямокутних елементів із відповідними фізико-механічними властивостями в прошарок, який утворюють гофри листів.

Як наповнювач застосовано піноалюміній – один із найбільш поширених типів енергопоглинальних матеріалів, що знайшов використання в сучасному машинобудуванні [9]. Основні характеристики матеріалу наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Основні характеристики наповнювача**

Table 2

**Main characteristics of the filler**

Назва параметру	Значення
Модуль пружності, МПа	$2,42 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона	0,394
Модуль зсуву, МПа	318,9
Межа міцності в напрямку волокон, МПа	1 100 – 1 300
Межа міцності в поперечному напрямку волокон, МПа	650

Як скінченні елементи використано просторові ізопараметричні тетраедри. Оптимальну кількість елементів визначено за графоаналітичним методом. Кількість вузлів сітки склала 7 1701, елементів – 223 937. Максимальний розмір елементу дорівнює 80 мм, мінімальний – 16 мм. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. Скінченно-елементу модель контейнера наведено на рис. 6. У місцях округлень та спряжень складових контейнера здійснено автоматичне ущільнення сітки.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

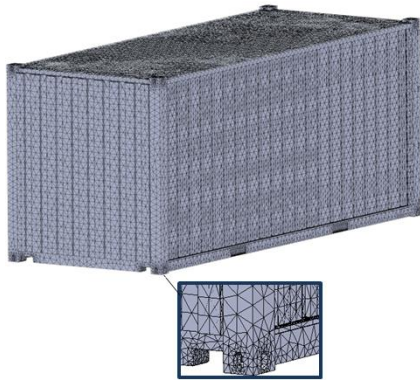


Рис. 6. Скінченно-елементна модель контейнера

Fig. 6. Finite element model of the container

Визначення міцності контейнера за поздовжньої навантаженості проведено за умови розміщення його на вагоні-платформі.

Під час складання розрахункової схеми враховано, що на несну конструкцію впливає вертикальне навантаження  $P_v$  з урахуванням використання повної вантажопідйомності контейнера, поздовжня сила  $P_n$ , прикладена до фітингів, а також тиск розпору насипного вантажу  $P_p$  (зерно) на бокові та торцеві стіни (рис. 7). Тиск розпору насипного вантажу розраховано за методикою, наведеною у [5].

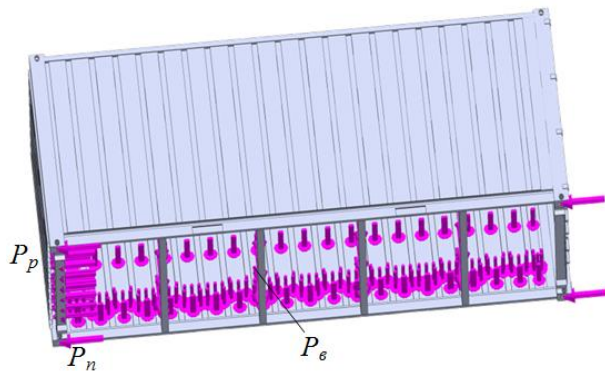


Рис. 7. Розрахункова схема контейнера

Fig. 7. Design scheme of the container

Закріплення моделі здійснено за фітинги.

За результатами проведених розрахунків установено, що максимальні напруження виникають у фітингах контейнера і складають 268,3 МПа (рис. 8), що нижче за допустимі на 13,6 %. У зонах взаємодії торцевих стін із кутковою стійкою контейнера напруження склали близько 215 МПа.

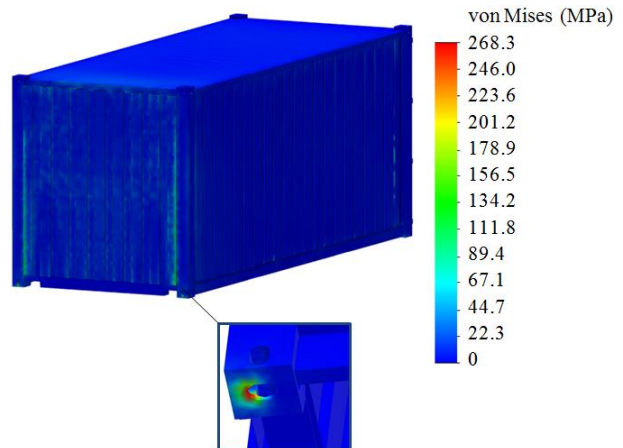


Рис. 8. Напружений стан контейнера

Fig. 8. Stressed state of the container

Максимальні переміщення зафіксовані в нижній частині торцевої стіни контейнера і склали 2,6 мм (рис. 9).

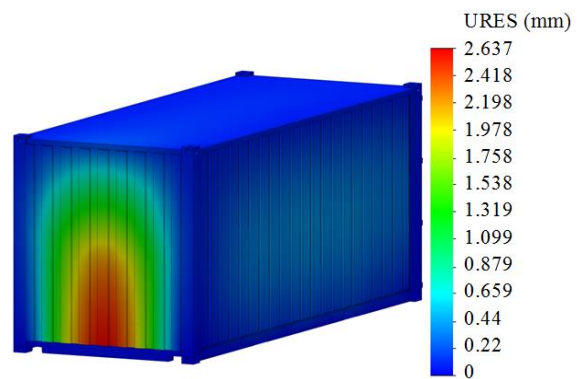


Рис. 9. Переміщення у вузлах контейнера

Fig. 9. Movement in container nodes

Також розрахунок на міцність проведено за навантаження бокової стіни контейнера відповідно до схеми, наведеної на рис. 4, б). Результати розрахунку представлено на рис. 10, 11. Максимальні напруження в контейнері зафіксовані в зонах взаємодії бокової стіни з кутковими стійками і склали 178 МПа (рис. 10), що на 15,2 % нижче за допустимі.

Максимальні переміщення виникають у середній частині бокової стіни і дорівнюють 3,1 мм (рис. 11). Отже, міцність контейнера забезпечується.



## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

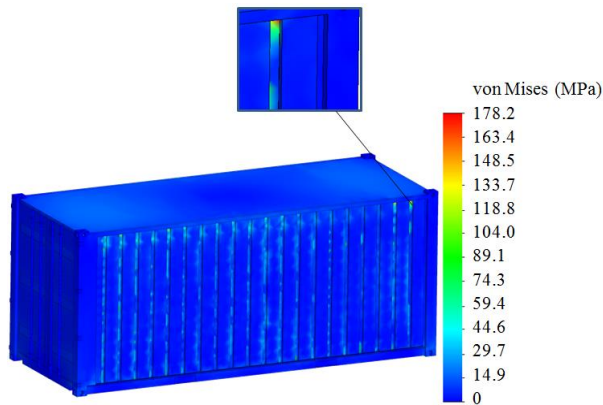


Рис. 10. Напружений стан контейнера

Fig. 10. Stressed state of the container

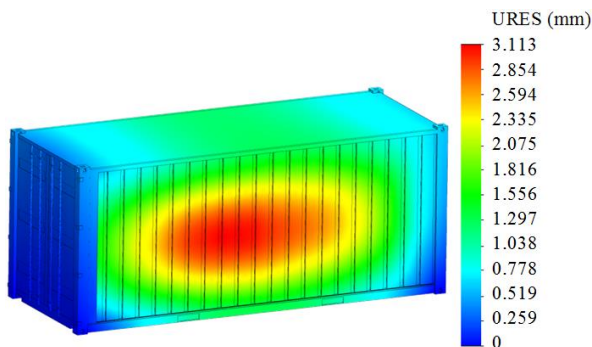


Рис. 11. Переміщення в вузлах контейнера

Fig. 11. Movement in container nodes

### Наукова новизна та практична значимість

Науково обґрунтовано використання сендвіч-панелей як стін контейнера.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучас-

них конструкцій транспортних засобів модульного типу та підвищенню ефективності функціонування транспортної галузі.

### Висновки

1. Визначено товщину металевих листів, які утворюють сендвіч-панель, із використанням методу Бубнова – Гальоркіна. Товщина листа бокової обшивки стін контейнера склала 1,6 мм, а торцевої – близько 3,0 мм. Важливо сказати, що застосування прямокутних гофр дає можливість зменшити товщину листа торцевої стіни до 1,0 мм. Такою ж узятю і товщину листа бокової стіни.

2. Проведено визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей за поздовжньої навантаженості його конструкції. Максимальні напруження при цьому виникають у фітингах контейнера і складають 268,3 МПа, що нижче за допустимі на 13,6 %. У місцях сполучення торцевих стін із кутовою стійкою контейнера напруження склали близько 215 МПа.

Максимальні переміщення спостерігають в нижній частині торцевої стіни контейнера, вони склали 2,6 мм.

3. Проведено визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей за поперечної навантаженості його конструкції. Максимальні напруження при цьому виявлено в місцях сполучення бокової стіни з кутовими стійками. Чисельне значення цих напружень склало 178 МПа, що на 15,2 % нижче за допустимі. Максимальні ж переміщення спостерігаються в середній частині бокової стіни, вони становлять 3,1 мм. Таким чином, міцність контейнера забезпечується.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Краснокутський Є. С. Математичне моделювання вертикальної навантаженості контейнера типу хопер, розміщеного на довгобазній конструкції вагона-платформи. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2022. № 1. С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2022.1.264323>
2. Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Мямлін С. С., Павлюченков М. В. Дослідження навантаженості зйомного модуля для довгомірних вантажів при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2022. № 1. С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2022.1.264322>
3. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
4. ДСТУ ISO 8323:2015. Вантажні контейнери. Контейнери універсальні (інтермодальні) для повітряних і наземних перевезень. Технічні умови та методи випробувань. [Чинний від 2016-01-01]. Київ, 2015.

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

5. Ловська А. О. Визначення зусиль розпору насипного вантажу на стіни кузова напіввагону при перевезенні залізничним поромом. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2014. Вип. 143. С. 54–57.
6. Ловська А. Оцінка динамічних зусиль на кузова вагонів при перевезенні залізничними поромами. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Том 3, № 4 (69). С. 36–41.  
DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>
7. Al-Sukhon A., ElSayed M. S. Design optimization of hopper cars employing functionally graded honeycomb sandwich panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2021. Vol. 236. Issue 8. P. 920–935. DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097211049640>
8. Chuan-jin O., Bing-tao L. Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 145. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014502001>
9. Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials*. 2021. Vol. 14. Iss. 12. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
10. Fomin O., Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes. *Applied Science*. 2021. Vol. 11. Iss. 16. P. 1–13.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/app11167623>
11. Giriunas K., Sezen H., Dupaix, R. B. Evaluation, modeling, and analysis of shipping container building structures. *Engineering Structures*. 2012. Vol. 43. P. 48–57.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.05.001>
12. Khadjimukhametova M. A., Merganov A. M. 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. Iss. 5. P. 252–256. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijrte.e4856.018520>
13. Płaczek M., Wróbel A., Olesiejuk M. Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 112. P. 1–6.  
DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711206022>

G. L. VATULIA<sup>1</sup>, A. O. LOVSKA<sup>2\*</sup>, YE. S. KRASNOKUTSKYI<sup>3</sup>, P. V. RUKAVISHNIKOV<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Educational and Scientific Institute of Construction and Civil Engineering, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Marshala Bazhanova St., 17, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. +38 (097) 560 91 30, e-mail [glib.vatulia@kname.edu.ua](mailto:glib.vatulia@kname.edu.ua), ORCID 0000-0002-3823-7201

<sup>2\*</sup>Dep. «Wagon Engineering and Product Quality», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail [alyonalovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonalovskaya.vagons@gmail.com), ORCID 0000-0002-8604-1764

<sup>3</sup>Branch «Scientific Research and Design Technological Institute of Railway Transport» Joint stock company «Ukrzaliznytsia», Jerzy Giedroyc St., 5, Kyiv, Ukraine, 03150, tel. +38(044) 309 61 36, e-mail [ek1520mm@gmail.com](mailto:ek1520mm@gmail.com), ORCID 0000-0001-6978-4489

<sup>4</sup>Dep. «Heat Engineering, Heat Engines and Energy Management», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 21, e-mail [Rukavishnikov@kart.edu.ua](mailto:Rukavishnikov@kart.edu.ua), ORCID 0000-0002-9670-3071

## Determination of the Strength of a Container with Sandwich Panel Walls under Operational Loading Conditions

**Purpose.** The main purpose of this work is to present the results of determining the strength of a container with sandwich panel walls under the main operating modes of loading. **Methodology.** To ensure the strength of the bearing structure of the container, it is proposed to make its end and side walls from sandwich panels. This involves the creation of sandwich panels from two metal sheets, between which there is a filler in the form of an energy-absorbing material. The thickness of the sandwich panel sheets is determined by the Bubnov-Galerkin method. The sheet is considered as a thin-walled plate with the corresponding width and height parameters. To determine the strength of the load-bearing structure of a container with sandwich panel walls, the corresponding calculations were performed using the finite element method in the SolidWorks Simulation software package. The Mises criterion (IV theory of strength) was used as a calculation criterion. The spatial model of the container was created in SolidWorks. **Findings.** Taking into account the calculations, the rational thickness of the sheets, in terms of strength, of the side and end walls was established, which was 1.6 and about 3.0 mm, respectively. It is important that the use of rectangular corrugations makes it possible to reduce the thickness of the end wall sheet to 1.0 mm. The thickness of the side wall sheet is the same. The maximum stresses in the container in the case of its longitudinal loading occur in

## РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

the fittings and amount to 268.3 MPa, which is 13.6 % lower than the permissible ones. The maximum stresses in the container under transverse loading were recorded in the areas of interaction between the side wall and the corner posts. The numerical value of these stresses was 178 MPa, which is 15.2 % lower than the permissible ones. **Originality.** The paper scientifically substantiates the use of sandwich panels as the walls of a uni-versal container. **Practical value.** The research will contribute to the creation of recommendations for the design of modern modular-type vehicle structures and improve the efficiency of the transport industry.

**Keywords:** ISO container; sandwich panel; container load; container strength; container transportation

## REFERENCES

1. Vatulia, G., Lovska, A., & Krasnokutskiy, Y. (2022). Mathematical modeling of the vertical load of a hopper-type container placed on a long-base structure of a platform car. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Dynamics and Strength of Machines, 1*, 34-39. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2022.1.264323> (in Ukrainian)
2. Vatulia, G., Lovska, A., Myamlin, S., & Pavliuchenkov, M. (2022). Research into the loading of a removable module for transportation of long freight in a combined train by the train ferry. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Dynamics and Strength of Machines, 1*, 27-33. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2022.1.264322> (in Ukrainian)
3. *Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nasamohidnih), 250 DSTU 7598:2014* (2015). (in Ukrainian)
4. *Vantazhni konteynery. Konteynery universalni (intermodalni) dlia povitrianykh i nazemnykh perevezhen. Tekhnichni umovy ta metody vyprobuvan, DSTU ISO 8323:2015* (2015). (in Ukrainian)
5. Lovska, A. O. (2014). Vznachennya zusal rozporu nasipnogo vantazhu na stini kuzova napivvagonu pri perevezenni zaliznichnim poromom. *Zbirnik naukovih prats UkrDAZT, 143*, 54-57. (in Ukrainian)
6. Lovskaya, A. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3*(4(69)), 36-41. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997> (in Ukrainian)
7. Al-Sukhon, A., & ElSayed, M. S. (2021). Design optimization of hopper cars employing functionally graded honeycomb sandwich panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 236*(8), 920-935. DOI: <https://doi.org/10.1177/09544097211049640> (in English)
8. Chuan-jin, O., & Bing-tao, L. (2020). Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences, 145*, 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014> (in English)
9. Fomin, O., Gorbunov, M., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., & Kravchenko, K. (2021). Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials, 14*(12), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14123420> (in English)
10. Fomin, O., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., & Kravchenko, K. (2021). Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes. *Applied Sciences, 11*(16), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11167623> (in English)
11. Giriunas, K., Sezen, H., & Dupaix, R. B. (2012). Evaluation, modeling, and analysis of shipping container building structures. *Engineering Structures, 43*, 48-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.05.001> (in English)
12. Khadjimukhametova, M. A., & Merganov, A. M. (2020). 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), 8*(5), 252-256. DOI: <https://doi.org/10.35940/ijrte.e4856.018520> (in English)
13. Płaczek, M., Wróbel, A., & Olesiejuk, M. (2017). Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. *MATEC Web of Conferences, 112*, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711206022> (in English)

Надійшла до редколегії: 03.11.2023

Прийнята до друку: 06.03.2024