

УДК 629.463.62:656.073.235:656.66

*Старш. викл. А.О. Ловська*

*Sen. lecturer A.A. Lovskaya*

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ МІЦНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ  
УНІВЕРСАЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРІВ ЗА УМОВИ РОЗМІЩЕННЯ НА  
ВАГОНАХ-ПЛАТФОРМАХ ПРИ ЇХ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ  
ПОРОМАХ**

**THE ORETICAL ESTIMATION OF VERSATILE CONTAINER STRENGTH  
UNDER THE CONDITION OF THEIR ALLOCATION ON FLAT CARS  
WHILE TRANSPORTING THEM ON RAILWAY FERRIES**

*Представив д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов*

**Постановка проблеми.** Зростання ефективності експлуатації контейнерів у напрямку міжнародних транспортних коридорів (МТК) прогнозує їх перевезення

вагонами-платформами (ВПФ) через залізничні поромні маршрути України з Грузією та Туреччиною [1]. У зв'язку з цим постає питання необхідності забезпечення

технічної адаптації ВПФ до перевезень контейнерів залізничними поромами (ЗП) морем, а також міцності несучих конструкцій контейнерів при закріпленні їх на ВПФ.

**Мета статті.** Теоретичне оцінювання міцності та стійкості універсальних контейнерів за умови розміщення на вагонах-платформах при їх перевезенні на залізничних поромах.

**Викладення основного матеріалу статті.** Для забезпечення безпеки руху ВПФ, завантажених контейнерами, морем на кафедрі «Вагони» УкрДАЗТ проведено наукове обґрунтування та удосконалено несучу конструкцію універсальної ВПФ до надійного перевезення ЗП. Оскільки, в даному випадку, контейнер є складовою комбінованої системи «ЗП – ВПФ – контейнер», то необхідним є оцінювання міцності та стійкості універсальних контейнерів за умови розміщення на ВПФ при їх перевезенні на залізничних поромах.

Для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) контейнера як знімної кузовної одиниці при розміщенні його на переобладнаній за проектом модернізації ВПФ (Проект НВЦ «Вагони» Дооборудование платформ модели 13-401

под перевозку контейнеров по 401М.00.00.000), яка розташована на верхній палубі ЗП, оскільки там зосереджені максимальні інерційні навантаження в умовах морського хвилювання, було розроблено його просторову модель. В цілому конструкційно каркас контейнера, наприклад типорозміру 1СС (рис. 1), складається з верхньої та нижньої рам та стояків. Із зовнішнього боку каркас обшитий гофрованою сталлю товщиною 1,5 мм, з кроком гофрів 150 мм та висотою 12 мм. Нижня рама контейнера має зварну конструкцію, збирається з двох повздовжніх та поперечних балок, виконаних зі швелера № 6,5. Верхня рама також зварна та складається з двох повздовжніх та поперечних балок, які виконані з кутика 50x50x5 мм. Місця з'єднання повздовжніх та поперечних балок технологічно посилені косинками. Зверху ця рама покрита листовою сталлю товщиною 1,5 мм. Металевий лист, який утворює дах контейнера, приварений до повздовжніх та поперечних кутиків верхньої рами. Підлога контейнера виготовлена з дощок товщиною 25 – 27 мм [2-4].



Рис. 1. Контейнер типорозміру 1СС (зовнішній вигляд)

При побудові просторової моделі (3D) до основної уваги було взято елементи реальної конструкції контейнера, які жорстко взаємодіють поміж собою, а торцеві двері було замінено стіною, еквівалентної жорсткості, оскільки вона

суттєво не впливає на міцність в умовах кутових переміщень ЗП навколо повздовжньої осі (рис. 2). Також при побудові моделі не враховувалася дерев'яна підлога.

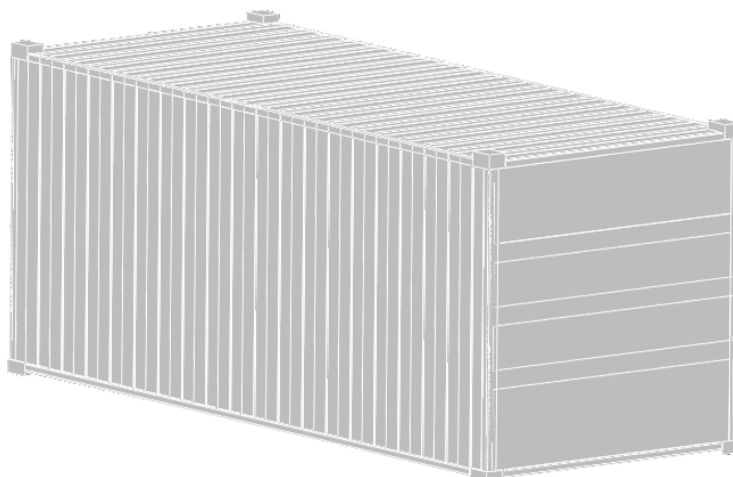


Рис. 2. Просторова модель контейнера типорозміру 1СС

При складанні моделі міцності контейнера у цих умовах до уваги було взято випадок кутових переміщень ЗП навколо повздовжньої осі (крен), оскільки дане переміщення найбільше впливає на напружений стан та стійкість ВПФ з контейнерами, які розміщені на ній. При цьому на контейнер будуть діяти такі навантаження:

1) вертикально-статичне, що обумовлене масою тари контейнера та його вантажопідйомністю;

2) інерційне, яке виникає внаслідок кутових переміщень ВПФ відносно початкового положення;

3) вітрове.

Обмеженнями даної моделі міцності є відсутність переміщень контейнерів відносно несучої конструкції ВПФ, а також повздовжніх зусиль від автозчепного пристрою.

Розрахунковою функцією моделі є отримання показників міцності контейнера

при розміщенні його на ВПФ, що розташована на верхній палубі ЗП в умовах морського хвилювання.

Модель міцності контейнера наведена на рис. 3.

Схему прикладення навантажень, які діють на контейнер через фітинг, наведено на рис. 4. Враховано, що вертикально-статичне навантаження буде передаватися на ВПФ через чотири точки опори контейнера на ВПФ (кутові фітинги контейнера), при кутових переміщеннях контейнера відносно повздовжньої осі в зонах взаємодії його з фітинговими упорами ВПФ буде виникати додаткове зусилля, обумовлене результуючою горизонтального навантаження (інерційне та вітрове).

Для визначення зв'язків у зонах обпирання контейнера на фітингові упори ВПФ необхідним є дослідження можливих переміщень його в горизонтальній площині.

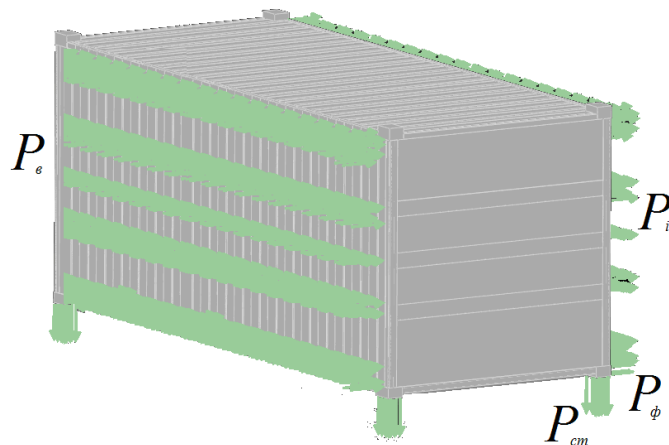


Рис. 3. Модель міцності контейнера:

$P_{ст}$  – вертикальне статичне навантаження;  $P_{\epsilon}$  – вітрове зусилля, яке діє на контейнер;  $P_i$  – інерційне зусилля;  $P_{\phi}$  – зусилля, яке діє на контейнер через фітинги при кутових переміщеннях ВПФ навколо поперечної осі

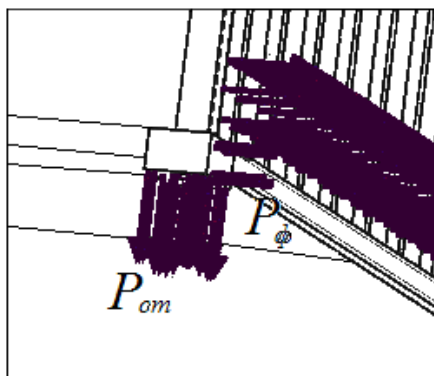


Рис. 4. Схема прикладення навантажень, які діють на контейнер через фітинг (фрагмент)

Нерухомість контейнера від горизонтальних (поперечних) переміщень буде забезпечуватися у випадку виконання умови

$$F_{тр} > P_2, (1)$$

де  $F_{тр}$  – сила тертя, яка виникає між горизонтальною площиною фітинга контейнера та плитою фітингового упора, розміщеного на ВПФ, кН;

$P_2$  – результуюча горизонтального навантаження, до складу якого входить сила інерції, яка діє на контейнер в умовах

кутових переміщень навколо поперечної осі та вітрове навантаження, що діє на бокову стіну контейнера, кН.

Сила тертя буде визначатися таким чином:

$$F_{тр} = P_{\epsilon}^{ст} \cdot \mu, (2)$$

де  $P_{\epsilon}^{ст}$  – вертикально-статичне навантаження, яке діє на контейнер, кН;

$\mu$  – коефіцієнт тертя, який виникає між горизонтальною площиною фітинга контейнера та плитою фітингового упора (для пари тертя “сталь – сталь”  $\mu = 0,03 \div 0,09$ ).

Дане навантаження буде зосереджене між зонами обпирання контейнера на ВПФ.

Результуюча горизонтального навантаження буде складати:

$$P_z = P_i + P_g, \quad (3)$$

де  $P_i$  – сила інерції, яка діє на контейнер в умовах кутових переміщень навколо повздовжньої осі, кН;

$P_g$  – вітрове навантаження, що діє на бокову стіну контейнера, кН.

Дане зусилля буде діяти на контейнер через внутрішні з боку нахилу фітинги.

Числові значення отриманих величин занесені до табл. 1.

Таблиця 1

Навантаження, які діють на контейнер в зонах обпирання на фітингові упори ВПФ

Загальна сила тертя $F_{mp}$ , яка виникає між горизонтальною площиною фітинга контейнера та плитою фітингового упора, розміщеного на ВПФ, кН	Сила тертя $F_{mp}^{fim}$ , яка виникає між горизонтальною площиною фітинга контейнера та плитою фітингового упора, розміщеного на ВПФ, кН	Загальна величина результуючого горизонтального навантаження $P_z$ , яке діє на контейнер, кН	Величина результуючого горизонтального навантаження $P_z^{fim}$ , яке діє на контейнер через фітинговий упор, кН
13,81	3,5	82,38	41,2

Тобто  $F_{mp} < P_z$  та нерухомість контейнера від переміщень в горизонтальній площині забезпечуватися не буде.

Тому у зонах обпирання контейнера на ВПФ були встановлені додаткові зв'язки, які імітувалися жорстким защемленням, оскільки маса бруто у порівнянні з площиною обпирання на фітинги має набагато більшу величину. Тобто до уваги було взято випадок, коли внутрішня поверхня фітинга контейнера буде взаємодіяти з вертикальною частиною фітингового упора ВПФ. При складанні моделі міцності контейнера було прийнято припущення, що він завантажений до повної вантажопідйомності умовним вантажем. Розрахункові значення зусиль, які діють на контейнер, наведені в табл. 2. Розрахунок на міцність проведений за методом скінчених елементів [5, 6]. Кількість вузлових точок сітки визначалася

на підставі графоаналітичного методу. Як елементи сітки були використані десятивузлові ізопараметричні тетраедри [7].

На підставі проведених розрахунків зроблено висновок, що напруження в конструкції контейнера перевищують припустимі у випадку розміщення його на ВПФ, що розташована на крайній від фальшборта колії ЗП, та складають понад 400 МПа. Максимальні еквівалентні деформації в конструкції контейнера становлять  $3,3 \cdot 10^{-6}$ , переміщення у вузлах – 3,4 мм. Запасу міцності конструкції не існує. У випадку розміщення контейнера на ВПФ, що розташована на другій та третій від фальшборта коліях, міцність його забезпечується.

Максимальні еквівалентні напруження в конструкції контейнера наведено на рис. 5.

Таблиця 2

Зусилля, які діють на контейнер типорозміру 1СС, вагою бруто 24 т при розміщенні його на ВПФ, що розташована на верхній палубі ЗП в умовах морського хвилювання

Вид хитавиці	Зусилля, які діють на контейнер типорозміру 1СС			
	Вертикальне статичне навантаження через фітинг, кН	Сили інерції, які діють на контейнер, кН	Вітрове навантаження, яке діє на контейнер, кН	Зусилля, яке діє на контейнер через фітинг, кН
Бортова	57,5	50,4	23,1	36,75

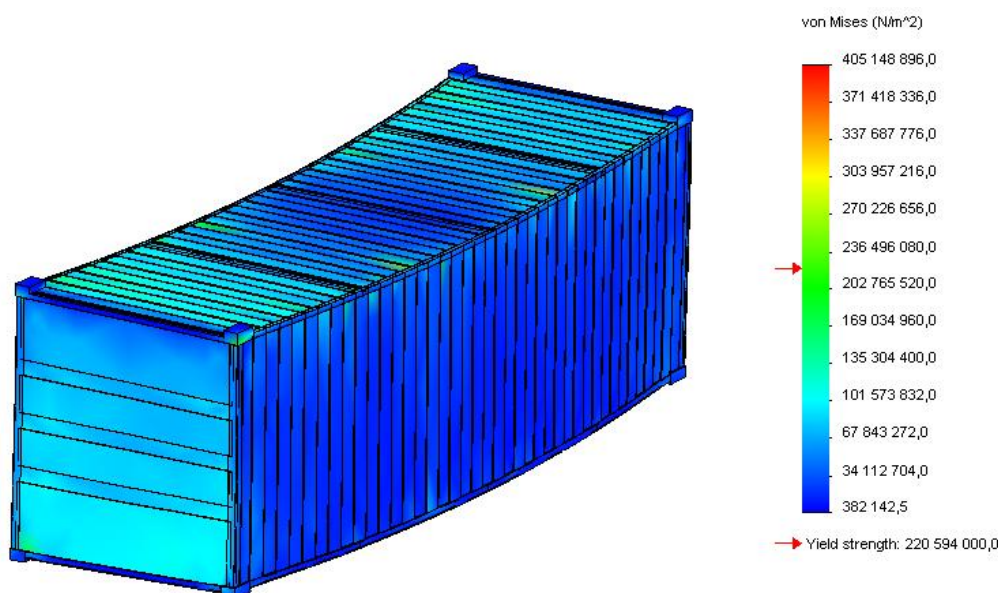


Рис. 5. Напружений стан контейнера типорозміру 1СС

**Висновки:**

1. Проведені дослідження міцності несучої конструкції універсального контейнера при закріпленні його на ВПФ удосконаленої конструкції показали, що максимальні еквівалентні напруження не перевищують припустимі у випадку її розташування на другій від фальшборта та середній коліях ЗП;

2. Дослідження стійкості контейнера відносно рами ВПФ показали, що за існуючих умов закріплення контейнера на

ВПФ, яка розташована на крайній від фальшборта колії, стійкість контейнера проти перекидання не забезпечується, що може стати причиною порушення стійкості механічної системи “ВПФ – ЗП” у цілому. Тому пропонується, у випадку прямування ЗП морем в умовах “великих” кутів крену (більше 10<sup>0</sup>) не розміщувати ВПФ, завантажені контейнерами на крайніх від фальшборта коліях.

*Список літератури*

1. Контейнерный поезд “Викинг” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.portofklaipeda.lt/kontejnernyj-poezd-viking>.
2. Контейнеры универсальные. Типы, основные параметры и размеры: ГОСТ 18477-79. – [Действителен от 11.2004]. – М.: ИПК стандартов, 2004. – 11 с.
3. Контейнеры универсальные. Общие технические условия [Текст]: ГОСТ 20259-80. – [Действителен от 07.2002]. – М.: ИПК стандартов, 2002. – 17 с.
4. Фитинги угловые крупнотоннажных контейнеров. Конструкция и размеры [Текст]: ГОСТ 20527-82. – [Действителен от 26.10.2004]. – М.: ИПК стандартов, 2004. – 9 с.
5. Вершинский, С.В. Расчет вагонов на прочность [Текст] / С.В. Вершинский [и др.]. – М.: Машиностроение, 1971. – 432 с.
6. Галлагер, Р. Метод конечных элементов [Текст] / Р. Галлагер. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
7. Алямовский, А.А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А.А. Алямовский – М.: ДМК, 2007. – 784 с.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, безпека перевезення контейнерів.

*Анотації*

Досліджено напружено-деформований стан несучої конструкції контейнера за умови розміщення на вагоні-платформі при перевезенні на залізничному поромі. Запропоновано заходи щодо забезпечення безпеки перевезення контейнерів вагонами-платформами в міжнародному залізнично-поромному сполученні.

Исследовано напряженно-деформированное состояние несущей конструкции контейнера при условии размещения на вагоне-платформе при перевозке на железнодорожном пароме. Предложены мероприятия по обеспечению безопасности перевозки контейнеров вагонами-платформами в международном железнодорожно-паромном сообщении.

Deflected mode of a bearing structure of a container under the condition of its allocation on a flat car while transporting by a railway ferry has been studied. Measures to provide safety of container transportation by flat car in the international railway-ferry communication have been proposed.