

УДК 629.463.004.4:656.211.7

**А. О. ЛОВСЬКА****ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ КОНТЕЙНЕРІВ У СКЛАДІ КОМБІНОВАНИХ ПОЇЗДІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ**

В статті проводиться дослідження міцності несучої конструкції контейнера типорозміру 1СС у складі комбінованого поїзду при перевезенні залізничним поромом. Отримано уточнені значення прискорень, які діють на несучу конструкцію контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при перевезенні залізничним поромом. Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні несучих конструкцій контейнерів нового покоління, а також сприятимуть підвищенню ефективності комбінованих перевезень в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

**Ключові слова:** контейнер; несуча конструкція; динаміка; моделювання; міцність; залізнично-поромні перевезення.

**А. А. ЛОВСКАЯ****ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КОНТЕЙНЕРОВ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОЕЗДОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПАРОМОМ**

В статье проводится исследование прочности несущей конструкции контейнера в составе комбинированного поезда при перевозке железнодорожным паромом. Получены уточненные значения ускорений, которые действуют на несущую конструкцию контейнера, размещенного на вагоне-платформе при перевозке железнодорожным паромом. Результаты проведенных исследований могут использоваться при проектировании несущих конструкций контейнеров нового поколения, а также будут способствовать повышению эффективности комбинированных перевозок в направлении международных транспортных коридоров.

**Ключевые слова:** контейнер; несущая конструкция; динамика; моделирование; прочность; железнодорожно-паромные перевозки.

**А. О. LOVSKA****DETERMINATION OF STRENGTH OF SUPPORT STRUCTURES OF CONTAINERS IN MIXED TRAINS WHEN TRANSPORTING BY TRAIN FERRY**

The study is aimed at determination of strength of support structures of containers in mixed trains when transporting by train ferry. Thus, the refined values of accelerations influencing the support structure of containers located on the flat wagon while transporting by train ferry were obtained. The results of the investigation can be applied for designing support structures of new generation containers, besides they may improve the efficiency of mixed transportation along international transport corridors.

**Key words:** container; support structure; dynamics; modeling; strength; railway ferry transportations.

**Вступ.** Розвиток зовнішньоекономічних зв'язків України з іншими державами зумовлює необхідність введення в експлуатацію комбінованих транспортних систем. Можливість виходу України в міжнародне сполучення через акваторії Чорного та Азовського морів сприяли виникненню залізнично-поромних перевезень, які успішно функціонують на Україні ще з 1954 р. на прикладі першого залізнично-поромного маршруту між Таманню та Керчу.

На сьогоднішній день залізнично-поромні маршрути сполучають Україну з Болгарією, Грузією та Туреччиною. Один з останніх таких маршрутів пов'язав між собою країни Європи та Азії, коли перший поїзд комбінованого транспорту перетнув акваторію Чорного моря на залізничному поромі і прослідував у Китай.

Для забезпечення безпеки перевезень поїздів комбінованого транспорту на залізничних поромах морем необхідним є проведення досліджень щодо динамічної навантаженості і стійкості контейнерів відносно рам вагонів-платформ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструкційні особливості контейнерів-цистерн для перевезення скраплених газів розглянуто у [1]. У якості матеріалу несучої конструкції контейнера використовується нержавіюча сталь. Для обмеження теплового впливу від навколишнього середовища на

контейнер запропоновано його інкапсуляцію ізоляційною системою.

Дослідження міцності контейнера-цистерни моделі ТК25 та оптимізація його несучої конструкції наведені в [2, 3]. При складанні моделі міцності контейнера-цистерни враховані нормативні величини навантажень, наведені в [4].

Дослідження передачі теплового потоку через внутрішні опори циліндричних посудів на прикладі контейнера-цистерни розглянуті у [5]. В статті наведено симуляцію теплового потоку через багатопшарову опору, виконану з пластику.

В [6] наведені результати оптимізації конструкції контейнера-цистерни. Обґрунтовано доцільність проектування та впровадження в експлуатацію контейнерів-цистерн, як транспортних засобів. Розроблено удосконалену конструкцію контейнера-цистерни для перевезення світлих нафтопродуктів.

Випробування металевих та композитних контейнерів під впливом низьких температур наведені у [7]. Визначено, які типи контейнерів доцільно використовувати для перевезення завданої номенклатури вантажів з урахуванням низької температури навколишнього середовища.

Питання щодо створення ідеальних несучих конструкцій залізничних транспортних засобів та вимоги, яким вони повинні відповідати на сучасному

© А. О. Ловська, 2018

етапі розвитку висвітлені у [8, 9].

Важливо зазначити, що у розглянутих працях не приділялося уваги питанням дослідження динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій контейнерів у складі поїздів комбінованого транспорту при перевезенні залізничним поромом.

**Мета статті.** Метою досліджень, які наведені в статті є дослідження міцності несучих конструкцій контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. Для досягнення поставленої мети виділені наступні задачі:

1. Визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію контейнера при перевезенні у складі комбінованого поїзду на залізничному поромі;

2. Визначення показників міцності несучої конструкції контейнера при перевезенні у складі комбінованого поїзду на залізничному поромі.

**Викладення основного матеріалу статті.** З метою визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію контейнера у складі комбінованого поїзда при перевезенні на залізничному поромі проведено математичне моделювання за допомогою метода Лагранжа II роду [10].

До уваги прийняті кутові переміщення залізничного порому відносно повздовжньої осі (крен), як випадку найбільшої навантаженості несучої конструкції (еквівалент коливань бічна хитавиця в динаміці вагонів), а також впливу на стійкість контейнерів відносно рами вагона-платформи (рис. 1). При складанні рівнянь руху розглянуті три схеми взаємодії контейнера з вагоном-платформом, розміщеного на палубі залізничного порому:

1) відсутність переміщень вагона-платформи та контейнерів відносно початкового положення при коливаннях залізничного порому;

2) наявність переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому з урахуванням нерухомості контейнерів відносно рами вагона-платформи;

3) наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому «Герои Шипки», що рухається акваторією Чорного моря. В якості базової моделі вагона-платформи обрана модель 13-4012, а контейнера – модель 1СС, масою брутто 24 т.

Ударна дія морських хвиль на корпус залізничного порому з вагонами, розміщеними на його борту до уваги не приймалася. При складанні моделі враховано трохіодальний закон руху збурюючої дії (морської хвилі) на залізничний пором з вагонами, розміщеними на його палубах та дисипативну складову, яка виникає при коливаннях залізничного порому в умовах морської хитавиці, а також курсові кути морської хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому та вітрове навантаження, що діє на надводну проекцію залізничного порому, вагона-платформи, розміщеного на верхній палубі та контейнерів.

Для дослідження динамічної навантаженості контейнерів при першій розрахунковій схемі складено математичну модель, що характеризується рівнянням (1).

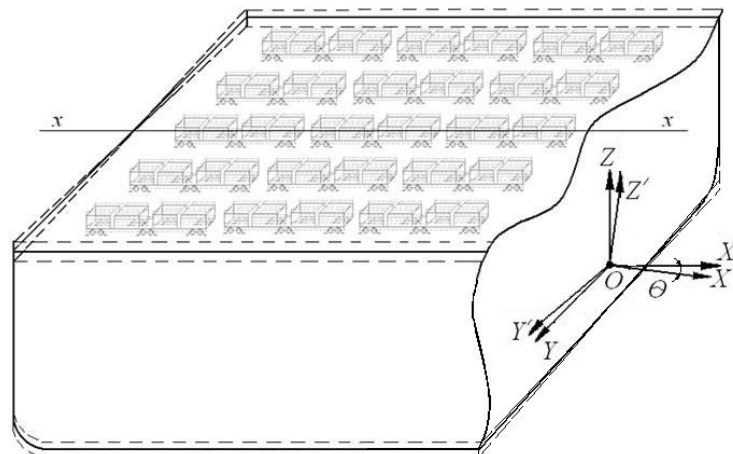


Рис. 1. Схема кутових переміщень відносно повздовжньої осі залізничного порому, завантаженого вагонами-платформами з контейнерами

$$\left( \frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_s^2) \right) \ddot{q} + \left( \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q} = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де  $q = \theta$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню відносно повздовжньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас

залізничного порому;

$D$  – вагове водовитіснення;  $B$  – ширина залізничного порому;  $h$  – висота борта залізничного порому;  $\Lambda_\theta$  –

коефіцієнт опору коливанням;  $z_g$  – координата центру ваги залізничного порому;  $p'$  – вітрове навантаження;  $F(t)$  – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах.

Початкове переміщення та швидкість залізничного порому прийняті рівними нулю. Вхідні параметри математичної моделі: геометричні характеристики залізничного порому, гідрометеорологічні характеристики акваторії Чорного моря, координати розміщення вагонів відносно центру коливань залізничного порому.

Для дослідження динамічної навантаженості контейнерів при другій розрахунковій схемі складено математичну модель, що характеризується рівняннями (2-3).

$$\begin{cases} \left( \frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left( \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_\theta^{ВПФ} \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^\Pi, \end{cases} \quad (2)$$

де  $q_1 = \theta_1$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому відносно повздовжньої осі;  $q_2 = \theta_2$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню вагона-платформи з контейнерами відносно повздовжньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому;  $I_\theta^{ВПФ}$  – момент інерції вагона-платформи з контейнерами відносно повздовжньої осі;  $p'_{ВПФ}$  – вітрове навантаження на бокову проекцію вагона-платформи з контейнерами, розміщеного на верхній

Перше рівняння математичної моделі характеризує переміщення залізничного порому в умовах хвилювання моря, а друге – вагона-платформи з контейнерами відносно палуби.

Початкове переміщення та швидкість залізничного порому прийняті рівними нулю, для вагона-платформи з контейнерами початкове переміщення визначено можливою податливістю його вузлів відносно палуби (буксовий вузол відносно осі колісної пари, рама візка відносно осі буксового вузла, фрикційний клин відносно середини боковини, надресорна балка відносно фрикційного клина, п'ятник по підп'ятнику [11, 12]) та склало 31 мм. Початкова швидкість прийнята рівною нулю.

палубі залізничного порому;  $h_{ВПФ}$  – висота бокової проекції вагона-платформи з контейнерами;  $M_{ВПФ}^\Pi$  – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою залізничного порому при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі.

Для дослідження динамічної навантаженості контейнерів при третій розрахунковій схемі складено математичну модель, що характеризується рівняннями (4-6).

$$\begin{cases} \left( \frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left( \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{ВП} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \\ I_{ВПФ}^\theta \cdot \ddot{q}_2 = p'_{ВПФ} \cdot \frac{h_{ВПФ}}{2} + M_{ВПФ}^\Pi + M_{ВПФ}^K, \\ I_K^\theta \cdot \ddot{q}_3 = p'_K \cdot \frac{h_K}{2} + M_K^{ВПФ}, \end{cases} \quad (4)$$

де  $q_1 = \theta_1$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі залізничного порому;  $q_2 = \theta_2$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі вагона-платформи;  $q_3 = \theta_3$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі контейнера. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому;  $M_{ВПФ}^K$  – момент сил, що виникає між вагоном-платформою та контейнерами при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;  $I_K^\theta$  – момент інерції контейнера;  $h_K$  – висота бокової

поверхні контейнера;  $p'_K$  – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера;  $M_K^{ВПФ}$  – момент сил, що виникає між контейнером та вагоном-платформою при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі.

При визначенні моменту сил, що виникає між вагоном-платформою та палубою взята до уваги горизонтальна складова ваги бруто з урахуванням сили тертя між складовими вагона. При визначенні моменту сил між вагоном-платформою та контейнером до уваги прийнята горизонтальна складова ваги бруто контейнера, сили тертя між фітінговим упором та фітінгом, а також геометрія фітінгового упору.

Для розв'язання диференціальних рівнянь

складено програму розрахунку в середовищі пакету Mathcad [13, 14], для чого воно зводилося до нормальної форми Коші, після чого інтегрувалися за методом Рунге – Кутти.

Встановлено, що при відсутності переміщень вагона-платформи та контейнерів відносно початкового положення загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами склала близько 0,25g.

Для випадку наявності переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому та нерухомості контейнерів відносно рами встановлено, що загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу з контейнерами, склала близько 0,3g.

При наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи загальна величина прискорення, яке діє на крайній від фальшборта вагон-платформу, склала близько 0,4g, а на контейнера, розміщені на ньому, близько 0,47g.

Отримані величини прискорень враховані при визначенні показників міцності несучої конструкції контейнера при перевезенні його на залізничному поромі у складі комбінованого поїзду. Для цього створено просторову модель універсального контейнера типорозміру 1СС (рис. 2). Графічні роботи проводилися в програмному комплексі SolidWorks.

Розрахунок на міцність проведено за допомогою методу скінчених елементів, реалізованого в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

При складанні скінченно-елементної моделі використані просторові ізопараметричні тетраедри. Оптимальна кількість елементів сітки визначена за графоаналітичним методом. При цьому кількість вузлів сітки склала 39789, елементів – 123139. Максимальний розмір елементу дорівнює 120 мм, мінімальний – 24 мм. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. Максимальне співвідношення боків – 8583,8, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 19,1, більше 10 – 47,3

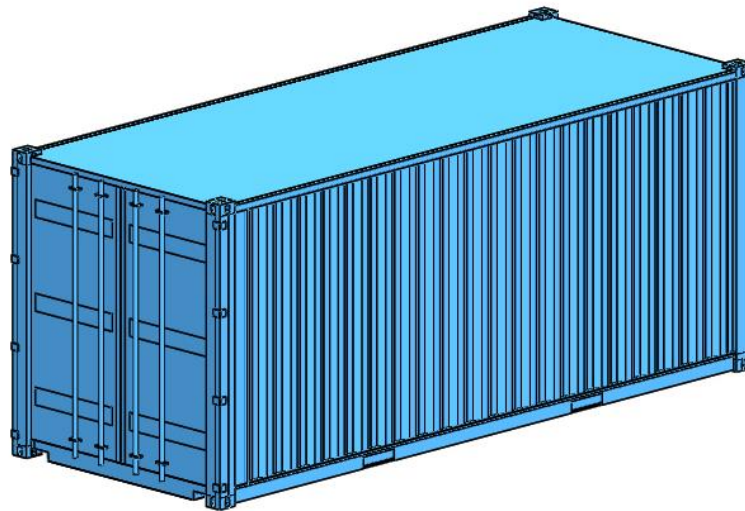


Рис. 2. Просторова комп'ютерна модель контейнера типорозміру 1СС

При складанні моделі міцності (рис. 3) враховано, що на контейнер діє динамічне навантаження  $P_o$ , зумовлене коливаннями залізничного порому, вертикальні реакції у зонах обпирання фітингів на фітингові упори  $P_{yn}^a$ , а також горизонтальні реакції від динамічного навантаження  $P_{yn}^c$ . В моделі не враховано дію вантажу, розміщеного у контейнері на його стіни. Закріплення контейнера здійснювалося у зонах його обпирання на вагон-платформу.

В якості матеріалу конструкції використано сталь марки 09Г2С.

Результати розрахунку на міцність наведені в табл. 1. Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції контейнера виникають при третій схемі навантаження (рис. 4). При цьому вони складають близько 100 МПа та зосереджені в зоні розміщення фітингів. Максимальні переміщення складають близько 4 мм та зосереджені в середній частині нижньої обв'язки контейнера, максимальні деформації –  $1,36 \cdot 10^{-3}$ . Отже максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції контейнера при всіх схемах навантаження не перевищують допустимі [11, 12].

Для оцінки стійкості контейнерів відносно рами вагона-платформи проведені дослідження коефіцієнту

стійкості рівноваги  $k_c$  при кутових переміщеннях осі (рис. 5). залізничного порому відносно повздожньої

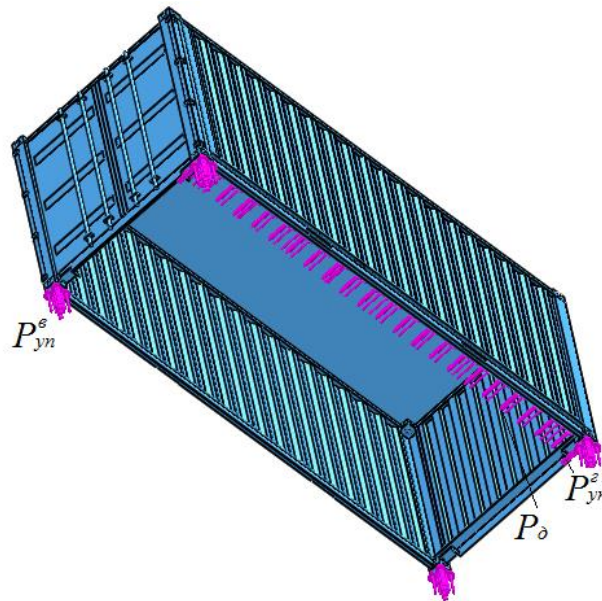


Рис. 3. Модель міцності несучої конструкції контейнера (вид знизу)

Табл. 1. Показники міцності несучої конструкції контейнера при перевезенні на залізничному порому у складі комбінованого поїзду

Показник міцності	Схема навантаження		
	I	II	III
Напруження, МПа	56,0	64,0	96,0
Переміщення в вузлах, мм	2,3	2,8	4,4
Деформації	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$

Для забезпечення стійкості рівноваги контейнера відносно рами вагона-платформи повинна виконуватися умова:

$$k_c = \frac{M_{\text{відн}}}{M_{\text{пер}}} \geq 1, \quad (7)$$

де  $M_{\text{відн}}$  – величина відновлюючого моменту;  $M_{\text{пер}}$  – величина перекидаючого моменту.

При визначенні перекидаючого моменту взяті до уваги максимальні чисельні значення прискорень, які розраховані за допомогою математичного моделювання (1–6) та є складовими динамічного навантаження, що діють на контейнер. При цьому

поріг стійкості встановлюється у випадку коли величини відновлюючого та перекидаючого моментів рівні між собою.

Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що коефіцієнт стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи має значення менше 1 при наявності переміщень фітингів контейнерів відносно фітингових упорів вагона-платформи. При цьому стійкість контейнера забезпечується при кутах крену залізничного порому до  $25^{\circ}$ .

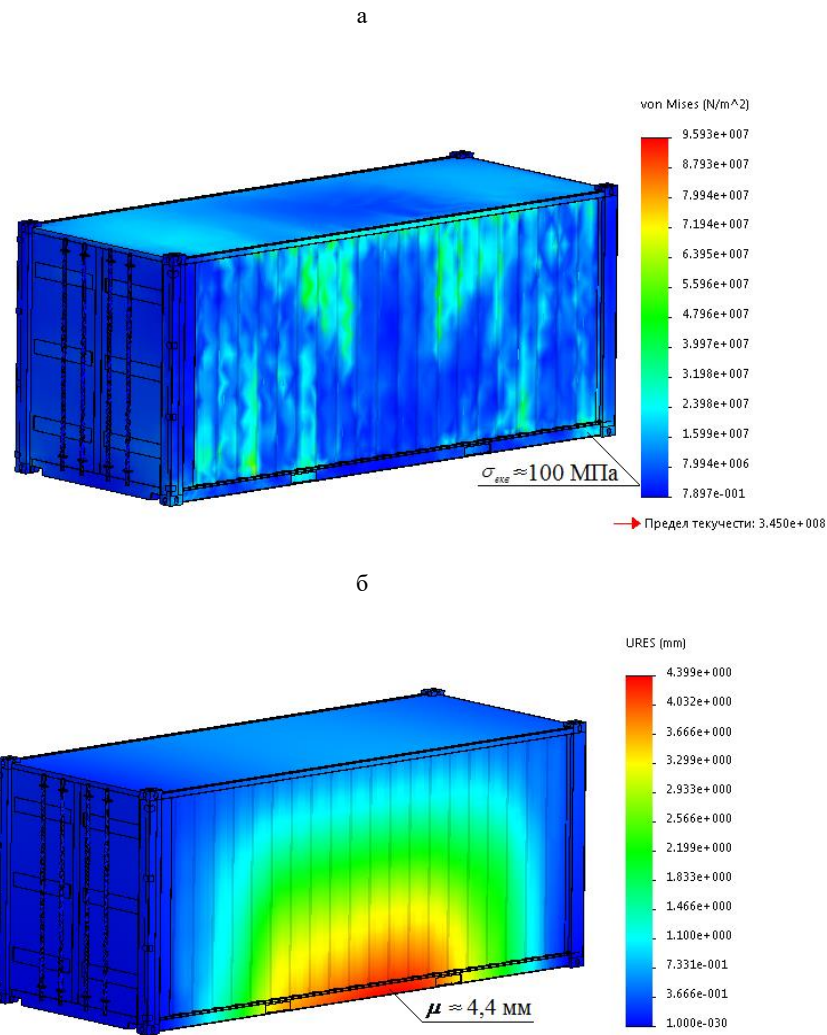


Рис. 4. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції контейнера: а – напружений стан; б – переміщення в вузлах

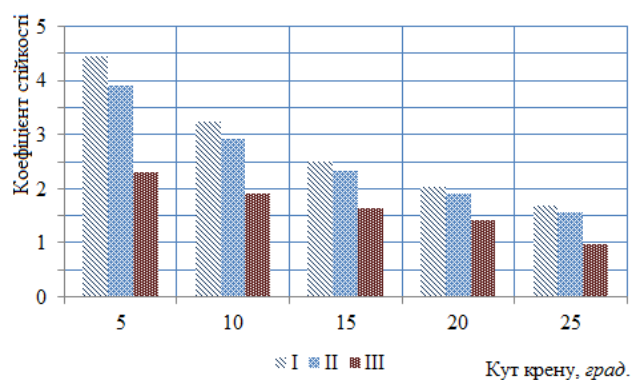


Рис. 5. Залежність коефіцієнту стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи від кута крену залізничного порому

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проведено дослідження динамічної навантаженості контейнерів, розміщених на вагоні-

платформі при перевезенні залізничним поромом. Встановлено, що максимальні значення прискорень виникають при наявності переміщень вагона-платформи відносно палуби залізничного порому та контейнерів відносно рами вагона-платформи. Для

вагона-платформи вони складають близько 0,4g, а для контейнерів, розміщених на ньому, близько 0,47g;

2. Проведені розрахунки на міцність контейнера при перевезенні на залізничному поромі у складі комбінованого поїзда. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження при цьому не перевищують допустимих та при найбільш навантаженій схемі складають близько 100 МПа, максимальні переміщення – близько 4 мм, максимальні деформації –  $1,36 \cdot 10^{-3}$ ;

3. Визначено максимальні кути крену залізничного порому при яких забезпечується стійкість контейнерів відносно рами вагона-платформи;

4. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

#### Список літератури

- Lisowski, E. Wdrożenie produkcji cystem kontenerowych do transportu i przechowywania gazów skroplonych [Text] / E. Lisowski, W. Czyżycki, K. Łazarczyk // Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. – 2012. – R. 56, nr 2. – P. 25–31.
- Ловська А. О. Удосконалення контейнерів-цистерн для перевезення нафтопродуктів шляхом впровадження в їх несучі конструкції круглих труб [Текст] / А. О. Ловська, О. М. Мельничук, О. В. Фомін // Залізничний транспорт України. – 2015. – №1. – С. 40–44.
- Ловська А. О. Дослідження міцності контейнера-цистерни удосконаленої конструкції при комп'ютерному моделюванні експлуатаційних умов [Текст] / А. О. Ловська, О. В. Фомін, А. М. Окороків, О. М. Мельничук // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – №2. – С. 180–188.
- Контейнеры для перевозки опасных грузов. Требования по эксплуатационной безопасности. ГОСТ 31232. – [Действителен от 28.03.2005] – Минск: НП РУП “Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)”, 2005. – 6 с.
- Wojciech czyżycki modeling of heat flow through multilayer internal supports of cryogenic vessels [Text] // Technical transportations. – 2015. – № 2. – P. 27–34.
- Мямлин С. В. Перспективные конструкции контейнеро-цистерн для перевозки светлых нефтепродуктов, аммиака и углеводородных газов [Текст] / С. В. Мямлин, Ю. В. Кебал, С. М. Кондратюк // Залізничний транспорт України. – 2012. – №2. – С. 44–46.
- Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips [Text] / J. Föhr, K. Karttunen, J. Enström [et al.] // Journal of Sustainable Bioenergy Systems. – 2015. – Vol. 05. – Iss. 01. – P. 32–39. doi: 10.4236/jsbs.2015.51003.
- Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
- Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67.
- Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом [Текст] / А. О. Ловська // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2017. – №6. – С. 49–60.
- Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст] / М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
- Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. ГОСТ 33211-2014. – [Действителен от 22.12.2014] – М.: Стандартинформ, 2016. – 54 с.
- Дьяконов, В. MATHCAD 8/2000: спец. справ. [Текст] / В. Дьяконов. – Санкт-Петербург : Питер, 2000. – 592 с.
- Кирьянов, Д. В. Mathcad 13 [Текст] / Д. В. Кирьянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 608 с.
- Lisowski, E. Wdrożenie produkcji cystem kontenerowych do transportu i przechowywania gazów skroplonych [Text] / E. Lisowski, W. Czyżycki, K. Łazarczyk // Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. – 2012. – R. 56, nr 2. – P. 25–31.
- Lovska A. O. Udoskonalennya konteyneriv-tsistern dlya perevezennya naftoproduktiv shlyahom vprovadzhennya v yih nesuchi konstruktsiyi kruglyh trub [Text] / A. O. Lovska, O. M. Melnichuk, O. V. Fomin // Zaliznichniy transport Ukraini. – 2015. – №1. – S.40–44.
- Lovska A. O. Doslidzhennya mitsnosti konteynera-tsisterni udoskonalenoyi konstruktsiyi pri komp'yuternomu modelyuvanni ekspluatatsiyinih umov [Text] / A. O. Lovska, O. V. Fomin, A. M. Okorokov, O. M. Melnichuk // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznizhnogo transportu. – 2015. – №2. – S. 180–188.
- Konteyneryi dlya perevozki opasnykh gruzov. Trebovaniya po ekspluatatsionnoy bezopasnosti. GOST 31232. – [Deystvitelen ot 28.03.2005] – Minsk: NP RUP “Belorusskiy gosudarstvenniy institut standartizatsii i sertifikatsii (BelGISS)”, 2005. – 6 s.
- Wojciech czyżycki modeling of heat flow through multilayer internal supports of cryogenic vessels [Text] // Technical transportations. – 2015. – № 2. – P. 27–34.
- Myamlin S. V. Perspektivnyie konstruktsii konteynerov-tsistern dlya perevozki svetlykh nefteproduktov, ammiaka i uglevodorodnykh gazov [Text] / S. V. Myamlin, Yu. V. Kebal, S. M. Kondratyuk // Zaliznichniy transport Ukraini. – 2012. – №2. – S. 44–46.
- Metal and Composite Intermodal Containers in Comparative Cold Tests with Wood Chips [Text] / J. Föhr, K. Karttunen, J. Enström [et al.] // Journal of Sustainable Bioenergy Systems. – 2015. – Vol. 05. – Iss. 01. – P. 32–39. doi: 10.4236/jsbs.2015.51003.
- Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
- Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67.
- Lovska A. O. Viznachennya navantazhenosti konteyneriv u skladi kombinovanih poizdiv pri perevezenni zaliznizhnim poromom [Text] / A. O. Lovska // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznizhnogo transportu. – 2017. – №6. – S. 49–60.
- Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnykh) [Text] / M.: GosNIIV – VNIIZhT, 1996. – 319 s.
- Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. GOST 33211-2014. – [Deystvitelen ot 22.12.2014] – M.: Standartinform, 2016. – 54 s.
- Dyakonov, V. MATHCAD 8/2000: spets. sprav. [Text] / V. Dyakonov. – Sankt-Peterburg : Piter, 2000. – 592 s.
- Kiryarov, D. V. Mathcad 13 [Text] / D. V. Kiryanov. – Sankt-Peterburg : BHV-Peterburg, 2006. – 608 s.

Надійшла (received) 22.05.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Ловська Альона Олександрівна** – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри вагонів; тел.: (057) 730-10-35; e-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.