

УДК 621.869.888.2: 629.541.22

*Ловська Альона, к.т.н., доцент
(доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

*Фомін Олексій, д.т.н., професор
(професор кафедри Вагони та вагонне господарство, Державний університет інфраструктури та технологій)*

*Скуріхін Дмитро, к.т.н., доцент
(доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

*Федосов-Ніконов Дмитро, к.т.н.
(старший науковий співробітник, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»)*

*Рибін Андрій,
(старший викладач кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ КОНТЕЙНЕРА, РОЗМІЩЕНОГО НА РОЛ-ТРЕЙЛЕРІ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

Проведено визначення динамічної навантаженості контейнера типорозміру ІСС, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом. Встановлено, що при відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та контейнера на рол-трейлері (І схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер складають 0,33g. При відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та наявності переміщень контейнера на рол-трейлері (ІІ схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер дорівнюють 0,43g. Отримані прискорення враховано при дослідженні стійкості контейнера на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом. Встановлено, що стійкість контейнера на рол-трейлері з урахуванням типової схеми взаємодії (фітінг-упор – фітінг) для І схеми забезпечується при кутах крену до 27⁰, а при ІІ схемі – до 25⁰.

Визначено власні частоти коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні морем.

Проведені дослідження сприятимуть забезпеченню безпеки перевезень контейнерів на залізничних поромах морем, а також підвищенню ефективності функціонування комбінованих перевезень в міжнародному сполученні.

Ключові слова: *контейнер, рол-трейлер, динамічна навантаженість, стійкість, модальний аналіз, залізнично-поромні перевезення.*

Вступ. Перспективи подальшого розвитку зовнішньоекономічних зв'язків між євразійськими країнами зумовлюють необхідність впровадження в експлуатацію комбінованих транспортних систем. Найбільш поширеними серед таких на сьогоднішній день є контейнерні перевезення. Це пояснюється можливістю перевезення контейнерів майже на всіх

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-1

видах транспорту. Така універсальність контейнера зумовлює і різні режими навантаження його конструкції в залежності від типу транспорту на якому він перевозиться. Для забезпечення надійності та безпеки експлуатації контейнерних перевезень важливим є на стадії проектування контейнерів урахуванням уточнених навантажень, що діють на них в експлуатації. Однією з найбільш поширених схем завантаження та перевезення контейнерів морем на залізничних поромах є використання рол-трейлерів (рис. 1). Під рол-трейлером розуміють низькорамний спеціальний напівприцеп, який має опорну передню стійку. Рол-трейлери не оснащені сигнальними вогнями та гальмами. Буксирування рол-трейлерів здійснюється портовими сідельними тягачами, оснащеними гузками на сідельному пристрої [1].

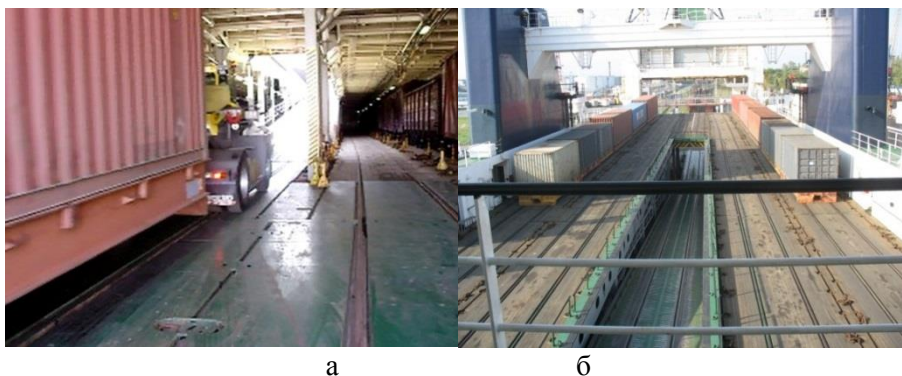


Рис. 1. Перевезення контейнерів, розміщених на рол-трейлерах морем
а) накочування рол-трейлера з контейнерами на залізничний пором; б) розміщення рол-трейлерів з контейнерами на палубі

При проектуванні контейнерів до уваги не приймаються навантаження, що можуть діяти на них при такій схемі транспортування. Тому важливим є визначення динамічної навантаженості та стійкості контейнерів при перевезенні на залізничних поромах. Це дозволить визначити основні вимоги до перевезення контейнерів на залізничних поромах та забезпечити безпеку експлуатації таких комбінованих перевезень.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Аналіз конструкції контейнера з вуглецевого волокна проводиться у [2]. Встановлено, що використання запропонованого матеріалу дозволяє знизити тару контейнера на 80% у порівнянні з прототипом. Наведені результати розрахунку на міцність контейнера при основних схемах навантаження. Однак автором не приділено уваги визначенню динаміки та стійкості контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом.

Огляд конструкцій спеціалізованих кузовів контейнерів проводиться у роботі [3]. Проведений аналіз міцності контейнера в програмному середовищі ANSYS.

Особливості розрахунку на міцність підлоги 40-футового контейнера у програмному комплексі Abaqus/CAE v 6.1 наведені у роботі [4]. Запропоновані рекомендації щодо безпечної експлуатації даного типу контейнера.

Авторами вищезазначених робіт не прийнята до уваги схема навантаження контейнера при перевезенні на залізничному поромі.

Особливості проектування контейнерів, призначених для перевезення довгомірних труб морем висвітлюються у [5]. Наведені результати розрахунку каркасу контейнера на міцність при перевезенні довгомірних труб.

В роботі [6] наведені особливості проектування контейнера для перевезення плодоовочевої продукції. Висвітлені результати розрахунку на міцність контейнера. Зазначені технічні вимоги до контейнерів для перевезення плодоовочевої продукції.

Однак в роботах [5, 6] автори обмежилися нормативними значеннями динамічних навантажень, які діють на контейнер.

Визначення динамічної навантаженості контейнера при експлуатаційних режимах навантаження проведено у [7]. Отримані величини динамічних навантажень враховано при розрахунках на міцність контейнера в середовищі програмного забезпечення Ansys. При проведенні розрахунків на міцність не враховано динамічних навантажень, що діють на контейнер при перевезенні на залізничному поромі.

Дослідження динамічної навантаженості та міцності контейнерів при перевезенні у складі комбінованих поїздів на залізничних поромках проводиться у роботах [8, 9]. Наведені математичні моделі, які дозволяють отримати уточнені значення динамічних навантажень, що діють на контейнера. Визначено стійкість контейнерів відносно вагонів-платформ при коливаннях залізничного порому. Разом з цим дослідженню динамічної навантаженості та стійкості контейнерів, розміщених на рол-трейлерах при перевезенні на залізничних поромках уваги не приділялося.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є висвітлення особливостей визначення динамічної навантаженості та стійкості контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі задачі:

1. Визначити динамічну навантаженість контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі.
2. Визначити стійкість контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі.
3. Розрахувати власні частоти коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням типової схеми їх взаємодії.

Матеріали та методи дослідження. Для забезпечення стійкості контейнера на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі відбувається його закріплення за схемою “фітингові упори рол-трейлера – фітинги контейнера”. При цьому кріплення рол-трейлерів здійснюється в залежності від ваги вантажу на ньому у відповідності до схеми, наведеної на рис. 2 [1].

Для визначення стійкості суховантажного контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні на залізничному поромі проведено математичне моделювання динамічної навантаженості. До уваги прийняті дві схеми взаємодії рол-трейлера з контейнером:

відсутність переміщень рол-трейлера відносно палуби та контейнера відносно рол-трейлера (I схема);

відсутність переміщень рол-трейлера відносно палуби та наявність переміщень контейнера відносно рол-трейлера (II схема).

До уваги прийнятий найбільш неблагоприємний випадок навантаження несучої конструкції контейнера – кутові переміщення залізничного порому навколо повздовжньої осі (крен). Розрахунки проведені стосовно залізничного порому “Грейфсвальд” при русі акваторією Чорного моря. Як прототип обрано контейнер типорозміру 1СС, розміщеного на рол-трейлері довжиною 6,09 м та вантажопідйомністю 20 т.

$$\left(\frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_1 + \left(\Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_1 = p'_{31} \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (1)$$

де $q_1 \approx \theta_n$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі залізничного порому, завантаженого рол-трейлерами з контейнерами. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

D – вагове водовитіснення; B – ширина залізничного порому; h – висота борта; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги залізничного порому; p'_{31} – вітрове навантаження на надводну проекцію залізничного порому; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому.

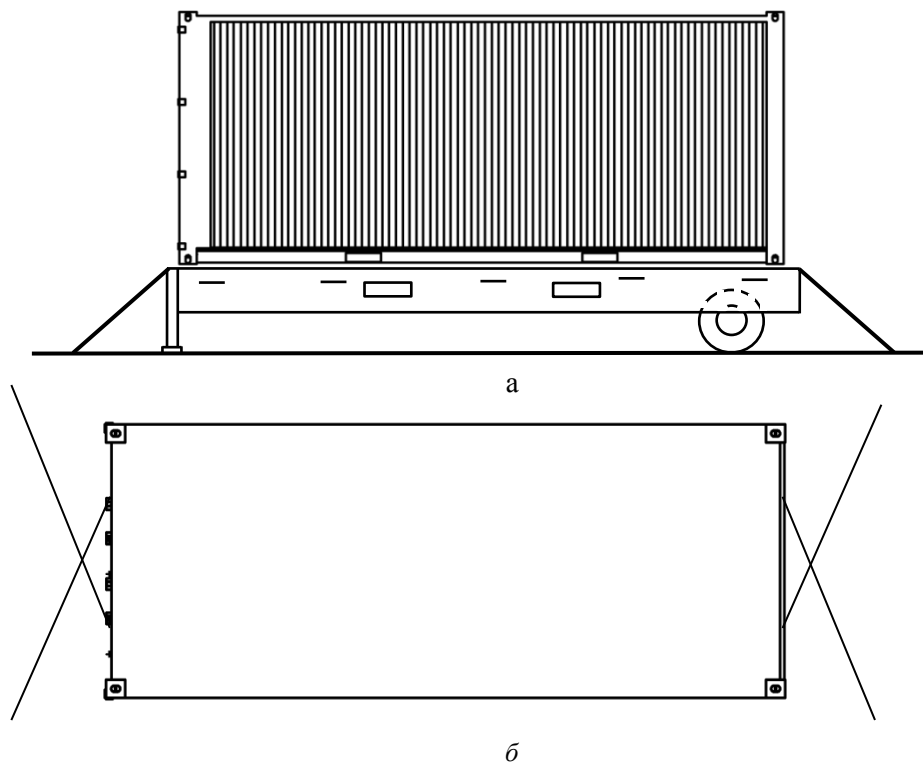


Рис. 2. Кріплення рол-трейлера на палубі залізничного порому
а) вид збоку; б) вид зверху

Розв'язок математичної моделі здійснений в програмному середовищі MathCad [10, 11]. При цьому початкові переміщення та швидкості покладені рівними нулю. До уваги прийняті різні курсові кути хвилі по відношенню залізничного порому ($0^{\circ} - 180^{\circ}$). При цьому загальна величина прискорення також включає горизонтальну складову прискорення вільного падіння, обумовлену кутом крену залізничного порому. Враховано, що крен залізничного порому викликаний дією на його надводну поверхню статичної дії вітру. При значенні тиску вітру $P = 1,47$ кПа отриманий кут крену $\theta = 18,8^{\circ}$. Результати розрахунку наведені на рис. 3. З боку осі ординат винесені курсові кути хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому. При цьому прискорення мають значення близько $0,33g$.

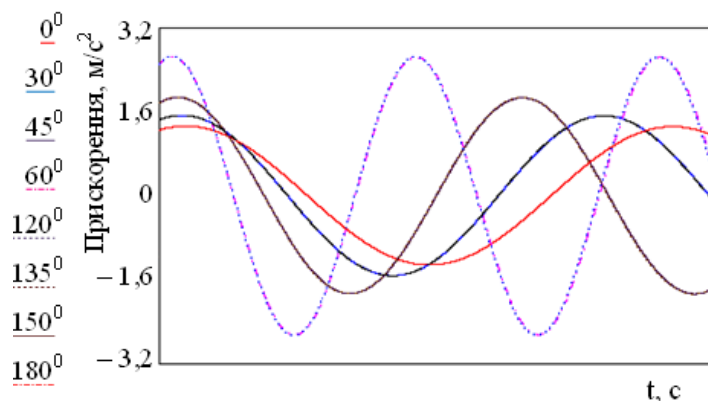


Рис. 3. Прискорення, які діють на контейнер, розміщений на рол-трейлері (I схема)

Для випадку наявності переміщень контейнера на рол-трейлері математична модель має вигляд:

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

де $q_1 \approx \theta_n$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі залізничного порому; $q_2 \approx \theta_k$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню навколо поздовжньої осі контейнера, розміщеного на рол-трейлері. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

для залізничного порому:

D – вагове водовитіснення; B – ширина; h – висота борта; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням; z_g – координата центру ваги; $p'_{зп}$ – вітрове навантаження на надводну проекцію; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збуджує рух залізничного порому.

для контейнера:

I_k^θ – момент інерції контейнера; h_k – висота бокової поверхні контейнера; p'_k – вітрове навантаження на бокову поверхню контейнера; M_k^Π – момент сил, що виникає між контейнером та палубою при кутових переміщеннях відносно поздовжньої осі.

При складанні моделі не враховані сили тертя між горизонтальними поверхнями фітінгів контейнера та фітінговими упорами на рол-трейлері.

Результати проведених розрахунків наведені на рис. 4. При цьому максимальне значення прискорення, яке діє на контейнер складає близько 0,43g.

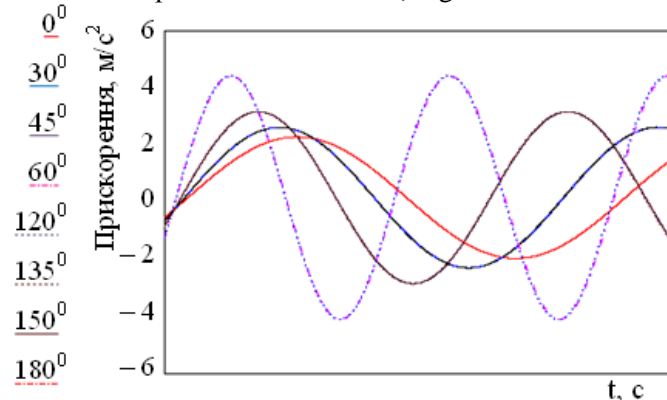


Рис. 4. Прискорення, які діють на контейнер, розміщений на рол-трейлері (II схема)

Отримані прискорення враховані при визначенні стійкості контейнера на рол-трейлері при перевезенні морем. Розрахункова схема контейнера наведена на рис. 5.

Умова рівноваги при цьому має вигляд:

$$k_c = \frac{M_{відн}}{M_{пер}} \geq 1, \quad (3)$$

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

$$M_{пер} = p'_k \cdot \frac{h_k}{2} + M_{оп} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{\theta}_2) \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (4)$$

$$M_{\text{відн}} = P_{\text{бп}} \cdot \cos \theta \cdot \frac{B_{\kappa}}{2} + n_{\phi} \cdot \left(M_{\text{бп}} \cdot (g \cdot \sin \theta + \ddot{q}_{\kappa}) \right) \cdot \frac{h_{\phi}}{2}, \quad (5)$$

де $M_{\text{бп}}$ – маса бруто контейнера; $P_{\text{бп}}$ – вага бруто контейнера; B_{κ} – ширина контейнера; n_{ϕ} – кількість фітингових упорів на які здійснюється обпирання контейнера при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі; h_{ϕ} – висота фітингового упора.

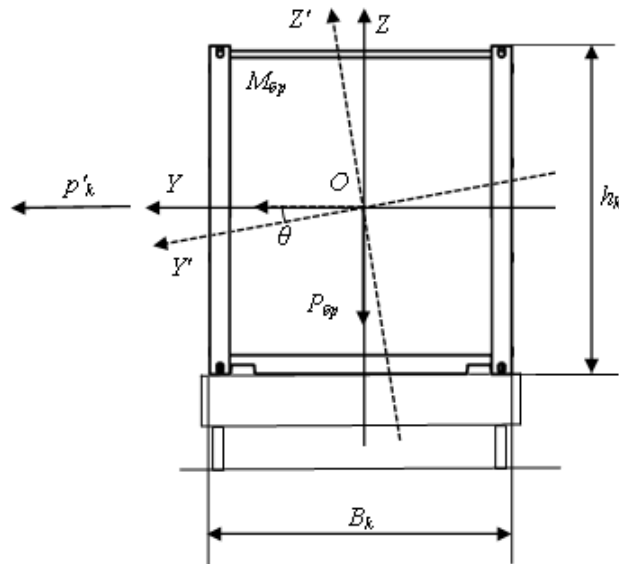


Рис. 5. Розрахункова схема контейнера

На підставі проведених досліджень отримано залежність коефіцієнту стійкості контейнера відносно рол-трейлера (рис. 6).

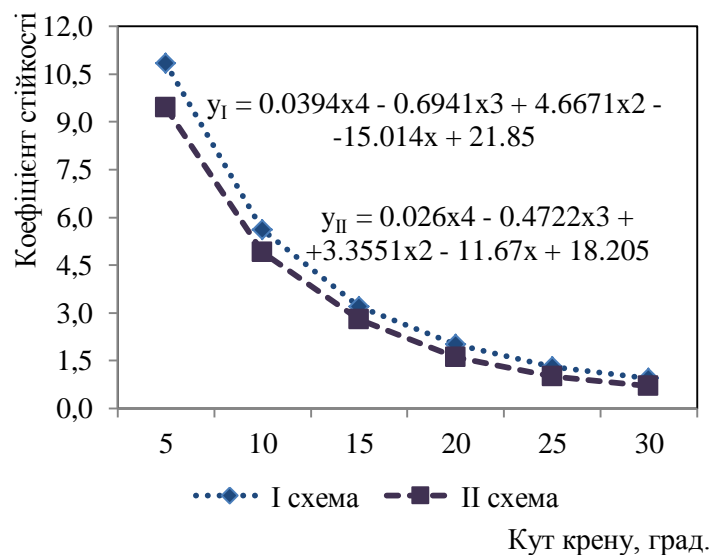


Рис. 6. Залежність коефіцієнту стійкості контейнера на рол-трейлері

На підставі проведених досліджень встановлено, що стійкість контейнера на рол-трейлері з урахуванням типової схеми взаємодії для I схеми забезпечується при кутах крену до 27° , а при II схемі – до 25° .

В рамках дослідження проведено визначення власних частот коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні морем. Для цього створено просторову модель контейнера типорозміру 1СС (рис. 7). Розрахунок проведено в програмному середовищі CosmosWorks за методом скінчених елементів [12 – 14]. Оптимальну кількість елементів скінчено-елементної моделі визначено графоаналітичним методом [15, 16]. Кількість вузлів моделі склала 39823, елементів – 123310. Максимальний розмір елемента склав 120 мм, а мінімальний – 4 мм. Відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 19,1, більше десяти – 47,3. Матеріал несучої конструкції контейнера – сталь марки 09Г2С. Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання на рол-трейлер.

При складанні розрахункової схеми контейнера враховано, що на нього діє вертикальне статичне навантаження P_v , горизонтальне навантаження P_2 на фітинги, зумовлене кутом крену залізничного порому, а також вітрове навантаження на бокову стіну контейнера P_{vimp} (рис. 8).



Рис. 7. Контейнер типорозміру 1СС

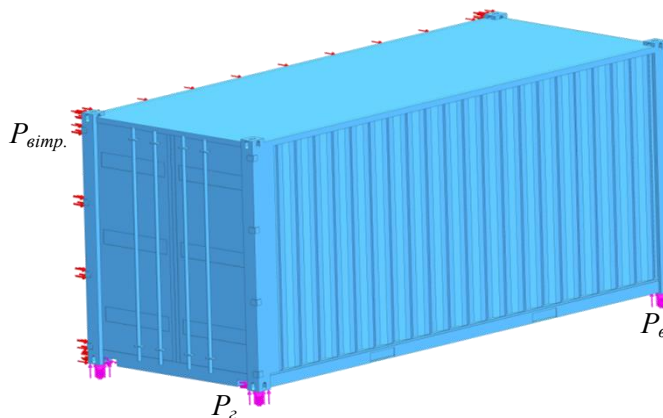


Рис. 8. Розрахункова схема контейнера

Результати розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Значення власних частот коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом

| Мода | Частота, Гц | Мода | Частота, Гц |
|------|-------------|------|-------------|
| 1 | 33,003 | 11 | 149,85 |
| 2 | 36,421 | 12 | 152,31 |
| 3 | 69,639 | 13 | 161,23 |
| 4 | 69,891 | 14 | 164,71 |
| 5 | 83,102 | 15 | 189,47 |
| 6 | 103,23 | 16 | 193,46 |
| 7 | 114 | 17 | 210,49 |
| 8 | 137,87 | 18 | 220,75 |
| 9 | 139,2 | 19 | 223,42 |
| 10 | 141,24 | 20 | 235,39 |

Дані результати отримані для кута крену залізничного порому 25^0 (II схема). Отже при завданому куті крену значення власних частот коливань знаходяться в межах допустимих [17 – 19]. Тобто перевезення контейнера з урахуванням типової схеми взаємодії з рол-трейлером є можливим.

Висновки

1. Встановлено, що при відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та контейнера відносно рол-трейлера (I схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер складають 0,33g. При відсутності переміщень рол-трейлера відносно палуби та наявності переміщень контейнера на рол-трейлері (II схема) максимальні прискорення, що діють на контейнер дорівнюють 0,43g.

2. Встановлено, що стійкість контейнера на рол-трейлері з урахуванням типової схеми взаємодії (фітінговий упор – фітінг) для I схеми забезпечується при кутах крену до 27^0 , а при II схемі – до 25^0 .

3. Визначено, що власні частоти коливань контейнера, розміщеного на рол-трейлері при перевезенні залізничним поромом, знаходяться в межах допустимих.

Для забезпечення безпеки комбінованих перевезень в міжнародному сполученні важливим є уточнення нормативних документів, в яких наведені навантаження, що діють на транспортні засоби. При цьому необхідно зазначити додаткові умови навантаженості контейнерів при перевезенні на рол-трейлерах залізничними поромами. Отримані результати можуть сприяти створенню рекомендацій щодо проектування контейнерів, як інтермодальних одиниць транспорту.

Проведені дослідження дозволять підвищити безпеку перевезень контейнерів на залізничних поромах морем, а також ефективність функціонування комбінованих перевезень в міжнародному сполученні.

Подяка

Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених “Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів”, яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Шипки”. Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky” № 2512. 02. Офиц. изд. Одесса: Мин. транспорта Украины. Гос. департамент морского и речного транспорта. 1997. 51 с.

2. Turkey Yildiz. Design and Analysis of a Lightweight Composite Shipping Container Made of Carbon Fiber Laminates. *Logistics*. 2019, Vol. 3, Issue 18. doi:10.3390/logistics3030018
3. Мишута Д. В. Опыт создания кузовов контейнеров специального назначения. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2012. № 3 (20)-4 (21). С. 208–212.
4. Arkadiusz Rzczycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90.
5. Панасенко Н. Н., Яковлев П. В. Проектирование контейнеров для морской перевозки длинномерных труб. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. Серия: Морская техника и технология. 2014. №3. С. 97–107.
6. Ибрагимов Н. Н., Рахимов Р. В., Хаджимухамедова М. А. Разработка конструкции контейнера для перевозки плодоовощной продукции. *Молодой ученый*. 2015. №21(101). С. 168–173.
7. Stephen Tiernan, Martin Fahy. Dynamic fea modelling of iso tank containers. *Journal of materials processing technology*. 2002. №124 (1). P. 126–132.
8. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Pištěk Václav, Kučera Pavel. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*. 2020. March. P. 3728– 3733.
9. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019. Vol. 29. P. 118–123.
10. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. Петербург: БХВ, 2006. 608 с.
11. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник. СПб.: Питер, 2000. 592 с.
12. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва: ДМК, 2007. 784 с.
13. Fomin Oleksij, Alyona Lovska, Radkevych Valentyna, Horban Anatoliy, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 21. P. 3747–3752.
14. Fomin O., Lovska A., Melnychenko O., Shpylovyi I., Masliyev V., Bambura O., Klymenko M. Determination of dynamic load features of tank containers when transported by rail ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 5/7 (101). P. 19–26.
15. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 301–307.
16. Kitov Y., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Y., Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 133(1–3). 03001.
17. 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.
18. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.
19. EN 12663-2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons. [Valid from 30.04.2010]. В., 2010. 54 p.

REFERENCES

1. Min. transporta Ukrainy. (1997) Nastavlenie po krepleniyu generalnykh gruzov pri morskoy perezovzke dlya t/h “Geroi Shipki”/Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky” № 2512. 02]. Odessa: Gos. departament morskogo i rechnogo transporta.
2. Turkey Yildiz. (2019). Design and Analysis of a Lightweight Composite Shipping Container Made of Carbon Fiber Laminates. *Logistics*, 3, 18. doi:10.3390/logistics3030018 (in English).
3. Mishuta, D. V. (2012). Opyt sozdaniya kuzovov kontejnerov speczial'nogo naznacheniya [Experience in creating special-purpose container bodies]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov [Mechanics of machines, mechanisms and materials]*, 3 (20)-4 (21). 208–212. (in Russian).
4. Arkadiusz Rzczycki, Bogusz Wisnicki. (2016). Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*, 252, 81–90. (in English).
5. Panasenko, N. N., Yakovlev, P. V. (2014). Proektirovanie kontejnerov dlya morskoy perezovzki dlinnomernykh trub [Design of containers for sea transportation of long pipes]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology]*, 3, 97–107. (in Russian).
6. Ibragimov, N. N., Rakhimov, R. V., Khadzhimukhamedova, M. A. (2015). Razrabotka konstrukcii kontejnera dlya perezovzki plodoovoshhnoy produkcii. *Molodoj uchenyj*, 21(101), 168–173. (in Russian).
7. Stephen Tiernan, Martin Fahy. (2002). Dynamic fea modelling of iso tank containers. *Journal of materials processing technology*, 124 (1), 126–132. (in English).
8. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Pištěk Václav, Kučera Pavel. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*, March, 3728– 3733. (in English).
9. Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*, 29, 118–123. (in English).

10. Kiryanov, D. V. (2006). Mathcad 13. Peterburg: BHV, 608 s. (in Russian).
11. D'yakonov, V. (2000). MATHCAD 8/2000. Sankt-Petrburg: Piter, 592 s. (in Russian).
12. Alyamovskiy, A. A. (2007). SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Inzhenernyiy analiz metodom konechnykh elementov [SolidWorks / COSMOSWorks 2006 - 2007. Finite Element Engineering Analysis]. M.: DMK, 784 s., il. (Seriya "Proektirovanie"). (in Russian).
13. Fomin Oleksij, Alyona Lovska, Radkevych Valentyna, Horban Anatolii, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. (2019). The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14, 21, 3747–3752. (in English).
14. Fomin, O., Lovska, A., Melnychenko, O., Shpylovyi, I., Masliyev, V., Bambura, O., Klymenko, M. (2019). Determination of dynamic load features of tank containers when transported by rail ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/7 (101), 19–26. (in English).
15. Vatulia, G., Falendysh, A., Orel, Y., Pavliuchenkov, M. (2017). Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*, 187, 301–307. (in English).
16. Kitov, Y., Verevicheva, M., Vatulia, G., Orel, Y., Deryzemia, S. (2017). Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*, 133(1–3), 03001. (in English).
17. DSTU 7598:2014 (2015) Vagony vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih) [Freight wagons. General requirements for the calculation and design of new and upgraded 1520 mm (non-self-propelled) railcars]. 162. (in Ukrainian).
18. GOST 33211-2014 (2016) Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [Freight cars. Strength and Dynamic Requirements], 54. (in Russian).
19. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2: Freight wagons, 54. EN 12663–2 (2010). (in English).

*Ловская Алена, к.т.н., доцент
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)
Фомин Алексей, д.т.н., профессор
(профессор кафедры "Вагоны и вагонное хозяйство" Государственного университета
инфраструктуры и технологий)
Скурихин Дмитрий, к.т.н., доцент
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)
Федосов-Никонов Дмитрий, к.т.н.
(старший научный сотрудник, Государственное предприятие "Украинский научно-
исследовательский институт вагоностроения")
Рыбин Андрей,
(старший преподаватель кафедры вагонов, Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ КОНТЕЙНЕРА, РАЗМЕЩЕННОГО НА РОЛЛ-ТРЕЙЛЕРЕ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПАРОМЕ

Проведено определение динамической нагруженности контейнера типоразмера ІСС, размещенного на ролл-трейлере при перевозке железнодорожным паромом. Установлено, что при отсутствии перемещений ролл-трейлера относительно палубы и контейнера на ролл-трейлере (І схема) максимальные ускорения, которые действуют на контейнер составляют 0,33g. При отсутствии перемещений ролл-трейлера относительно палубы и наличии перемещений контейнера на ролл-трейлере (ІІ схема) максимальные ускорения, которые действуют на контейнер равны 0,43g. Полученные ускорения учтены при исследовании устойчивости контейнера на ролл-трейлере при перевозке железнодорожным паромом. Установлено, что устойчивость контейнера на ролл-трейлере с учетом типовой схемы взаимодействия (фитинговый упор – фитинг) для І схемы обеспечивается при углах крена до 27°, а при ІІ схеме – до 25°.

Определены собственные частоты колебаний контейнера, размещенного на ролл-трейлере при перевозке морем.

Проведенные исследования способствуют обеспечению безопасности перевозок контейнеров на железнодорожных паромов морем, а также повышению эффективности функционирования комбинированных перевозок в международном сообщении.

Ключевые слова: контейнер, ролл-трейлер, динамическая нагруженность, устойчивость, модальный анализ, железнодорожно-паромные перевозки.

Alyona Lovska, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor of Wagons Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)

Oleksij Fomin, Doctor of Technical Sciences, Professor

(Professor of Department of Cars and Carriage Facilities, State University of Infrastructure and Technologies)

Dmytro Skurikhin, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor of Wagons Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)

Dmytro Fedosov-Nikonov, PhD (Technical Sciences)

(senior researcher, State Enterprise "Ukrainian Research Institute of WagonBuilding")

Andrij Rybin

(Senior Lecturer of Wagons Chair, Ukrainian State University of Railway Transport)

DETERMINATION OF DYNAMIC LOAD AND STABILITY OF A CONTAINER PLACED ON A ROLL TRAILER DURING TRANSPORTATION BY RAILWAY FERRY

The determination of the dynamic loading of a container of ICC standard size, placed on a roll-trailer during transportation by a railway ferry, has been carried out. It was found that in the absence of movements of the roller trailer relative to the deck and the container relative to the roller trailer (I diagram), the maximum accelerations that act on the container are 0.33g. In the absence of movements of the roller trailer relative to the deck and the presence of movements of the container on the roller trailer (II diagram), the maximum accelerations that act on the container are equal to 0.43g. The resulting accelerations were taken into account when studying the stability of a container on a roll-trailer during transportation by a rail ferry. It has been established that the stability of a container on a roller trailer, taking into account the typical interaction scheme (fitting stop - fitting), for the first scheme is provided at roll angles up to 270, and for the second scheme - up to 250.

The natural frequencies of vibrations of a container placed on a roll-trailer during transportation by sea have been determined.

The research carried out contributes to ensuring the safety of container transportation by rail ferries by sea, as well as increasing the efficiency of the functioning of combined transport in international traffic.

Keywords: *container, roll-trailer, dynamic loading, stability, modal analysis, rail-ferry transportation.*