

*А.О. ЛОВСЬКА***ВПЛИВ ТИСКУ НАСИПНОГО ВАНТАЖУ НА СТІЙКІСТЬ КОНТЕЙНЕРА ПРІ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ**

Визначено тиск насипного вантажу на стіни контейнера при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. В якості розрахункового використаний метод Кулона з коректуванням Синельникова. Дослідження проведені стосовно контейнера типорозміру 1СС, завантаженого зерном. Враховано, що перевезення контейнера здійснюється на залізничному поромі «Герои Шипки», акваторією Чорного моря. При визначенні тиску враховано динамічне навантаження, яке діє на контейнер при коливаннях залізничного порому в умовах бортової хитавиці. При цьому розглянуто три схеми переміщень контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при коливаннях залізничного порому: відсутність переміщень вагона-платформи та контейнерів відносно початкового положення при коливаннях залізничного порому (I схема); наявність переміщень вагона-платформи при коливаннях залізничного порому з урахуванням нерухомості контейнерів відносно рами вагона-платформи (II схема); наявність переміщень вагона-платформи відносно палуби та контейнерів відносно рами вагона-платформи (III схема). Отримані результати враховано при визначенні стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи. Визначено кути крену залізничного порому при яких забезпечується стійкість контейнера відносно рами вагона-платформи. Встановлено, що стійкість контейнера відносно рами вагона-платформи забезпечується при кутах крену залізничного порому – до  $10^\circ$  (I схема), до  $8^\circ$  – (II схема), до  $6^\circ$  (III схема). Це викликає необхідність удосконалення схеми взаємодії контейнера з вагоном-платформою для забезпечення безпеки перевезень залізничним поромом. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню безпеки перевезень контейнерів у складі комбінованих поїздів на залізничних поромом.

**Ключові слова:** контейнер, навантаження конструкції, стійкість, комбінований транспорт, залізнично-поромні перевезення.

*А.А. ЛОВСКАЯ***ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАСЫПНОГО ГРУЗА НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОНТЕЙНЕРА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПАРОМОМ**

Определено давление насыпного груза на стены контейнера при перевозке в составе комбинированного поезда на железнодорожном пароме. В качестве расчетного использован метод Кулона с корректировкой Синельникова. Исследования проведены относительно контейнера типоразмера 1СС, загруженного зерном. Учтено, что перевозка контейнера осуществляется на железнодорожном пароме "Герои Шипки", акваторией Черного моря. При определении давления учтена динамическая нагрузка, действующая на контейнер при колебаниях железнодорожного парома в условиях бортовой качки. При этом рассмотрены три схемы перемещений контейнера, расположенного на вагоне-платформе при колебаниях железнодорожного парома: отсутствие перемещений вагона-платформы и контейнеров относительно начального положения при колебаниях железнодорожного парома (I схема); наличие перемещений вагона-платформы при колебаниях железнодорожного парома с учетом неподвижности контейнеров относительно рамы вагона-платформы (II схема); наличие перемещений вагона-платформы относительно палубы и контейнеров относительно рамы вагона-платформы (III схема). Полученные результаты учтены при определении устойчивости контейнера относительно рамы вагона-платформы. Определены углы крена железнодорожного парома при которых обеспечивается устойчивость контейнера относительно рамы вагона-платформы. Установлено, что устойчивость контейнера относительно рамы вагона-платформы обеспечивается при углах крена железнодорожного парома – до  $10^\circ$  (I схема), до  $8^\circ$  – (II схема), до  $6^\circ$  (III схема). Это вызывает необходимость совершенствования схемы взаимодействия контейнера с вагоном-платформой для обеспечения безопасности перевозок железнодорожным паромом. Проведенные исследования будут способствовать повышению безопасности перевозок контейнеров в составе комбинированных поездов на железнодорожных паромом.

**Ключевые слова:** контейнер, нагужение конструкция, устойчивость, комбинированный транспорт, железнодорожно-паромные перевозки.

*А.О. LOVSKA***INFLUENCE OF BULK CARGO PRESSURE ON CONTAINER STABILITY DURING TRANSPORTATION BY RAILROAD FERRY**

Efforts of bulk cargo expansion on the walls of the container during transportation as a part of a combined train by rail ferry are determined. The Coulomb method with Sinelnikov correction was used as the calculation. Studies have been conducted on a grain loaded 1C container. It is considered that the transportation of the container is carried out on the railway ferry "Heroes of Shipka", the waters of the Black Sea. Dynamic loading, which acts on the container during fluctuations of the railway ferry in the conditions of onboard swing, is taken into account in determining the forces of decomposition. At the same time three schemes of movements of the container placed on the wagon platform during fluctuations of the railway ferry are considered: absence of movements of the wagon platform and containers relative to the starting position during the fluctuations of the railway ferry (I scheme); the presence of dis-

placements of the wagon-platform during the fluctuations of the railway ferry, taking into account the immobility of the containers relative to the frame of the wagon-platform (scheme II); the presence of displacement of the platform wagon relative to the deck and containers relative to the frame of the wagon platform (scheme III). The results obtained are taken into account in determining the stability of the container relative to the frame of the wagon platform. The angles of roll of the ferry at which the stability of the container relative to the frame of the wagon platform are determined. It is established that the stability of the container relative to the frame of the wagon platform is provided at the angles of roll of the ferry – up to  $10^\circ$  (I scheme), up to  $8^\circ$  – (II scheme), up to  $6^\circ$  (III scheme). This necessitates the improvement of the interaction scheme of the container with the wagon platform to ensure the safety of carriage by rail. The researches carried out will help to increase the safety of transportation of containers as part of combined trains by rail ferries.

**Key words:** container, load design, stability, combined transport, railroad ferry.

**Вступ.** Забезпечення конкурентоспроможності залізничного транспорту зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію комбінованих транспортних систем. Відомо, що однією з найбільш перспективних та поширених серед таких є контейнерні перевезення.

Мобільність контейнера зумовлює навантаження його конструкції при перевезенні різними видами транспорту: залізничним, автомобільним, авіаційним та морським. Введення в експлуатацію транспортного коридору новий «Шовковий шлях», який сполучив Україну з Китаєм, забезпечило можливість слідування поїздів комбінованого транспорту морем на залізничних поромках (рис. 1 [1, 2]).

Важливо зазначити, що нормативна база щодо проектування та розрахунку контейнерів не висвітлює належним чином питань їх перевезень на залізничних поромках морем у складі комбінованих поїздів.

Тому, для забезпечення безпеки перевезень контейнерів, розміщених на вагонах-платформах морем необхідним є дослідження їх стійкості при коливаннях залізничного порому.



Рисунок 1 – Завантаження вагонів-платформ з контейнерами на залізничний пором

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Визначення тиску насипного вантажу на стіни вагона при перевезенні залізничним поромом проводиться у [3]. При цьому динамічне навантаження, яке спричиняє додатковий вплив на бокову стіну кузова вагона визначено шляхом диференціювання закону руху морської хвилі. Рух морської хвилі завданий у вигляді синусоїдального закону. Тобто до уваги не прийняті енергетичні складові коливального процесу.

Розрахунок тиску насипного вантажу на кузов напіввагона проводиться у [4]. Однак питанню визначення стійкості вагона при перевезенні морем в роботі уваги не приділено.

Оцінка дії насипного вантажу на стіни кузова вагона висвітлена у [5-7]. При цьому навантаженість кузова досліджено методами математичного та комп'ютерного моделювання. Однак визначення тиску насипного вантажу на стіни кузова при перевезенні на залізничному поромі авторами не проводиться.

Визначення динамічної стійкості вантажу при завантаженні та транспортуванні контейнером проводиться у [8]. Дослідження проведені стосовно тарноштучного вантажу.

Заходи щодо завантаження та кріплення сталевих рулонів у контейнерах при залізнично-водних перевезеннях розглянуті у [9].

Особливості проектування контейнерів для перевезення довгомірних вантажів висвітлюється у [10]. Наведений розрахунок на міцність несучих елементів контейнера при дії на його стіни навантажень від труб, який реалізовано за методом скінчених елементів.

При цьому в розглянутих роботах не приділяється уваги питанню визначення тиску насипного вантажу на стіни контейнера.

Обґрунтування впровадження в експлуатацію контейнерів для перевезення фруктів та овочів проводиться у [11]. Зазначені основні вимоги, які встановлюються для таких контейнерів. Наведені результати розрахунку на міцність контейнера при основних експлуатаційних режимах навантаження.

Однак визначення тиску від перевозимого вантажу на стіни контейнера в роботі не проводиться.

Вплив центру ваги контейнера на метacentричну висоту судна досліджується у [12]. Запропонований алгоритм оцінки впливу положення центру ваги контейнера на остійність контейнеровоза.

Визначенню стійкості контейнера у складі комбінованого поїзда при перевезенні морем у роботі уваги не приділяється.

**Мета статті.** Метою статті є висвітлення особливостей впливу тиску насипного вантажу на стійкість контейнера при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом. Для досягнення зазначеної мети розв'язані такі завдання:

– визначено тиск насипного вантажу на стіну контейнера при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом;

– визначено стійкість контейнера відносно рами вагона-платформи при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом.

**Викладення основного матеріалу статті.** Визначення тиску насипного вантажу на стіни контейнера, розміщеного на вагоні-платформі здійснене для випадку кутових переміщень залізничного порому відносно повздовжньої осі (еквівалент коливань бічна хитавиця в «Динаміці вагонів»), як випадку найбільшої навантаженості конструкції контейнера (рис. 2).

При цьому визначення тиску насипного вантажу проводилося для контейнера, розміщеного на крайньому від фальшборта вагоні-платформі, верхньої палуби залізничного порому.

Для визначення тиску на стіни контейнера використано метод Кулона з корегуванням Синельникова [3]:

$$p = \gamma h \frac{\cos^2(\rho - \alpha)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \rho \sin(\rho - \alpha)}{\cos \alpha}}\right]^2 \cos \alpha}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – об'ємна вага вантажу, кН/м<sup>3</sup>;

$h$  – висота розміщення вантажу, м;

$\rho$  – кут внутрішнього тертя (для ідеально сипучого середовища дорівнює куту природного відкосу [3]).

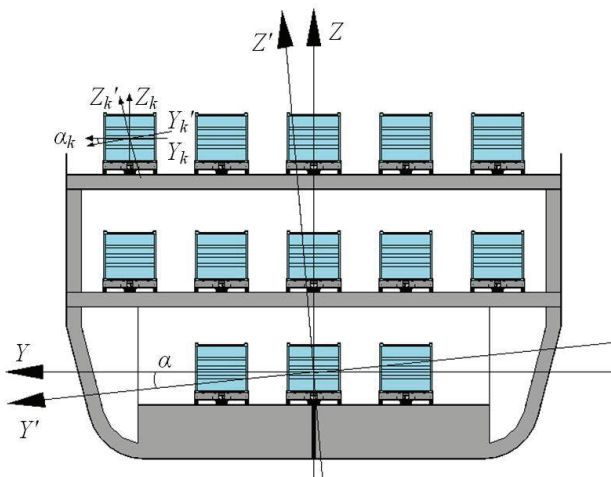


Рисунок 2 – Схема переміщень залізничного порому, завантаженого контейнерними поїздами, відносно повздовжньої осі

Схема переміщень контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при коливаннях залізничного порому наведена на рис. 3. При цьому в якості насипного вантажу розглянуто зерно, як один з найбільш поширених типів насипних вантажів, що перевозяться у контейнерах.

При кутових переміщеннях контейнера відносно повздовжньої осі до уваги також прийняте динамічне навантаження, оскільки воно спричиняє додатковий силовий вплив на вантаж та стіни контейнера.

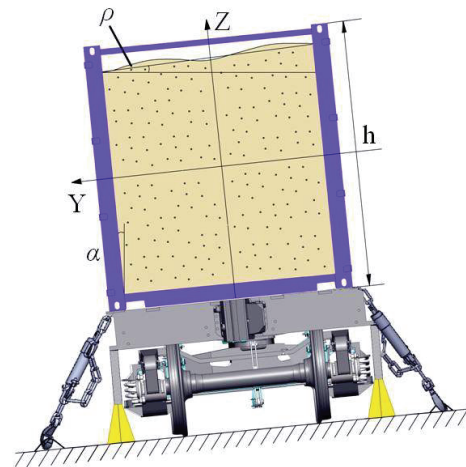


Рисунок 3 – Схема переміщень контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при коливаннях залізничного порому

У зв'язку з тим, що вантаж має розподілення відносно стіни контейнера додатковий тиск визначається:

$$F_{\text{доп}} = \frac{F_{\theta}}{S_{\kappa}}, \quad (2)$$

де  $F_{\theta}$  – динамічне навантаження, яке діє на вантаж, кН;

$S_{\kappa}$  – площа бокової стіни контейнера, м<sup>2</sup>.

З урахуванням цього для визначення тиску насипного вантажу на стіни контейнера використана формула:

$$p = \gamma h \frac{\cos^2(\rho - \alpha)}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \rho \sin(\rho - \alpha)}{\cos \alpha}}\right]^2 \cos \alpha} + F_{\text{доп}}. \quad (3)$$

Динамічне навантаження, яке діє на контейнер при перевезенні залізничним поромом визначено за методикою, наведеною у [13].

При цьому розглянуто три схеми переміщень контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при коливаннях залізничного порому:

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

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

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

Результати розрахунків у вигляді залежностей прискорень, які діють на контейнер від кута крену залізничного порому наведені на рис. 4.

Враховано, що перевезення контейнера здійснюється залізничним поромом «Герой Шипки», акваторією Чорного моря.

Розрахунки проведені стосовно контейнера типу розміру 1СС, масою брутто 24 т.

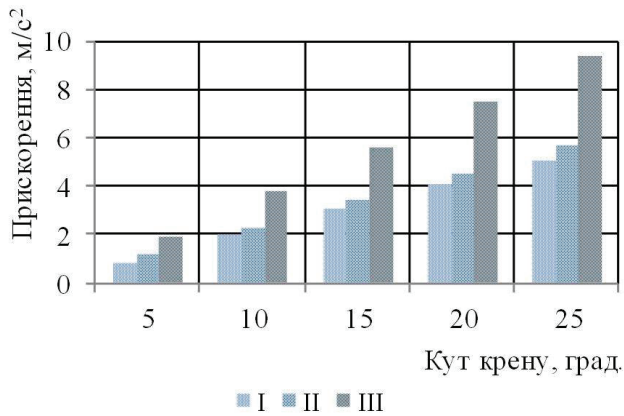


Рисунок 4 – Прискорення, які діють на контейнер при перевезенні залізничним поромом

Отримані результати враховано при визначенні тиску насипного вантажу на стіни контейнера та його стійкості відносно рами вагона-платформи.

Для забезпечення стійкості рівноваги контейнера відносно рами вагона-платформи повинна виконуватися умова [13, 14]:

$$k_c = \frac{M_{\text{відн}}}{M_{\text{пер}}} \geq 1, \quad (4)$$

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

$M_{\text{пер}}$  – величина перекидаючого моменту.

$$M_{\text{пер}} = p'_k \cdot \frac{h'_k}{2} + M_{\text{бр}} \cdot (g \cdot \sin \alpha + \ddot{q}_k) \cdot \frac{h'_k}{2} + (P_p \cdot S_\sigma) \cdot \frac{h'_k}{2}, \quad (5)$$

$$M_{\text{відн}} = P_{\text{бр}} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{B_k}{2} + n_\phi \cdot (M_{\text{бр}} \cdot (g \cdot \sin \alpha + \ddot{q}_k)) \cdot \frac{h_\phi}{2}, \quad (6)$$

де  $p'_k$  – рівнодіюча вітрового навантаження на бокову поверхню контейнера;

$h'_k$  – висота контейнера;

$M_{\text{бр}}$  – маса брутто контейнера;

$\alpha$  – кут нахилу контейнера;

$\ddot{q}_k$  – прискорення, яке діє на контейнер при ку-

тових переміщеннях відносно повздовжньої осі;

$P_p$  – тиск насипного вантажу;

$S_\sigma$  – площа бокової стіни контейнера;

$P_{\text{бр}}$  – вага брутто контейнера;

$B_k$  – ширина контейнера;

$n_\phi$  – кількість фітингових упорів на які здійснюється обпирання контейнера при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі;

$h_\phi$  – висота фітингового упора.

Результати проведених розрахунків наведені на рис. 5.

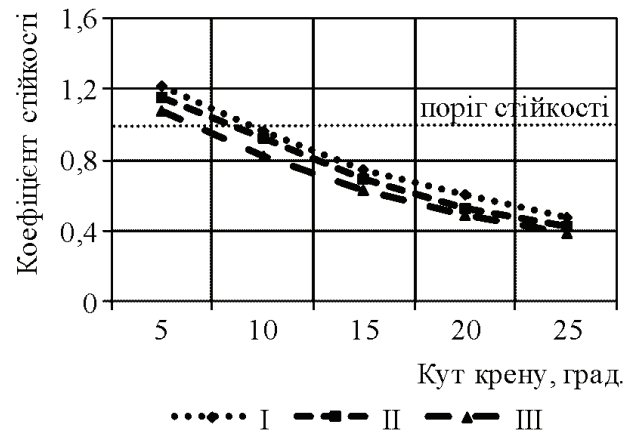


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту стійкості контейнера відносно рами вагона-платформи від кута крену залізничного порому

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що стійкість контейнера відносно рами вагона-платформи забезпечується при кутах крену залізничного порому при I схемі коливаль – до  $10^\circ$ , при II – до  $8^\circ$ , при III – до  $6^\circ$ . Це викликає необхідність удосконалення схеми взаємодії контейнера з вагоном-платформою для забезпечення безпеки перевезень залізничним поромом.

#### Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

1. Визначено тиск насипного вантажу на стіну контейнера при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом. В якості розрахункового застосований метод Кулона з корегуванням Синельникова. При визначенні тиску враховано динамічне навантаження, яке діє на контейнер при перевезенні залізничним поромом та спричиняє додатковий вплив на насипний вантаж;

2. Визначено стійкість контейнера відносно рами вагона-платформи при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом. Встановлено, що стійкість контейнера, розміщеного на вагоні-платформі забезпечується при кутах крену залізничного порому до  $10^\circ$  (I схема), до  $8^\circ$  (II схема), до  $6^\circ$  (III схема).

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про необхідність удосконалення схеми взаємодії контейнера з вагоном-платформою при перевезенні залізничним поромом. Це сприятиме дотриманню безпеки перевезень контейнерів морем, а також підвищенню ефективності експлуатації комбінованих перевезень.

#### Список літератури

1. Новый старый маршрут: присоединилась ли Украина к Новому шелковому пути. URL: <https://delo.ua/business/novyj-staryj-marshrut-prisoedinilas-li-ukraina-k-novomu-shelkovo-337144/> 19.12.2017.
2. Южный «Шелковый путь» из Украины в Китай открыт. URL: <http://seafarers.com.ua/ukrainian-silk-path-open/6517/> 19.01.2016.
3. Землезин И.Н. К оценке нагрузок распора сыпучих грузов в условиях транспортировки вагонов на морских



паромах. Сб. «Исследование динамики вагонов» Труды ЦНИИ МПС. 1965. Вып. 307. С. 37-63.

4. *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.

5. *Сенько В.И., Пуцято А.В.* Оценка воздействия перевозимых сипучих грузов на кузова вагонов. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. А. Лазаряна. 2009. №30. С. 214-222.

6. *Фомін О.В.* Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності. Науковий журнал «Технологический аудит и резервы производства». 2015. № 4/1(24). С. 83-89.

7. *Fomin O.V., Lovska A.O., Plakhtii O.A., Nerubatskyi V.P.* The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. Scientific Bulletin of National Mining University. 2017. Iss. 6. P. 89-96.

8. *Evandro C. Bracht, Thiago A. de Queiroz, Rafael C.S. Schouery, Flávio K. Miyazawa* Dynamic cargo stability in loading and transportation of containers. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). 2016, 21-25 Aug.

9. *Hongxia Lv, Zhengjiang Yang, Yushuang Zhou* Measures of Loading and Securing Steel Coils in Containers in Rail-Water Combined Transport. ICTE. 2013, October.

10. *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.

11. *Khadjimukhametova Matluba Adilovna, Rakhmatov Zafar Xasanovich* Development of improved technical means for transportation fruits and vegetables. European science review. 2016. P. 175-177.

12. *Царик Р.С., Акмайкин Д.А.* Оценка влияния положения центра тяжести контейнера на метacentрическую высоту контейнерова. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2016. № 6 (40). С. 58-70. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-58-70

13. *Lovska A.* Simulation of loads on the carrying structure of an articulated flat car in combined transportation. International Journal of Engineering & Technology. 2018. № 7 (4.3). P. 140-146.

14. *Ловська А.О.* Визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2017. Вип. 6 (72). С. 49-60.

#### References (transliterated)

1. *Novyyi staryiy marshrut: prisoedinilas li Ukraina k Novomu shelkovomu puti.* URL: <https://delo.ua/business/novyyi-staryi-marshrut-prisoedinilas-li-ukraina-k-novomu-shelkovo-337144/> 19.12.2017.

2. *Yuzhnyiy «Shelkovyyi put» iz Ukrainyi v Kitay otkryit.* URL: <http://seafarers.com.ua/ukrainian-silk-path-open/6517/19.01.2016>.

3. *Zemlezin I.N.* K otsenke nagruzok raspora syipuchih грузов v usloviyah transportirovki vagonov na morskikh paromah. Sb. «Issledovanie dinamiki vagonov» Trudy TsNII MPS. 1965. Vol. 307. P. 37-63.

4. *Lovska A.O.* Vznachennya zusal rozporu nasipnogo vantzhu na stini kuzova napivvagonu pri perevezenni zaliznichnim poromom. Zbirnik naukovih prats UkrDAZT. 2014. Vol. 143. P. 54-57.

5. *Senko V.I., Putyato A.V.* Otsenka vozdeystviya perevozimyyih sipuchih грузов na kuzova vagonov. Vestnik Dnepropetrovskogo natsionalnogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta im. akad. V.A. Lazaryana. 2009. № 30. P. 214-222.

6. *Fomin O.V.* Vprovadzheniya kruglih trub v nesuchi sistemi napivvagoniv z zabezpechenniam ratsionalnih pokaznikov mitsnosti. Naukoviy zhurnal «Tehnologicheskii audit i rezervy proizvodstva». 2015. № 4/1(24). P. 83-89.

7. *Fomin O.V., Lovska A.O., Plakhtii O.A., Nerubatskyi V.P.* The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. Scientific Bulletin of National Mining University. 2017. Iss. 6. P. 89-96.

8. *Evandro C. Bracht, Thiago A. de Queiroz, Rafael C.S. Schouery, Flávio K. Miyazawa* Dynamic cargo stability in loading and transportation of containers. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). 2016, 21-25 Aug.

9. *Hongxia Lv, Zhengjiang Yang, Yushuang Zhou* Measures of Loading and Securing Steel Coils in Containers in Rail-Water Combined Transport. ICTE. 2013, October.

10. *Panasenko N.N., Yakovlev P.V.* Proektirovanie konteynerov dlya morskoy perevozki dlinnomernykh trub. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Morskaya tehnika i tehnologiya. 2014. № 3. P. 97-107.

11. *Khadjimukhametova Matluba Adilovna, Rakhmatov Zafar Xasanovich* Development of improved technical means for transportation fruits and vegetables. European science review. 2016. P. 175-177.

12. *Tsarik R.S., Akmaykin D.A.* Otsenka vliyaniya polozheniya tsentra tyazhesti konteynera na metatsentricheskuyu vyisotu konteynerovoza. Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. 2016. № 6 (40). С. 58-70. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-58-70.

13. *Lovska A.* Simulation of loads on the carrying structure of an articulated flat car in combined transportation. International Journal of Engineering & Technology. 2018. № 7 (4.3). P. 140-146.

14. *Lovska A.O.* Vznachennya navantazhenosti konteyneriv u skladi kombinovanih poyizdiv pri perevezenni zaliznichnim poromom. Nauka ta progres transportu. Visnik Dni-propetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana. 2017. Vol. 6 (72). P. 49-60.

*Hadziuvna (received) 08.10.2019*

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

*Ловська Альона Олександрівна (Ловская Алена Александровна, Lovska Alyona Oleksandrivna)* – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри вагонів; тел.: (057) 730-10-35; e-mail: [alyonaLovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonaLovskaya.vagons@gmail.com).