

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.45

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2024.3-22.03>

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА У РАЗІ ЙОГО ЗАКРІПЛЕННЯ В НАПІВВАГОНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПНЕВМООБОЛОНОК

А.О. Ловська¹, А.О. Мурад'ян², П.В. Рукавішников³, О.В. Демидюков⁴

¹д.т.н., професор, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції,
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

²к.т.н., доцент, доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6488-6627

³старший викладач кафедри теплотехніки, теплових двигунів
та енергетичного менеджменту,
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-9670-3071

⁴аспірант кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4791-3830

Анотація

Вступ. Забезпечення ефективності роботи залізничного транспорту на сучасному етапі розвитку транспортної галузі зумовлює необхідність удосконалення комбінованих систем. Найбільш актуальними серед таких на тепер є контейнерні перевезення. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється на вагонах-платформах. Нестача вагонів-платформ в експлуатації спричиняє необхідність використання інших типів вагонів під контейнерні перевезення, наприклад напіввагонів. Однак використання напіввагонів для перевезення контейнерів потребує надійної схеми їх взаємодії, яка б забезпечувала нерухомість контейнерів під час транспортування.

Мета. Визначення навантаженості контейнера у разі його закріплення в напіввагоні за допомогою пневмооболонок.

Результати. Для забезпечення нерухомості контейнерів у повздовжній площині використовуються пневмооболонки, які встановлюються між торцевою стіною напіввагона та контейнером.

З метою дослідження ефективності застосування пневмооболонок для кріплення контейнерів у напіввагоні проведено математичне моделювання. Встановлено, що для дотримання прискорень контейнера в межах 20 м/с^2 , жорсткість пневмооболонки повинна становити не менше 2500 кН/м . Проведено розрахунок на міцність контейнера з урахуванням сприйняття ним

навантаження від пневмооболонки. Результати розрахунку показали, що максимальні напруження виникають у середній частині бокової балки і становлять 326,4 МПа. Максимальні переміщення в торцевій стіні зафіксовано за її центром, і вони дорівнюють 3,8 мм. Результати проведеного розрахунку дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера при завданих навантаженнях не забезпечується. Тому необхідним є удосконалення схеми закріплення контейнерів у напіввагоні.

Висновки. Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо підвищення ефективності експлуатації залізничних перевезень.

Ключові слова: транспортна механіка, контейнер, динамічна навантаженість, міцність контейнера, контейнерні перевезення.

DETERMINING THE LOAD OF THE CONTAINER WHEN IT IS FIXED IN AN OPEN WAGON USING PNEUMATIC SHELLS

A.O. Lovska¹, A.O. Muradian², P.V. Rukavishnikov³, O.V. Demydiakov⁴

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department
of Wagon Engineering and Product Quality,
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

²PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department
of Port Operation and Cargo Handling Technology,
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6488-6627

³Senior Lecturer at the Department of Heat Engineering,
Heat Engines and Energy Management,
Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-9670-3071

⁴Graduate student at the Department of port operation and cargo handling technology,
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-4791-3830

Summary

Introduction. Ensuring the efficiency of railway transport at the current stage of development of the transport industry necessitates the improvement of combined systems. Container transport is the most relevant among them today. Containers are transported by rail on flat wagons. The shortage of flat wagons in operation necessitates the use of other types of wagons for container transport, such as open wagons. However, the use of open wagons for container transport requires a reliable scheme of their interaction that would ensure the immobility of containers during transportation.

Purpose. Determining the load of a container when it is fixed in an open wagon using pneumatic shells.

Results. To ensure the containers' longitudinal stability, pneumatic shells used, which are installed between the end wall of the open wagon and the container.

Mathematical modelling was carried out to investigate the effectiveness of using pneumatic shells for fixed containers in an open wagon. It is established that in order to keep the container accelerations within 20 m/s², the stiffness of the pneumatic

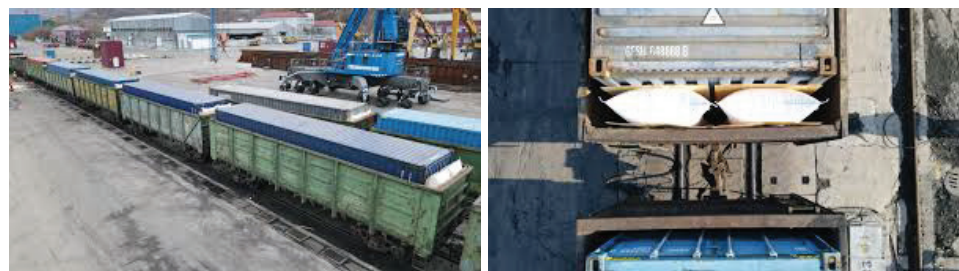
shell should be at least 2500 kN/m. The strength of the container was calculated taking into account the load perception from the pneumatic shell. The calculation results showed that the maximum stresses occurred in the middle part of the side beam and amounted to 326.4 MPa. The maximum displacements in the end wall were recorded at its centre and were equal to 3.8 mm. The results of the calculation allow us to conclude that the strength of the container under the applied loads is not ensured. Therefore, it is necessary to improve the scheme for securing containers in an open wagon.

Conclusions. The research will contribute to the development of recommendations for improving the efficiency of rail transport operations.

Key words: transport mechanics, container, dynamic load, container strength, container transportations.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Підвищення ефективності експлуатації транспортної галузі зумовило впровадження модульних транспортних засобів. Одним із найбільш поширених серед таких в експлуатації є контейнери. Це пояснюється можливістю їх перевезень майже всіма видами транспорту: залізничним, автомобільним, водним та авіаційним. Суттєва частка контейнерних перевезень припадає на залізничний транспорт. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється на вагонах-платформах. Нестача вагонів-платформ в експлуатації спричиняє необхідність використання інших типів вагонів під контейнерні перевезення, наприклад напіввагонів. Разом із цим використання напіввагонів для перевезення контейнерів потребує надійної схеми їх взаємодії, яка б забезпечувала їх нерухомість під час транспортування.

Для забезпечення нерухомості контейнерів у повздовжній площині використовують пневмооболонки, які встановлюються між торцевою стіною напіввагона та контейнером (рис. 1).



а)
Рис. 1. Кріплення контейнера в напіввагоні за допомогою пневмооболонки:
а) вид збоку; б) вид зверху

Зазвичай такі пневмооболонки мають стандартні розміри і характеристики. Наприклад, можуть застосовуватися пневмооболонки розміром 900x1200 мм (рис. 2).



Рис. 2. Пневмооболонка для кріплення вантажів у вагонах

Для дослідження ефективності застосування пневмооболонок для кріплення контейнерів у напіввагоні необхідним є визначення їх навантаженості в умовах експлуатаційних режимів. Тому дослідження, присвячені визначенню навантаженості контейнера у разі його закріплення в напіввагоні за допомогою пневмооболонок, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язання цієї проблеми, і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Питанню перевезень контейнерів залізничним транспортом присвячено чимало публікацій. Так, аналіз основних показників міцності несучої конструкції напіввагона під час перевезення в ньому контейнерів висвітлюється у публікації [1]. При цьому досліджено повздовжню динаміку напіввагона, завантаженого двома контейнерами. Враховано, що їх взаємодія здійснюється через фітингові упори, які приварені до підлоги напіввагона. Проведені розрахунки показали, що перевезення контейнерів з використанням зазначеної схеми закріплення є допустимим. Однак в умовах наднормових режимів така схема закріплення є неефективною.

У роботі [2] для адаптації транспортних засобів до перевезень контейнерів запропоновано конструкцію зйомного модуля типу FLAT RACK. Наведено результати розрахунку зйомного модуля на міцність за умови його використання на вагоні-платформі. Результати розрахунку довели доцільність запропонованої конструкції зйомного модуля. Разом із цим авторами не досліджувалась можливість його використання для кріплення контейнерів у напіввагонах.

Особливості модернізації несучої конструкції вагона для можливості перевезень на ньому контейнерів висвітлюються в роботі [3]. Авторським колективом наведено результати експериментальних досліджень міцності рами вагона при маневровому співударянні. Встановлено, що запропонована модернізація є доцільною.

Особливості модернізації вантажного вагона для перевезень контейнерів висвітлено у статті [4]. Авторами запропоновано використання зйомної рами

для розміщення 20-ти та 40-футових контейнерів. Доведено, що запропоновані рішення щодо використання такої рами є ефективними. Однак дослідження [3; 4] проведені на прикладі вагона-платформи.

У роботі [5] наведено рішення щодо ситуаційної адаптації напіввагонів до перевезень контейнерів. Запропоновано спеціальний зйомний модуль для закріплення контейнерів у напіввагоні. Однак авторами не приділялася увага дослідженню міцності несучої конструкції напіввагона та контейнера з урахуванням використання такого модуля.

У статті [6] висвітлюються особливості розрахунку на міцність підлоги 40-футового контейнера у разі його перевезення водним транспортом. Запропоновані рекомендації щодо безпечної експлуатації даного типу контейнера. Однак ці рішення не є ефективними у разі його перевезення залізничним транспортом, зокрема в напіввагонах.

Проведений аналіз літературних джерел доводить, що питання навантаженості контейнерів у разі перевезення залізничним транспортом є досить актуальними, однак вони потребують подальшого дослідження.

Формулювання мети статті, постановка завдання. Визначення навантаженості контейнера при його закріпленні в напіввагоні за допомогою пневмооболонки. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- провести математичне моделювання повздовжньої навантаженості контейнера, розміщеного в напіввагоні;
- розрахувати на міцність контейнер у разі його закріплення в напіввагоні за допомогою пневмооболонки.

Об'єктом дослідження є контейнер типорозміру 1СС.

Предмет дослідження – навантаженість контейнера у разі його закріплення в напіввагоні за допомогою пневмооболонки.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для визначення ефективності застосування пневмооболонки для кріплення контейнерів у напіввагоні проведено математичне моделювання. Для цього використано математичну модель (1) [7]. Модель характеризує навантаженість контейнера в повздовжній площині, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні.

У рамках даного дослідження зазначену модель було доопрацьовано шляхом урахування сили від пневмооболонки на контейнер. Прийнято припущення, що пневмооболонка повністю розподілена відносно торцевої стіни контейнера. Враховано, що обпирання контейнера та його кріплення в напіввагоні здійснюється через фітинги, які взаємодіють з фітинговими упорами. За рахунок наявності технологічного зазору виникають сили тертя між горизонтальними поверхнями фітингів та фітингових упорів. Контейнер завантажений умовним вантажем із використанням повної вантажопідйомності. Переміщення вантажу в контейнері до уваги не бралось. Зазор між пневмооболонкою та стінкою контейнера відсутній. Попереднє статичне стиснення пневмооболонки в моделі не враховувалося. Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами, наведена на рис. 3. На цій схемі пневмооболонки позначено сірим кольором.

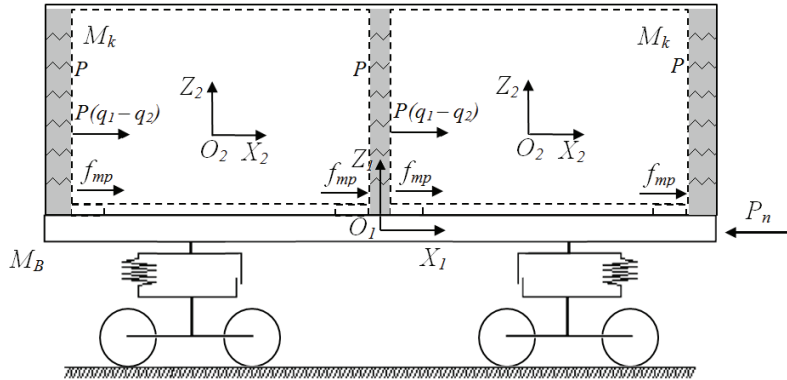


Рис. 3. Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами

Математична модель, яка описує динамічну навантаженість контейнера при перевезенні його в напіввагоні має вигляд:

$$\begin{cases} M_{\text{пв}} \cdot \ddot{q}_1 = P_n - \sum_{i=1}^n (f_{\text{мп}} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + P \cdot (q_1 - q_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (f_{\text{мп}} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + P \cdot (q_1 - q_2)), \end{cases} \quad (1)$$

де M_B – маса-брутто напіввагона; P_n – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп; $f_{\text{мп}}$ – сила тертя між фітинговими упорами та фітингами; M_k – маса контейнера; P – жорсткість пневмооболонки; q_1, q_2 – відповідно узагальнені переміщення напіввагона та контейнера.

Розв’язок даної системи рівнянь здійснено у MathCad [8; 9] при початкових умовах (швидкостях та прискореннях), близьких до нуля [10]. Результати розрахунку свідчать, що для дотримання прискорень контейнера в межах 20 м/с^2 жорсткість пневмооболонки повинна становити не менше 2500 кН/м (рис. 4).

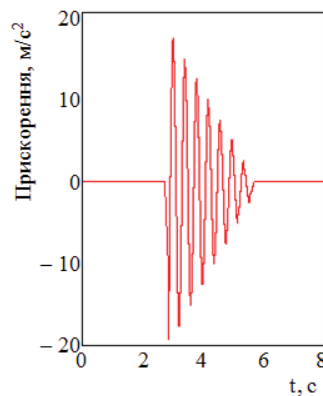


Рис. 4. Прискорення, які діють на контейнер

Важливо сказати, що в умовах наднормових режимів експлуатації дана величина жорсткості повинна мати ще більше значення.

Для визначення міцності контейнера з урахуванням закріплення його за допомогою пневмооболонки у напіввагоні проведено розрахунок у SolidWorks Simulation [11; 12]. Розрахункову схему контейнера наведено на рис. 5.



Рис. 5. Розрахункова схема контейнера

Враховано, що на торцеву стіну діє навантаження від пневмооболонки, яке рівномірно розподілене за її площею (2,591x2,438 м). Контейнер знаходиться у завантаженому стані з використанням повної вантажопідйомності. Закріплення контейнера відбувалося за допомогою фітингових упор. Матеріал конструкції – сталь 09Г2С [13].

Скінчено-елементна модель контейнера утворена тетраедрами. Їх оптимальну чисельність визначено графоаналітично [14]. При цьому модель налічує 123391 елемент та 40050 вузлів. Максимальний розмір елемента скінчено-елементної моделі склав 120 мм, а мінімальний – 24 мм. Результати розрахунку наведено на рис. 6, 7.

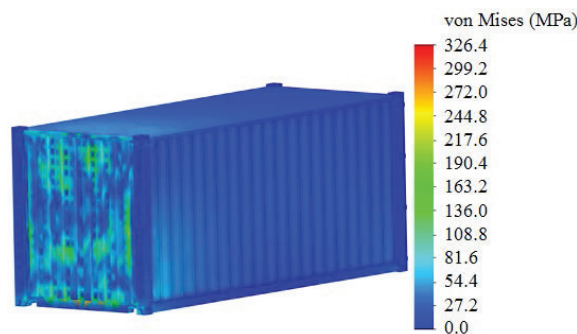


Рис. 6. Напружений стан контейнера

Максимальні напруження в контейнері зафіксовано в середній частині бокової балки, вони склали 326,4 МПа. В обшивці торцевої стіни ці напруження склали близько 290 МПа. Максимальні переміщення в торцевій стіні виникають за її центром і дорівнюють 3,8 мм. Результати проведеного розрахунку дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера при завданих навантаженнях не забезпечується.

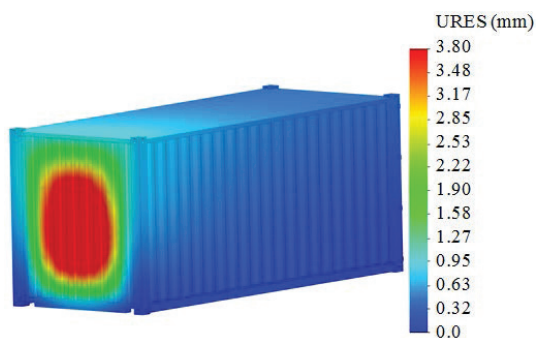


Рис. 7. Переміщення в контейнері

Висновки і перспектива подальшої роботи в цьому напрямі. 1. Проведено математичне моделювання повздовжньої навантаженості контейнера, розміщеного в напіввагоні. Встановлено, що для дотримання прискорень контейнера в межах 20 м/с^2 жорсткість пневмооболонки повинна становити не менше 2500 кН/м . У зв'язку з великою різноманітністю за технічними характеристиками пневмооболонки, визначення тиску повітря, яке відповідає даній величині жорсткості, на даному етапі дослідження не здійснювалося.

2. Розраховано на міцність контейнер у разі його закріплення в напіввагоні за допомогою пневмооболонки. Максимальні напруження виникають у середній частині бокової балки і становлять $326,4 \text{ МПа}$. Максимальні переміщення в торцевій стіні зафіксовано за її центром, і вони дорівнюють $3,8 \text{ мм}$. Результати проведеного розрахунку дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера при завданих навантаженнях не забезпечується. Тому питання удосконалення схеми закріплення контейнерів у напіввагонах потребують подальших досліджень.

Подяка. Дана публікація підготовлена у рамках виконання стипендіальної роботи Верховної Ради України для молодих учених – докторів наук «Ефективні конструктивні рішення залізничного рухомого складу для перевезень стратегічних вантажів» (№ДР 0124U003906).

ЛІТЕРАТУРА

1. Ловська А. О., Діжо Я., Рибін А. В., Рукавішников П. В. Особливості визначення показників міцності кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2024. № 26. DOI: 10.33216/2222-3428-2024-26-9
2. Sergii Panchenko, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov, Kateryna Kravchenko. The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(1), 79. DOI: 10.3390/app13010079
3. О. Н. Reidemeister, V. O. Kalashnyk, O. A. Shykunov. Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Наука та прогрес транспорту*.

- Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2016. № 2 (62). DOI: 10.15802/stp2016/67334
4. Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-feet-long containers on an universal platform wagon / V. Shaposhnyk, O. Shykunov, A. Reidemeister, M. Leontii, O. Potapenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1(7 (109)). P. 14–21. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225090
 5. Situational adaptation of the open wagon body to container transportation / Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Glib Vatulia, Mykhailo Pavliuchenkov, Oleksandr Kravchenko, Sebastian Solcansky. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(15), 8605. DOI: 10.3390/app13158605
 6. Arkadiusz Rzeczycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90.
 7. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при пружно-в'язкій взаємодії фітінгів з фітінговими упорами. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2019. Вип. 184. С. 6–19.
 8. Богач І. В., Краковецький О. Ю., Килик Л. В. Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь засобами MathCad : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 106 с.
 9. Сясев А. В. Вступ до системи MathCad : навчальний посібник. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. 108 с.
 10. Lovskaya Alyona. Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 3, Issue 4. P. 36–41. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.24997
 11. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks : навчальний посібник. Луцьк : Вежа. 2018. 172 с.
 12. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks : навчальний посібник. Херсон : Олді-плюс, 2018. 252 с.
 13. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 250 с.
 14. Identifying patterns in loading a gondola car body with reinforcing belts in the structure of side walls / Alyona Lovska, Oleksandr Stanovskyi, Oksana Zharova, Yevheniia Naumenko, Yevhen Pelypenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 3/7 (129). P. 17–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.303987

REFERENCES

1. Lovska A. O., Dizo Ya., Rybin A. V. & Rukavishnikov P. V. (2024). Peculiarities of determining the strength indicators of the semi-wagon body when transporting containers in it [Osoblyvosti vyznachennia pokaznykiv mitsnosti kuzova napivvahona pry transportuvanni v nomu konteineriv]. *Naukovi visti Dalivskoho universytetu*, 26. DOI: 10.33216/2222-3428-2024-26-9 [in Ukrainian]

2. Sergii Panchenko, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov & Kateryna Kravchenko. (2023). The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*, 13(1), 79. DOI: 10.3390/app13010079
3. O. H. Reidemeister, V. O. Kalashnyk & O. A. Shykunov. (2016). Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Nauka ta prohresh transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, 2 (62). DOI: 10.15802/stp2016/67334
4. V. Shaposhnyk, O. Shykunov, A. Reidemeister, M. Leontii & O. Potapenko. (2021). Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-foot-long containers on an universal platform wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7 (109)), 14–21. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225090
5. Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Glib Vatulia, Mykhailo Pavliuchenkov, Oleksandr Kravchenko & Sebastian Solcansky. (2023). Situational adaptation of the open wagon body to container transportation. *Applied Sciences*, 13(15), 8605. DOI: 10.3390/app13158605
6. Arkadiusz Rzeczycki & Bogusz Wisnicki. (2016). Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*, 252, 81–90.
7. Lovska A. O. (2019). Determination of the load of a container placed on a platform car during the elastic-viscous interaction of fittings with fitting stops [Vyznachennia navantazhenosti konteineru, rozmishchenoho na vahoni-platformi pry pruzhno-viazkii vzaємodii fitynhiv z fitynhovymy uporamy]. *Collection of scientific works of UkrSURT*, 184, 6–19. [in Ukrainian]
8. Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu. & Kylyk, L. V. (2020). Numerical methods for solving differential equations using MathCad: Tutorial [Chyselni metody rozv'iazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad: Navchalnyi posibnyk]. Vinnytsia: VNTU. 106 p. [in Ukrainian]
9. Syasev, A. V. (2004). Introduction to the MathCad system: a study guide [Vstup do systemy MathCad: navchalnyi posibnyk]. Dnipropetrovsk: Publishing House of Dnipropetr. University, 108 p. [in Ukrainian]
10. Lovskaya Alyona. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 4, 36–41. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.24997
11. Pustylga, S. I., Samostyan, V. R. & Klak, Y. V. (2018). Engineering graphics in SolidWorks: a tutorial. [Inzhenerna hrafika v SolidWorks: navchalnyi posibnyk]. Lutsk: Tower, 172 p. [in Ukrainian]
12. Kozyar, M. M., Feshchuk, Yu. V. & Parfenyuk O. V. (2018). Computer graphics: SolidWorks: Study guide. [ompiuterna hrafika: SolidWorks: Navchalnyi posibnyk]. Kherson: Oldi-plus, 252 p. [in Ukrainian]
13. DSTU 7598:2014. Freight wagons. General requirements for calculations and design of new and modernized 1520 mm gauge wagons

- (non-self-propelled) [Vahony vantazhni. Zahalni vymohy do rozrakhunkiv ta proiektuvannia novykh i modernizovanykh vahoniv kolii 1520 mm (nesamokhidnykh)]. (2015) Kyiv. 2015. 250 p. [in Ukrainian]
14. Alyona Lovska, Oleksandr Stanovskyi, Oksana Zharova, Yevheniia Naumenko & Yevhen Pelypenko. (2024). Identifying patterns in loading a gondola car body with reinforcing belts in the structure of side walls. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/7 (129), 17–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.303987