

А.О. Ловська, д.т.н., проф.
В.Г. Равлюк, д.т.н., проф.
П.В. Рукавішников, к.т.н., ст. викладач
Д.І. Скуріхін, к.т.н., доц.
А.В. Рибін, к.т.н., доц.
В.В. Бондаренко, к.т.н., доц.

Український державний університет залізничного транспорту

Застосування інформаційно-вимірювальних технологій при дослідженні міцності складових конструкцій вагонів

Для можливості перевезень контейнерів в напіввагонах запропоновано конструкцію знімного модуля. Модуль кріпиться в напіввагоні через фітингові упори та забезпечує рівномірну передачу навантаження на його підлогу. Оскільки підлога напіввагона може бути утвореною кришками люків, то в рамках дослідження висвітлено особливості експериментального визначення міцності кришки люка при її навантаженні від знімного модуля із застосуванням інформаційно-вимірювальних технологій. При цьому застосовано метод електричного тензометрування. Його реалізовано на реальній кришці люка в лабораторних умовах. При проведенні випробувань застосовано тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом. Перед монтажем тензорезисторів здійснювалось їх тарування. Монтаж тензорезисторів здійснено за мостовою схемою. Місця розміщення тензорезисторів на кришці люка визначено за полями розподілень напружень в кришці люка, які отримано розрахунковим шляхом. Для імітації закріплення кришки люка на напіввагоні створено спеціальний стенд. Закріплення кришки люка на стенді здійснювалось за її петлі. В петлі встановлювалися металеві пальці. Під запірні кронштейни встановлювалися упори. Передача навантажень на кришку люка здійснювалась через металеву пластину, ширина якої дорівнює ширині повздовжньої балки знімного модуля. Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали близько 105 МПа, що нижче за допустимі. Найбільший відсоток розбіжності між результатами, отриманими теоретичним та експериментальним шляхами склав майже 10 %.

Результати проведених досліджень сприяють підвищенню ефективності контейнерних перевезень залізничним транспортом та створенню напрацювань щодо проектування конструкцій модульних транспортних засобів.

Ключові слова: залізничний транспорт; експериментальне дослідження міцності; напружений стан кришки люка; деформації кришки люка; інформаційно-вимірювальні технології.

Актуальність теми. Контейнерні перевезення є одним із найбільш поширених видів перевезень вантажів в міжнародному сполученні [1]. При цьому значна доля контейнерних перевезень припадає на залізничний транспорт [2]. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється на вагонах-платформах. Нестача вагонів-платформ в експлуатації викликає необхідність використання інших типів вагонів під контейнерні перевезення, наприклад, напіввагонів. Разом з цим, використання напіввагонів під перевезення контейнерів потребує забезпечення надійної схеми їх взаємодії. Це пояснюється тим, що напіввагон не пристосований для цих цілей. Відсутність адаптації напіввагона до таких перевезень може призвести до виникнення пошкоджень не тільки самого контейнера, перевозимого у ньому вантажу, а і кузова напіввагона. У зв'язку з цим, питання ситуаційної адаптації напіввагонів до перевезень контейнерів є досить актуальними. Важливо зазначити, що ці питання повинні супроводжуватися не тільки теоретичним обґрунтуванням їх впровадження, а і експериментальним, в тому числі із використанням інформаційно-вимірювальних технологій. Тому виникає необхідність проведення досліджень в зазначеному напрямку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Питання технічної адаптації залізничних транспортних засобів до контейнерних перевезень є досить актуальними. Наприклад, в роботі [3] висвітлено результати досліджень навантаженості концептів вагонів-платформ для підвищення ефективності їх експлуатації в міжнародному сполученні. Запропоновано заходи щодо удосконалення вагонів-платформ, а саме для можливості перевезень контейнерів, лісу у хлистах, сталі у рулонах, технологічної щепи, контейнерів, застосування вагонів-платформ у військово-стратегічній цілях тощо. Однак рішень, спрямованих на адаптацію напіввагонів до перевезень контейнерів, в цій роботі не розглянуто.

В статті [4] запропоновано удосконалення універсального вагона-платформи. Дане удосконалення полягає у монтажі фітингових упорів на повздовжні балки рами. Висвітлено результати

експериментальних досліджень міцності вагона-платформи при маневровому співударянні. Доведено, що запропонована модернізація є доцільною. Разом з цим, доцільність подібної модернізації напіввагона авторами не досліджувалась.

Аналогічний недолік притаманний і статті [5]. В цій роботі запропоновано рішення щодо адаптації вагона-платформи до контейнерних перевезень шляхом використанні знімної рами. Результати проведених розрахунків довели доцільність такого рішення.

У статтях [6, 7] наведено результати визначення міцності кришки люка напіввагона при сприйнятті нею навантаження від фітингового упора для кріплення контейнерів. Встановлено, що перевезення контейнерів в напіввагонах без додаткової модернізації не є можливою. Однак в даних статтях авторами не запропоновано рішень щодо адаптації напіввагонів до контейнерних перевезень.

У [8] висвітлено рішення щодо можливості перевезень контейнерів у вагоні типу RgS. Для кріплення контейнерів у вагоні пропонується застосування спеціальних бовтів. Наведено результати розрахунків щодо вибору оптимальних параметрів бортів. Разом із цим, авторами не проводилися дослідження щодо можливості застосування даної схеми закріплення для контейнерів в напіввагонах.

Проведений аналіз літературних джерел доводить, що дослідження, спрямовані на ситуаційну адаптацію вагонів до перевезень контейнерів є актуальними. Однак досі не приділялося належної уваги питанням адаптації напіввагонів до контейнерних перевезень, в тому числі експериментальному дослідженню їх міцності при такій схемі комбінованої взаємодії. Це зумовлює необхідність проведення досліджень за цим напрямком.

Метою статті є висвітлення особливостей застосування інформаційно-вимірювальних технологій при дослідженні міцності складових конструкцій вагонів на прикладі кришки люка. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- створити стенд для імітації закріплення кришки люка на напіввагоні;
- провести експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від знімного модуля.

Викладення основного матеріалу. Для безпечного перевезення контейнерів в напіввагоні пропонується використання знімного модуля. Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між контейнером та кузовом напіввагона (рис. 1, а). Кріплення модуля в кузові здійснюється за допомогою фітингових упорів, які приварюються до кришок люків напіввагонів (рис. 1, б). Кутові частини знімного модуля містять фітинги. Таким чином забезпечується надійне закріплення знімного модуля в кузові напіввагона.

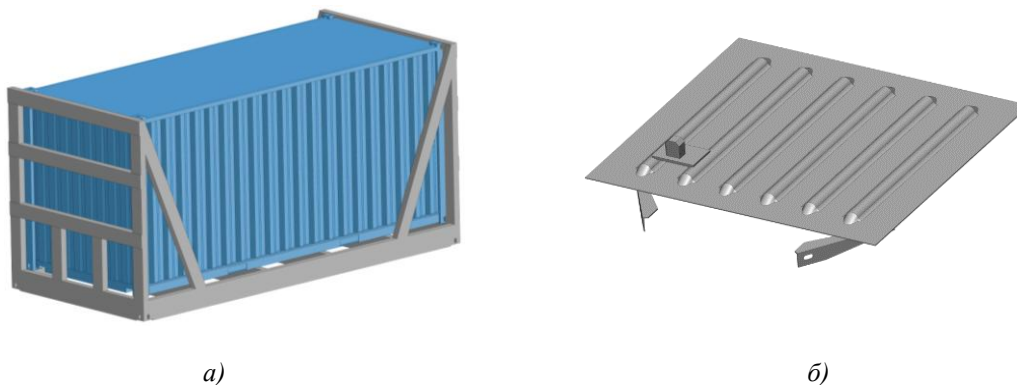


Рис. 1. Рішення щодо технічної адаптації напіввагонів до перевезень контейнерів
а) знімний модуль для кріплення контейнерів в напіввагонах (при взаємодії із контейнером);
б) фітинговий упор, розміщений на кришці люка

Для визначення міцності кришки люка при її навантаженні від знімного модуля проведено експериментальні дослідження. При проводилися стендові випробування в дослідній лабораторії «Центру діагностики споруд транспортного призначення» при Українському державному університеті залізничного транспорту (м. Харків).

Для випробування кришки люка створено спеціальний стенд (рис. 2).

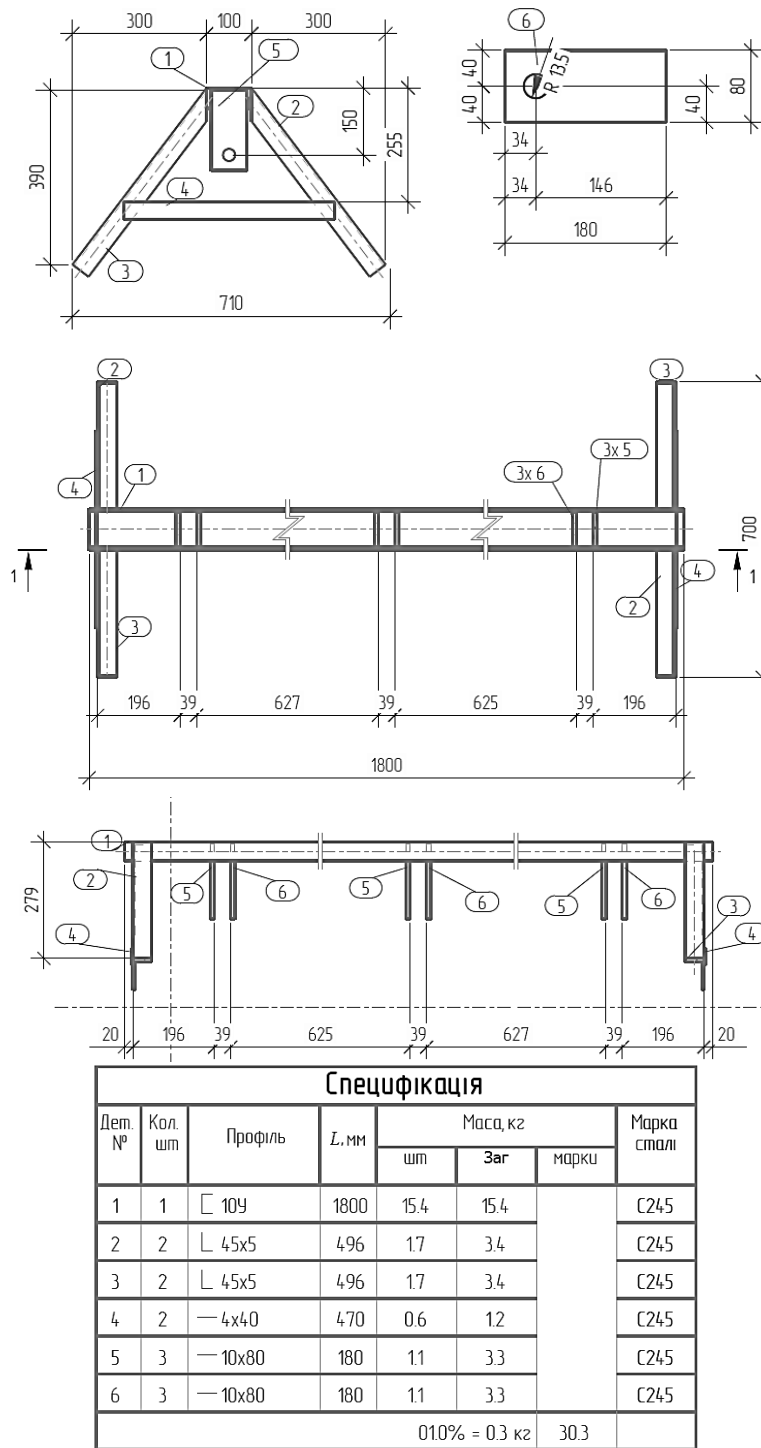
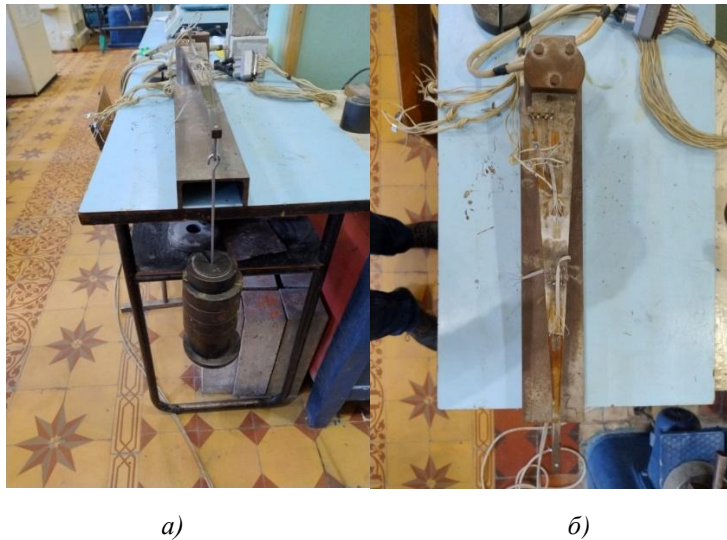


Рис. 2. Стенд для випробування кришки люка

Закріплення кришки люка на стенді здійснювалося за петлі. При цьому в петлі встановлювалися металеві пальці. Під запірні кронштейни кришки люка встановлювалися упори. Таким чином імітувалася реальна схема взаємодії кришки люка з хребтовою балкою рами вагона.

Визначення напружень в кришці люка проведено з використанням методу електричного тензометрування. Перед початком монтажу тензорезисторів на кришку люка здійснювалось їх тарирування (рис. 3).



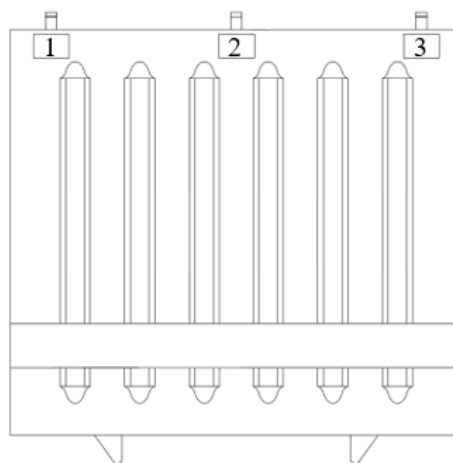
*Рис. 3. Тарування тензорезисторів
а) навантаження балки; б) розміщення тензорезисторів на балці*

При цьому застосовувалися тензорезистори, які мають базу 10 мм та опір 100 Ом (рис. 4).



Рис. 4. Розміщення тензорезисторів на кришці люка

Монтаж тензорезисторів здійснено із використанням мостової схеми. Місця монтажу тензорезисторів визначено теоретичним шляхом за полями напружень. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано у програмному комплексі SolidWorks Simulation [7]. Схему розміщення тензорезисторів на кришці люка наведено на рисунку 5.



*Рис. 5. Розміщення тензорезисторів на кришці люка
1 – перша група; 2 – друга група; 3 – третя група*

Передача навантаження на кришку люка здійснювалась через металеву пластину. Її ширина дорівнює ширині повздовжньої балки знімного модуля (рис. 6). Таким чином моделювалася передача вертикального навантаження від повздовжньої балки знімного модуля на кришку люка.



Рис. 6. Розміщення кришки люка на стенді

Навантаження на пластину передавалося через двотавр. Двотавр своєю чергою сприймав навантаження від домкрата, встановленого на нього. Чисельне значення навантаження контролювалося динамометром. Максимальна величина вертикального навантаження дорівнювала 6 т (60 кН). Показання тензорезисторів знімалися тензометричною станцією ВНП-8 (рис. 7).



Рис. 7. Знімання показань тензорезисторів

Тензометрична станція фіксувала деформації в кришці люка. Найбільші деформації зафіксовано групою тензорезисторів № 3 (рис. 8).

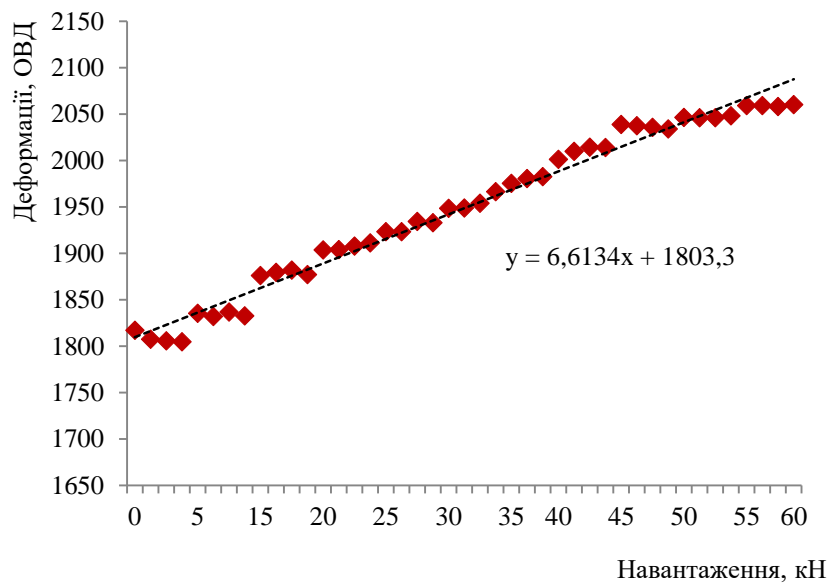


Рис. 8. Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження

З рисунка 8 видно, що залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження на неї є лінійною функцією. Залежність напружень в кришці люка від вертикального навантаження на неї наведено на рисунку 9.

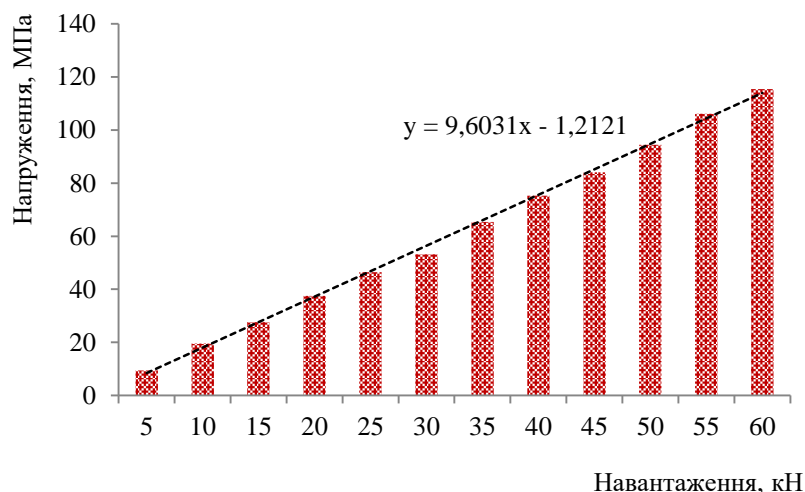


Рис. 9. Залежність напружень в кришці люка від вертикального навантаження

Максимальні напруження в кришці люка склали близько 105 МПа. Важливо сказати, що ці напруження нижчі за допустимі [9, 10].

Результати проведених випробувань дозволяють зробити висновок, що запропонована схема закріплення контейнерів в напіввагоні сприяє зниженню напружень в кришці люка у 3 рази у порівнянні із типовою схемою [7].

За попередніми розрахунками економічний ефект від використання запропонованої технології перевезень контейнерів за розрахунковий період (10 років) складає 88,028 млн грн (контейнери типорозміру 1СС) або 49,376 млн грн (контейнери типорозміру 1АА). При цьому економічний ефект визначено річною економією залежної частини експлуатаційних витрат в порівнянні з базовим варіантом використання напіввагонів та одноразовими витратами на їх конструктивне переоснащення для перевезень контейнерів за порожнім напрямком.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Створено стенд для імітації закріплення кришки люка на напіввагоні. Закріплення кришки люка на стенді здійснювалося за її петлі. В петлі встановлювалися металеві пальці. Під запірні кронштейни

встановлювалися упори. Передача навантаження на кришку люка здійснювалась через металеву пластину, яка імітувала повздовжню балку рами знімного модуля. Навантаження на пластину передавалося через двотавр, який сприймав навантаження від домкрата, встановленого на нього.

2. Проведено експериментальне дослідження міцності кришки люка, навантаженої від знімного модуля. Максимальні напруження в кришці люка склали близько 105 МПа. Отримана величина напружень нижча за допустимі. Найбільший відсоток розбіжності між результатами, отриманими теоретичним та експериментальним шляхами склав майже 10 % і зафіксований при навантаженні на кришку люка у 20 кН.

Подальшим розвитком даного дослідження є створення моделі знімного модуля та проведення експериментального дослідження його міцності. Такі дослідження планується зробити із використанням методу подоби у лабораторних умовах.

Дана публікація виконана в рамках науково-дослідної роботи «Підвищення безпеки руху залізничного рухомого складу шляхом впровадження інтегрованих технологій підтримки життєвого циклу» (№ДР0125U001907), яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2025 р.

Список використаної літератури:

1. Container Transport System as a Means of Saving Resources / L.Soloviova, O.Strelko, S.Isaienko and other // IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 459. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052070.
2. Caban J. Strength analysis of a container semi-truck frame / J.Caban, A.Nieoczym, L.Gardyński // Engineering Failure Analysis. – 2021. – Vol. 127. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105487.
3. Lovska A. Situational adaptation of flat wagons for international traffic : monograph / A.Lovska. – Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. – 312 p. DOI: 10.30525/978-9934-26-467-2.
4. Reidemeister O.H. Modernization as a way to improve the use of universal cars / O.H. Reidemeister, V.O. Kalashnyk, O.A. Shygunov // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – № 2 (62). DOI: 10.15802/stp2016/67334.
5. Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-foot-long containers on an universal platform wagon / V.Shaposhnyk, O.Shygunov, A.Reidemeister and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 1, № 7 (109). – P. 14–21. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225090.
6. Research into the Strength of the Discharge Door of an Open Wagon Transporting Containers / J.Gerlici, A.Lovska, G.Vatulia and other // AIP Conf. Proc. – 2024. – Vol. 3129. DOI: 10.1063/5.0201451.
7. Аналіз міцності кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів / А.О. Ловська, А.О. Мурад'ян, П.В. Рукавішников, О.В. Демидюков // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки. – 2024. – Т. 35 (74), № 2. – С. 304–309. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.2/42.
8. The mechanism's study of fixing a container on a freight wagon type Rgs / C.Berescu, C.Fratila, T.Axinte and other // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 916. DOI: 10.1088/1757-899X/916/1/012010.
9. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проєктування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) : ДСТУ 7598:2014. – Київ, 2015. – 250 с.
10. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies. Part 2. Freight wagons : EN 12663-2:2010. – Brussels : European committee for standardization, 2010. – 50 p.

References:

1. Soloviova, L., Strelko, O., Isaienko, S. et al. (2020), «Container Transport System as a Means of Saving Resources», *IOP Conf. Series. Earth and Environmental Science*, Vol. 459, doi: 10.1088/1755-1315/459/5/052070.
2. Caban, J., Nieoczym, A. and Gardyński, L. (2021), «Strength analysis of a container semi-truck frame», *Engineering Failure Analysis*, Vol. 127, doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105487.
3. Lovska, A. (2024), *Situational adaptation of flat wagons for international traffic*, monograph, Baltija Publishing, Riga, Latvia, 312 p., doi: 10.30525/978-9934-26-467-2.
4. Reidemeister, O.H., Kalashnyk, V.O. and Shygunov, O.A. (2016), «Modernization as a way to improve the use of universal cars», *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, No. 2 (62), doi: 10.15802/stp2016/67334.
5. Shaposhnyk, V., Shygunov, O., Reidemeister, A. et al. (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*, Vol. 1, No. 7 (109), pp. 14–21, doi: 10.15587/1729-4061.2021.225090.
6. Gerlici, J., Lovska, A., Vatulia, G. et al. (2024), «Research into the Strength of the Discharge Door of an Open Wagon Transporting Containers», *AIP Conf. Proc.*, Vol. 3129, doi: 10.1063/5.0201451.
7. Lovska, A.O., Muradian, A.O., Rukavishnykov, P.V. and Demydiukov, O.V. (2024), «Analiz mitsnosti kryshky liuka universalnoho napivvahona pry perevezenni v nomu konteineriv», *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Serii. Tekhnichni nauky*, Vol. 35 (74), No. 2, pp. 304–309, doi: 10.32782/2663-5941/2024.2/42.
8. Berescu, C., Fratila, C., Axinte, T. et al. (2020), «The mechanism's study of fixing a container on a freight wagon type Rgs», *IOP Conf. Series. Materials Science and Engineering*, Vol. 916, doi: 10.1088/1757-899X/916/1/012010.
9. *DSTU 7598:2014. Vahony vantazhni. Zahalni vymohy do rozrakhunkiv ta proiektuvannia novykh i modernizovanykh vahoniv kolii 1520 mm (nesamokhidnykh)* (2015), Kyiv, 250 p.
10. *EN 12663-2:2010. Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies. Part 2. Freight wagons* (2010), European committee for standardization, Brussels, 50 p.

Ловська Альона Олександрівна – доктор технічних наук, професор Українського державного університету залізничного транспорту.

<http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>.

Наукові інтереси:

- проектування;
- дослідження динаміки та міцності несучих конструкцій залізничних транспортних засобів.

Равлюк Василь Григорович – доктор технічних наук, професор Українського державного університету залізничного транспорту.

<https://orcid.org/0000-0003-4818-9482>.

Наукові інтереси:

- технічна експлуатація та ремонт вагонів;
- гальмівні системи рухомого складу.

Рукавішников Павло Володимирович – кандидат технічних наук, старший викладач Українського державного університету залізничного транспорту.

<https://orcid.org/0000-0002-9670-3071>.

Наукові інтереси:

- проектування;
- дослідження динаміки та міцності несучих конструкцій залізничних транспортних засобів.

Скуріхін Дмитро Ігорович – кандидат технічних наук, доцент Українського державного університету залізничного транспорту.

<https://orcid.org/0000-0002-1122-1234>.

Наукові інтереси:

- надійність;
- діагностика та неруйнівний контроль рухомого складу та його частин.

Рибін Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент Українського державного університету залізничного транспорту.

<https://orcid.org/0000-0003-4430-8018>.

Наукові інтереси:

- підвищення міцності та надійності вантажних вагонів;
- удосконалення системи їх технічного обслуговування.

Бондаренко В'ячеслав Володимирович – кандидат технічних наук, доцент Українського державного університету залізничного транспорту.

<https://orcid.org/0000-0003-4019-4017>.

Наукові інтереси:

- автоматизація виробництва та мікропроцесорні системи керування;
- РВ-системи енергозабезпечення.

Lovska A.O., Ravlyuk V.G., Rukavishnykov P.V., Skurikhin D.I., Rybin A.V., Bondarenko V.V.
Application of information and measuring technologies in the study of the strength of the component structures of wagons

A removable module design has been proposed to enable the transportation of containers in open wagons. The module is mounted on an open wagon through fitting stops and ensures uniform load transfer to its floor. Since the floor of the open wagon can be formed by hatch covers, the study highlights the features of experimental determination of the strength of the hatch cover when loaded from a removable module using information and measuring technologies. The method of electrical strain gauge measurement was used. It was implemented on a real hatch cover in laboratory conditions. Strain gauge resistors with a base of 10 mm and a resistance of 100 Ohms were used during the tests. They were calibrated before installing the strain gauge resistors. The strain gauge resistors were installed using a bridge circuit. The locations of the strain gauges on the hatch cover were determined by the stress distribution fields in the hatch cover, which were obtained by calculation. A special stand was created to simulate the fastening of the hatch cover on the open wagon. The hatch cover was fastened to the stand by its hinge. Metal fingers were installed in the hinge. Stops were installed under the locking brackets. The load was transferred to the hatch cover through a metal plate, the width of which is equal to the width of the longitudinal beam of the removable module. The maximum stresses recorded in the hatch cover were about 105 MPa, which is lower than the permissible ones. The largest percentage of discrepancy between the results obtained by theoretical and experimental methods was almost 10 %.

The results of the conducted research will contribute to increasing the efficiency of container transportation by rail and creating developments in the design of modular vehicle structures.

Keywords: railway transport; experimental study of strength; stress state of the hatch cover, deformations of the hatch cover, information and measurement technologies.

Стаття надійшла до редакції 06.01.2026.