

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.45

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2024.1-20.04>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ДИНАМІКИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ, ЗАВАНТАЖЕНОГО З'ЄМНИМИ МОДУЛЯМИ ПРИ РУСІ СТИКОВОЮ НЕРІВНІСТЮ

А.О. Ловська¹, А.О. Мурад'ян², О.В. Демидюков³

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

³аспірант кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт»,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-4791-3830

Анотація

Вступ. Перспективи експлуатації залізничного транспорту диктують необхідність уведення інновацій для підвищення ефективності його використання. Рівень поповнення вагонного парку за останні роки є незначним. У зв'язку з цим для забезпечення безперервного перевізного процесу доцільною є ситуаційна адаптація наявного парку вагонів до перевезень завданої номенклатури вантажів. Оскільки одним із найбільш затребуваних типів вагонів у міжнародному сполученні є вагони-платформи, то важливим є проведення ситуаційної адаптації їх несучих конструкцій до таких перевезень.

Мета. Метою дослідження є висвітлення результатів моделювання вертикальної динаміки вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями, що рухається стиковою нерівністю.

Результати. Для розширення номенклатури вантажів, які перевозяться на довгобазних вагонах-платформах, пропонується використання з'ємного модуля. Вантажний майданчик з'ємного модуля утворений сендвіч-панелями, що складаються з двох металевих листів, між якими знаходиться енергопоглинаючий матеріал. Однак наявність енергопоглинаючого матеріалу в сендвіч-панелі буде впливати на навантаженість несучої конструкції вагона-платформи. У зв'язку з цим проведено дослідження динаміки вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями, у вертикальній площині. Встановлено, що максимальне вертикальне прискорення, яке діє на вагон-платформу в центрі маси, складає $2,72 \text{ м/с}^2$. Дана величина прискорення майже на 5% нижча за ту, що діє на вагон-платформу з урахуванням типової схеми сприйняття навантажень від вантажу. Рух вагона-платформи у завантаженому стані оцінюється як «відмінний».

Висновки. Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо підвищення ефективності експлуатації вагонів-платформ шляхом їх ситуативної адаптації до перевезень різної номенклатури вантажів.

Ключові слова: залізничний транспорт, ситуативна адаптація вагона, з'ємний модуль, динаміка вагона-платформи.

RESEARCH OF THE VERTICAL DYNAMICS OF A PLATFORM WAGON LOADED BY REMOVABLE MODULES WHEN RUNNING OVER A RAIL JOINT

A.O. Lovska¹, A.O. Muradian², O.V. Demydiakov³

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: <http://orcid.org/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: <https://orcid.org/0000-0002-6488-6627>

³Postgraduate Student at the Department of Port Operation and Cargo Handling Technology
Odessa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4791-3830>

Summary

Introduction. The prospects for railway transport operation dictate the need to create new solutions to improve the efficiency of its use. The level of replenishment of the railway vehicles fleet has been insignificant in recent years, and therefore, to ensure an uninterrupted transportation process, it is advisable to adapt the existing fleet of railway vehicles to transportation of the specified range of goods. Since platform wagons are one of the most popular types of wagons in international transport, it is important to adapt their load-bearing structures to such transportation.

Purpose. The paper presents the results of modelling the vertical dynamics of a platform wagon loaded by removable modules when running through a rail joint.

Results. To expand the range of transported goods on a long-base platform wagon, it is proposed to use a removable module. The cargo area of the detachable module is formed by sandwich panels consisting two metal sheets with energy-absorbing material between them. However, the presence of energy-absorbing material in the sandwich panel will have an impact on the load on the load-bearing structure of the platform wagon. In this regard, the dynamics of a platform wagon loaded by removable modules in the vertical plane was studied. It is established that the maximum acceleration acting on the platform wagon in the centre of gravity is of 2.72 m/s^2 . This acceleration value is almost 5% lower than the acceleration acting on the platform wagon, taking into account the typical pattern of the load perception from the goods. The movement of the platform wagon when it is running in a loaded state is assessed as "excellent".

Conclusions. The conducted research will contribute to the development of recommendations for improving the efficiency of platform wagons through their situational adaptation to the transport of various types of goods.

Key words: railway transport, situational adaptation of a wagon, removable module, dynamics of a platform wagon.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Відомо, що провідною складовою частиною транспортної галузі вже давно є залізничний транспорт. Важливо сказати, що він забезпечує потреби не тільки внутрішньої економіки країни, але і зовнішні, тобто в міжнародному сполученні. При цьому одними із найбільш поширених типів вагонів, які використовуються у міжнародному сполученні, є вагони-платформи. Водночас експлуатація вагонів-платформ у міжнародному сполученні стримується їх нестачею. Поповнення вагонного парку вагонів-платформ вимагає додаткових капітальних вкладень. Більш раціональним варіантом є ситуаційна адаптація наявного парку вагонів до перевезень конкретних типів вантажів, в тому числі й стратегічних. Таке рішення дозволить підвищити ефективність перевізного процесу, а також сприятиме економії капітальних витрат на закупівлю нових вагонів, тому питання ситуаційної адаптації наявного парку вагонів-платформ до перевезень завданої номенклатури вантажів є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми, і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження, присвячені питанням створення та удосконалення несучих конструкцій вагонів-платформ для підвищення ефективності їх експлуатації, висвітлюються в багатьох публікаціях.

Для ситуаційної адаптації вагона-платформи до перевезень довгомірних вантажів у роботі [1] запропоновано використання спеціального з'ємного модуля. Кріплення модуля на вагоні-платформі передбачається з використанням фітингових упорів. Наведено відповідне наукове обґрунтування конструкційного виконання з'ємного модуля. Але дана конструкція з'ємного модуля передбачає використання пружно-фрикційних зв'язків у рамі. Таке рішення ускладнює процес технічного обслуговування та ремонту вагона.

Подібне рішення запропоновано і в публікації [2]. При цьому для ситуаційної адаптації вагона-платформи до перевезення різнотипних вантажів пропонується використання з'ємного модуля типу FLAT RACK. Особливістю модуля є наявність пружно-в'язких зв'язків у фітингах, що сприяє зменшенню повздовжніх навантажень, які діють на нього в експлуатації. Авторами наведено відповідне теоретичне обґрунтування запропонованої конструкції з'ємного модуля. Однак нині використовуються довгобазні конструкції вагонів-платформ зі спеціальними надбудовами для розміщення фітингових упорів. Ці надбудови використовуються у зв'язку з тим, що рама вагона-платформи має форму бруса, рівного опору згину. У зв'язку з цим рама має змінну висоту профілів її виконання за довжиною. Відповідно, використання такого з'ємного модуля на подібних вагонах-платформах є неможливим.

Особливості розрахунку на міцність удосконаленої рами вагона-платформи висвітлюються в роботі [3]. При цьому застосовано метод скінченних елементів. Авторами визначено поля розподілень максимальних еквівалентних напружень в несучій конструкції вагона-платформи. Отримані напруження знаходяться в межах допустимих значень, що підтверджує доцільність конструкційних рішень щодо їх виконання. Однак авторами не запропоновано заходів щодо ситуаційної адаптації даного вагона до перевезень різнотипних вантажів, що підвищило б ефективність його експлуатації.

Дослідження міцності несучої конструкції довгобазного вагона-платформи проводилось у в роботі [4]. Особливість даної конструкції вагона-платформи полягає у відсутності хребтової балки за довжиною рами. Для обґрунтування такого рішення авторами проведено не тільки теоретичні дослідження її навантаженості, а й експериментальні. Отримані результати свідчать про можливість експлуатації вагона на магістральних коліях. Однак конструкція такого вагона-платформи не забезпечує можливості її застосування для перевезень широкої номенклатури вантажів, що звужує спектр її використання.

У роботі [5] проводиться розрахунок міцності довгобазного вагона-платформи для перевезень контейнерів. При цьому авторами використано класичні методи опору матеріалів для визначення згинальних моментів, які виникають у перерізах несучої конструкції вагона-платформи. На наступному етапі проводилося визначення міцності з використанням методу скінчених елементів. Важливо сказати, що конструкція даного типу вагона зорієнтована на перевезення конкретного типу вантажу. Це обмежує її затребуваність в експлуатації.

Дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи залежно від величини її деформацій проводилося у статті [6]. Важливо підкреслити, що дані дослідження проводилися із застосуванням експериментальних методів, зокрема електричного тензометрування. Результати даних досліджень дозволили визначити найбільш навантажені складові частини конструкції вагона-платформи. Однак автори не запропонували рішень щодо покращення міцності несучої конструкції вагона-платформи шляхом її удосконалення.

Проведений аналіз наукових публікацій [1–6] свідчить про те, що питання удосконалення несучих конструкцій вагонів-платформ є досить актуальним. Однак для підвищення ефективності їх експлуатації потребують вирішення питання ситуаційної адаптації до перевезень різної номенклатури вантажів, тому дослідження, присвячені ситуаційній адаптації вагонів-платформ до перевезень розширеної номенклатури вантажів, є досить актуальними.

Формулювання мети статті, постановка завдання. Мета статті – висвітлення результатів моделювання вертикальної динаміки вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями, при русі стиковою нерівністю. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

- 1) сформулювати розрахункову схему для визначення вертикального прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями;
- 2) провести математичне моделювання вертикальної динаміки вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями.

Об'єктом дослідження є довгобазний вагон-платформа моделі 13-7024.

Предмет дослідження – динамічна навантаженість несучої конструкції вагона-платформи.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для розширення номенклатури вантажів, що перевозяться на довгобазній конструкції вагона-платформи, пропонується використання з'ємного модуля (рис. 1).

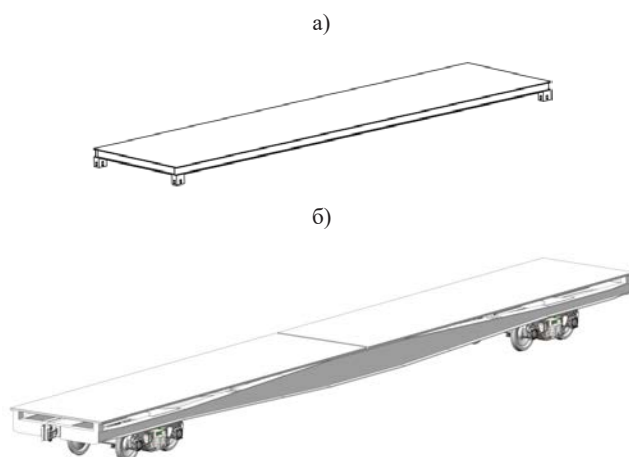


Рис. 1. З'ємний модуль: а) загальний вигляд; б) розміщення на вагоні-платформі

Особливістю такого з'ємного модуля є те, що він являє собою рамну конструкцію, перекриту зверху металевим листом. У кутових частинах з'ємного модуля встановлено фітингові упори. При цьому висота упорів з боку консольної частина вагона-платформи є вищою, ніж з протилежного боку. Таке рішення дозволяє утворити прямолінійну горизонтальну площину для розміщення вантажу.

Для забезпечення схоронності вантажу, який перевозиться, вантажний майданчик з'ємного модуля утворений сендвіч-панелями [7] (рис. 2). Кожна з таких панелей складається з металевих листів, між якими знаходиться матеріал з енергопоглинаючими властивостями.

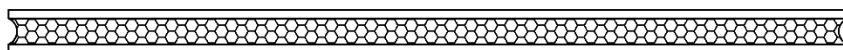


Рис. 2. Поперечний переріз сендвіч-панелі

Треба сказати, що наявність енергопоглинаючого матеріалу в сендвіч-панелях впливає на навантаженість несучої конструкції вагона-платформи. У зв'язку з цим необхідно дослідити динаміку вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями у вертикальній площині. Для цього було проведене математичне моделювання.

Враховано, що два з'ємних модулі розміщуються на вагоні-платформі, який рухається стиковою нерівністю. При цьому з'ємні модулі завантажені умовним вантажем з використанням їх повної вантажопідйомності. Динамічна система утворена чотирма тілами – несучою конструкцією вагона-платформи, на якому розміщуються два з'ємних модулі з вантажем, а також два візки. Розрахункову схему наведено на рис. 3.

Прийнято припущення, що вагон-платформа переміщується стиковою нерівністю колії, яка має пружно-дисипативні властивості. Реакції колії пропорційні як її деформаціям, так і швидкостям цих деформацій. При проведенні розрахунків враховано, що несуча конструкція вагона-платформи спирається на візки моделі 18–100. Враховано, що енергопоглинаючий матеріал сендвіч-панелі має пружно-фрикційні властивості.

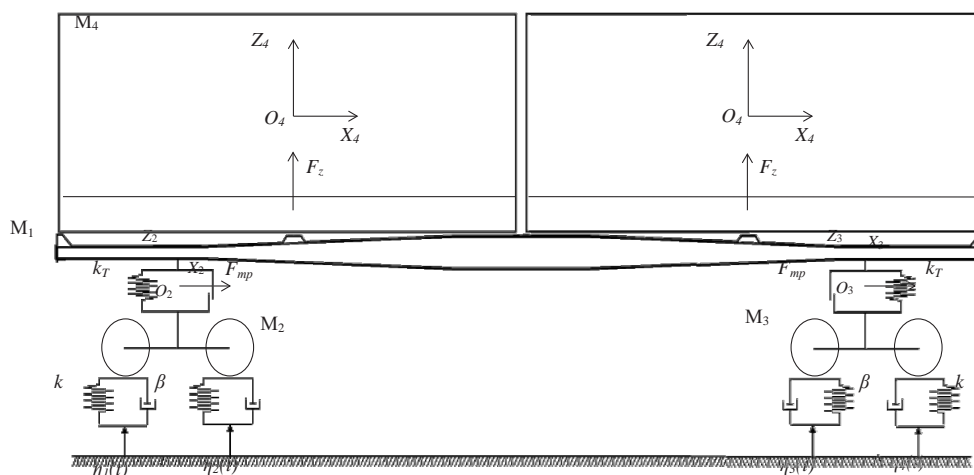


Рис. 3. Розрахункова схема вагона-платформи зі з'ємними модулями

Отже, система диференціальних рівнянь руху вагона-платформи має такий вигляд:

$$\begin{cases} M_1 \cdot \ddot{q}_1 + C_{1,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{1,2} \cdot \dot{q}_2 + C_{1,3} \cdot \dot{q}_3 = -F_{TP} \cdot (\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2)) - F_z, \\ M_2 \cdot \ddot{q}_2 + C_{2,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{2,2} \cdot \dot{q}_2 + B_{2,2} \cdot \dot{q}_2 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) + \beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2), \\ M_3 \cdot \ddot{q}_3 + C_{3,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{3,3} \cdot \dot{q}_3 + B_{3,3} \cdot \dot{q}_3 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_2) + k(\eta_3 + \eta_4) + \beta(\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4), \\ M_4 \cdot \ddot{q}_4 = F_z - M_4 \cdot g - F_{TP}^k \cdot (\text{sign}(\dot{q}_1) + \text{sign}(\dot{q}_4)), \end{cases} \quad (1)$$

$$F_z = -k'_k(y_1 - y_4), \quad (2)$$

де M_1 – маса несучої конструкції вагона-платформи; M_2, M_3 – маса, відповідно, першого та другого візка; M_4 – маса з'ємного модуля; C_{ij} – характеристики пружності елементів коливальної системи, які визначаються значеннями коефіцієнтів жорсткості пружин k_T ; B_{ij} – функція розсіювання; k – жорсткість колії; β – коефіцієнт демпфування; F_{TP} – сила тертя у ресорному комплекті візка; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta_i(t)$ – нерівність колії; k_k – жорсткість енергопоглинаючого матеріалу сендвіч-панелі; F_{TP}^k – сила тертя, яка виникає в сендвіч-панелі.

Вхідними параметрами моделі є технічні характеристики несучої конструкції вагона-платформи, ресорного підвішування, з'ємного модуля, а також збурюючої дії.

Розв'язок системи диференціальних рівнянь руху (1) здійснено в програмному комплексі MathCad [8; 9]. Вектор початкових умов має такий вигляд: початкове переміщення несучої конструкції з вантажем становить 0,004 м, швидкість становить 0; для візків, відповідно, 0,003 м та 0 [10].

Отримані результати розрахунку наведені на рис. 4.

Отже, максимальне вертикальне прискорення, яке діє на вагон-платформу в центрі мас, склало 2,72 м/с². Отримана величина прискорення майже на 5% нижча за ту, що діє на вагон-платформу з урахуванням типової схеми сприйняття

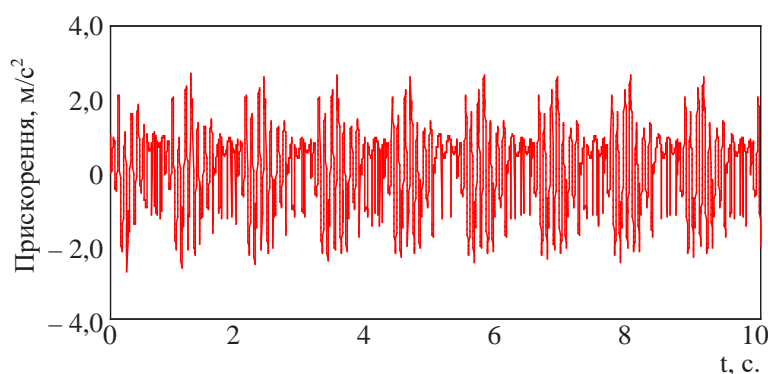


Рис. 4. Вертикальні прискорення несучої конструкції вагона-платформи

навантажень від вантажу. При цьому рух вагона-платформи у завантаженому стані оцінюється як «відмінний» [11].

Висновки і перспектива подальшої роботи в цьому напрямі.

1. Сформовано розрахункову схему для визначення вертикального прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями. При цьому враховано, що два з'ємних модулі розміщуються на вагоні-платформі, який рухається стиковою нерівністю. З'ємні модулі завантажені умовним вантажем з використанням їх повної вантажопідйомності. Динамічна система утворена чотирма тілами. Це несуча конструкція вагона-платформи, на якому розміщуються два з'ємних модулі з вантажем, а також два візки. До уваги прийнято випадок руху вагона-платформи стиковою нерівністю колії, яка має пружно-дисипативні властивості.

2. Проведено математичне моделювання вертикальної динаміки вагона-платформи, завантаженого з'ємними модулями. Максимальне прискорення, яке діє на вагон-платформу в центрі мас, склало $2,72 \text{ м/с}^2$. Дана величина прискорення майже на 5% нижча за ту, що діє на вагон-платформу з урахуванням типової схеми сприйняття навантажень від вантажу. Це пояснюється використанням сендвіч-панелей з енергопоглинаючим матеріалом як проміжного адаптера між вантажем та рамою вагона-платформи. Рух вагона-платформи у завантаженому стані оцінюється як «відмінний».

Перспективою дослідження є комп'ютерне моделювання вертикальної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи під час руху стиковою нерівністю. Це дозволить визначити поля розподілення прискорень відносно його несучої конструкції, а також верифікувати запропоновану математичну модель.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо підвищення ефективності експлуатації вагонів-платформ шляхом їх ситуаційної адаптації до перевезень вантажів різної номенклатури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes / G. Vatulia, A. Lovska, M. Pavliuchenkov, V. Nerubatskyi, A. Okorokov, D. Hordiienko, R. Vernigora, I. Zhuravel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. № 6/7 (120). P. 21–29. doi:10.15587/1729-4061.2022.266855.
2. The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings / S. Panchenko, J. Gerlici, G. Vatulia, A. Lovska, M. Pavliuchenkov, K. Kravchenko. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(1), 79. doi:10.3390/app13010079
3. Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions / N. Shivendra, T. Rishikesh, K. Satyaajeet, A. Javed, M. Maniraj. *Preprint*. 2020. March.
4. Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrss-twin / V. Stoilov, G. Simić, S. Purgić, D. Milković, S. Slavchev, S. Radulović, V. Maznichki. *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 664. 012026. doi:10.1088/1757-899X/664/1/012026.
5. Кельріх М.Б., Федосов-Ніконов Д.В. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2016. № 1 (225). С. 90–94.
6. Das Apurba, Agarwal Gopal. Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon. *Computer Science*. 2020. MARTCH. doi:10.1007/978-981-15-0772-4_24.
7. Моделювання поперечної навантаженості контейнера зі стінами із сендвіч-панелей, розміщеного на вагоні-платформі / Г.Л. Ватуля, А.О. Ловська, Є.С. Краснокутський, С.В. Дериземля. *Розвиток транспорту*. 2023. № 3 (18). С. 50–58. doi:10.33082/td.2023.3-18.04.
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. Методи рішення математичних задач у середовищі Mathcad : навчальний посібник / О.В. Соболенко, Л.М. Петречук, Ю.С. Іващенко, Є.Є. Єгорцева. Дніпро : НМетАУ, 2020. 60 с.
10. Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. Основи динаміки вагонів. Київ : КУЕТТ, 2003. 269 с.
11. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 250 с.

REFERENCES

1. Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov, Volodymyr Nerubatskyi, Andrii Okorokov, Denys Hordiienko, Roman Vernigora & Irina Zhuravel. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/7 (120), 21–29. doi:10.15587/1729-4061.2022.266855.

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. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed & Maniraj M. (2020). Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. *Preprint*. March.
4. Stoilov, V., Simić, G., Purčić, S., Milković, D., Slavchev, S., Radulović S. & Maznichki V. (2019). Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrss-twin. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 664, 012026. doi:10.1088/1757-899X/664/1/012026.
5. Kelrikh, M.B. & Fedosov-Nikonov D.V. (2016). Research on the structural strength of a long-wheelbase platform [Doslidzhennia na mitsnist konstruktzii dovhobaznoi platformy]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho Natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 1 (225), 90–94. [in Ukrainian]
6. Das Apurba & Agarwal Gopal. (2020). Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon. *Computer Science. MARTCH*. doi:10.1007/978-981-15-0772-4_24.
7. Vatulia, G.L., Lovska, A.O., Krasnokutskyi, Ye.S. & Deryzemlia, S.V. (2023). Modeling of the transversal loading of a container with sandwich panels walls placed on a platform car [Modeliuvannia poperechnoi navantazhenosti konteineru zi stinamy iz sendvich-panelei, rozmishchenoho na vahoni-platformi]. *Transport development*, 3(18), 50–58. doi: 10.33082/td.2023.3-18.04 [in Ukrainian].
8. Bohach, I.V., Krakovetskyi, O.Yu. & Kylyk, L.V. (2020). Numerical methods for solving differential equations using MathCad: Tutorial [Chyselni metody rozviazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad: Navchalnyi posibnyk]. Vinnytsia: VNTU. 106 p. [in Ukrainian].
9. Sobolenko, O.V., Petrechuk, L.M., Ivashchenko, Yu.S. & Yehortseva, Ye.Ye. (2020). Methods for solving mathematical problems in the Mathcad environment: The first collection in the discipline “Informatics and Systemology”. [Metody rishennia matematychnykh zadach u seredovyschi Mathcad: Navchalnyi posibnyk z dystsypliny “Informatyka i systemolohiia”]. Dnipro: NMetAU. 60 p. [in Ukrainian].
10. Domin, Yu.V. & Chernyak, G.Yu. (2003). Basics of wagons dynamics. [Osnovi dinamiki vagoniv]. Kyiv: KUETT. 269 p. [in Ukrainian]
11. 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].