

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 629.463

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНІВ ІЗ ПРУЖНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЯХ¹

О.В. Фомін¹, А.О. Ловська²

¹д.т.н., професор, професор кафедри вагонів та вагонного господарства,
Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-2387-9946

²к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції,
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

Анотація

Вступ. Транспортна галузь є невід'ємною частиною розвитку національної економіки країни. Для забезпечення її безперебійного функціонування особлива увага має приділятися технічній забезпеченості залізничного парку. Тому важливим є впровадження заходів, які сприятимуть покращенню експлуатації рухомого складу.

Мета. Обґрунтування впровадження пружних елементів у несучі конструкції вантажних вагонів для зменшення їх динамічної навантаженості в експлуатації.

Результати. Для зменшення динамічної навантаженості основних типів вантажних вагонів в експлуатації запропоновано впровадження в їх несучі конструкції пружних елементів. За рахунок опору сил сухого тертя між вертикальними частинами горизонтальних листів, під якими розміщуються пружні елементи, та стінок П-подібного профілю здійснюється зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів. Для обґрунтування запропонованого рішення проведено математичне моделювання. Для цього складено математичну модель, яка враховує вертикальні переміщення вагонів, що рухаються в порожньому стані стиковою нерівністю. Розв'язок математичної моделі здійснений у програмному комплексі MathCad. Дослідження проведені стосовно найбільш поширених типів вантажних вагонів в експлуатації: напіввагон, вагон-платформа, критий вагон. Встановлено, що запропоновані рішення дають змогу зменшити динамічну навантаженість несучих конструкцій вагонів порівняно з вагонами-прототипами: напіввагон – 35%, вагон-платформа – 15%, критий вагон – 20%. Хід руху вагонів оцінюється як «відмінний». **Висновки.** Проведені дослідження сприятимуть зменшенню втомної міцності несучих конструкцій вагонів, створенню відповідних напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій вагонів, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

Ключові слова: транспортна механіка, вантажний вагон, несуча конструкція, динамічна навантаженість, моделювання динаміки.

¹ Ці дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених «Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів», яка виконується коштом державного бюджету України з 2020 р.

**DETERMINATION OF DYNAMIC LOAD OF CARS WITH ELASTIC
ELEMENTS IN SUPPORTING STRUCTURES**

O.V. Fomin¹, A.O. Lovska²

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Cars and Carriage
Facilities,

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0003-2387-9946

²Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department
of Wagon Engineering and Product Quality,

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine,

ORCID ID: 0000-0002-8604-1764

Summary

Introduction. *The transport sector is an integral part of the development of the national economy. To ensure its smooth operation, special attention should be paid to the technical security of the railway fleet. Therefore, it is important to implement measures that will improve the operation of rolling stock. **Purpose.** Rationale for the introduction of elastic elements in the load-bearing structures of freight cars to reduce their dynamic load in operation. **Results.** To reduce the dynamic load of the main types of freight cars in operation, it is proposed to introduce elastic elements in their load-bearing structures. Due to the resistance of dry friction forces between the vertical parts of the horizontal sheets, under which the elastic elements are placed, and the walls of the U-shaped profile, the dynamic load of the load-bearing structures of cars is reduced. Mathematical modeling was performed to substantiate the proposed solution. To do this, a mathematical model is developed that takes into account the vertical movements of cars moving in the empty state by the butt roughness. The solution of the mathematical model is made in the MathCad software package. Research has been conducted on the most common types of freight cars in operation: gondola car, platform car, covered car. It is established that the proposed solutions allow to reduce the dynamic load of the load-bearing structures of cars in comparison with prototype cars: gondola – 35%, platform car – 15%, covered car – 20%. The movement of cars is assessed as “excellent”. **Conclusions.** The conducted researches will promote reduction of fatigue strength of bearing designs of cars, creation of corresponding developments concerning designing of innovative designs of cars, and also increase of efficiency of operation of railway transport.*

Key words: *transport mechanics, freight car, load-bearing structure, dynamic loading, dynamics modeling.*

Постановка проблеми. *Забезпечення ефективної експлуатації транспортної галузі можливе за умови надійної та злагодженої експлуатації окремих її складників. Відомо, що залізничний транспорт є однією з ключових складових частин транспортної галузі. Для утримання лідерських позицій залізничного транспорту важливим є впровадження в експлуатацію інноваційного рухомого складу.*

Дослідження статистичних даних пошкоджень вагонів за останні роки дають змогу зробити висновок, що одним із найбільш пошкоджуваних вузлів є несучі конструкції вагонів. Це зумовлено дією на них значних динамічних навантажень,

що виникають в експлуатації. Періодичність дії таких навантажень сприяє зменшенню втомної міцності несучих конструкцій вагонів, а отже, необхідності проведення позапланових видів ремонту або виключення вагонів з інвентарного парку. У зв'язку з цим виникає необхідність впровадити заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення статичної міцності несучої конструкції вагона серії Zans висвітлюється в роботі [1]. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів у програмі CosmosWorks. Отримані результати сприятимуть створенню більш оптимальних конструкцій вагонів.

Дослідження міцності елементів рухомого складу на прикладі хребтових балок проводиться в роботі [2]. Наведений приклад використання запропонованого підходу засвідчив його працездатність та ефективність, а також правильність спрямування відповідних науково-дослідних робіт.

Однак заходів щодо зменшення динамічної навантаженості рами вагона шляхом застосування принципів мультифункціональності її елементів у цих роботах не запропоновано.

Виявлення причин виникнення тріщин у несучій конструкції рами вагона проводиться в роботі [3], де описується методологія, яка використовується для виявлення причин виникнення тріщин поблизу зварювального з'єднання. Розрахунок проведений стосовно рами вагона типу Sgmns. Однак автори цієї роботи обмежилися виявленням причин виникнення тріщин, а заходів щодо їх попередження в несучих конструкціях шляхом використання мультиматеріального підходу не запропонували.

У роботі [4] висвітлюються особливості проектування, аналізу та проектно розробки залізничних вагонів нового покоління. Дослідження проведені для Індійської залізниці. При цьому використані міжнародні стандарти для різних умов завантаження, дотримання оптимальних габаритів вагонів тощо. Однак у процесі проектування цих конструкцій вагонів не враховано заходів щодо зменшення втомної міцності при експлуатаційних режимах навантаження.

Особливості вдосконалення несучої конструкції вантажного вагона шляхом використання алюмінієвих панелей проводиться в роботі [5]. Характеристична функція пошуку оптимальної комбінації визначена максимальними напруженнями та зміщеннями. Однак у роботі не зазначено, яким чином зменшується динамічна навантаженість вагона з урахуванням використання запропонованих панелей.

Заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів при комбінованих перевезеннях запропоновані в роботах [6; 7]. При цьому пропонується використання пружних, а також зв'язків між одиницями транспортних засобів комбінованих перевезень. Однак впровадження пружних, а також зв'язків у несучі конструкції вагонів для зменшення їх динамічної навантаженості в зазначених роботах не проводиться.

На підставі аналізу літературних джерел [1–7] можна зробити висновок, що досі питанням зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вантажних вагонів шляхом впровадження пружинних елементів у них не висвітлювалися. Це викликає необхідність проведення відповідних досліджень у цьому напрямі.

Формулювання мети статті. Метою статті є обґрунтування впровадження пружних елементів у несучі конструкції вантажних вагонів для зменшення їх динамічної навантаженості в експлуатації. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- 1) запропонувати концепти основних несучих елементів кузовів (рам) вантажних вагонів;
- 2) провести математичне моделювання динамічної навантаженості вагонів з урахуванням запропонованих заходів;
- 3) проаналізувати результати визначення динамічної навантаженості вагонів із пружними елементами в несучих конструкціях.

Об'єктом дослідження є несучі конструкції вантажних вагонів.

Предмет дослідження – динамічна навантаженість несучих конструкцій вантажних вагонів.

Виклад основного матеріалу. З метою зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів та підвищення втомної міцності при експлуатаційних режимах пропонується впровадження в найбільш навантажені елементи їх рам пружних зв'язків. Підвищення втомної міцності здійснюється шляхом зменшення динамічної навантаженості основних несучих елементів рам за рахунок опору сил сухого тертя між вертикальними частинами горизонтальних листів, під якими розміщуються пружні елементи, та стінок П-подібного профілю. Дослідження проведені стосовно напіввагона, вагона-платформи та критого вагона (рис. 1).

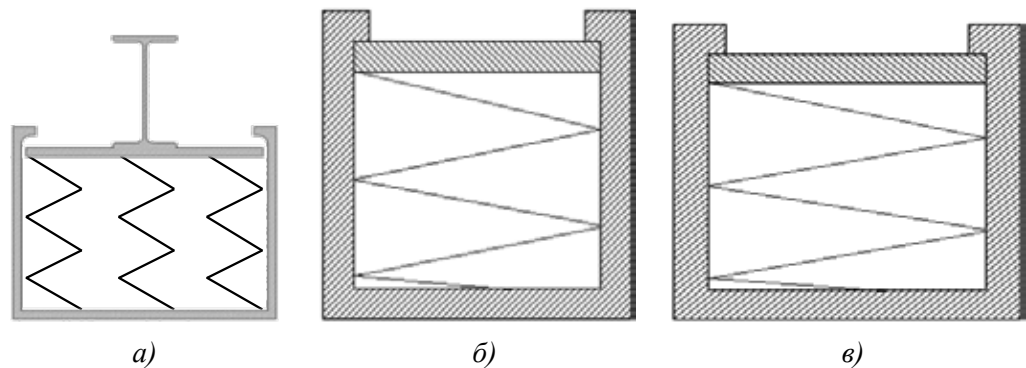


Рис. 1. Розміщення пружних елементів в основних несучих елементах вагонів:
а) хребтова балка напіввагона; б) повздовжня балка довгобазного вагона-платформи; в) хребтова балка критого вагона

Як прототипи вибрані напіввагон моделі 12-757, вагон-платформа моделі 13-7024, а також критий вагон моделі 11-217 (рис. 2).

Розміщення пружних елементів у несучих конструкціях зазначених типів вагонів наведено на рис. 3.

При цьому враховано, що вагони рухаються в порожньому стані стиковою нерівністю. Дослідження проведені в плоскій системі координат.

Рівняння руху, які описують переміщення несучих конструкцій вагонів, при цьому мають вигляд:



а)

б)



в)

Рис. 2. Досліджувані типи вантажних вагонів:
а) напіввагон; б) вагон-платформа; в) критий вагон



а)

б)



в)

Рис. 3. Просторові моделі вантажних вагонів з пружними елементами в несучих конструкціях: а) напіввагон; б) вагон-платформа; в) критий вагон

$$M_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_1 + C_{1,1} \cdot q_1 + C_{1,3} \cdot q_3 + C_{1,5} \cdot q_5 = -F_{TP} \cdot \left(\text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_1 \right) + \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_2 \right) \right), \quad (1)$$

$$M_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_2 + C_{2,1} \cdot q_1 + C_{2,2} \cdot q_2 + C_{2,3} \cdot q_3 + B_{2,2} \cdot \frac{d}{dt} q_2 = F_{TP} \cdot \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_1 \right) + k(\eta_1 + \eta_2) + \beta \left(\frac{d}{dt} \eta_1 + \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \quad (2)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_3 + C_{3,1} \cdot q_1 + C_{3,2} \cdot q_2 + C_{3,3} \cdot q_3 + B_{3,3} \cdot \frac{d}{dt} q_3 = F_{TP} \cdot \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_2 \right) + k(\eta_3 + \eta_4) + \beta \left(\frac{d}{dt} \eta_3 + \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \quad (3)$$

де M_i – інерційні коефіцієнти елементів коливальної системи (кузов вагона та дві ходові частини); C_{ij} – характеристика пружності елементів коливальної системи; B_{ij} – функція розсіювання; a – половина бази візка; q_i – узагальнені координати, що відповідають поступальному переміщенню відносно вертикальної осі, відповідно, кузова вагона, першого та другого візка; k – жорсткість ресорного підвішування; β – коефіцієнт демпфірування; F_{TP} – сила абсолютного тертя в ресорному комплекті; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta(t)$ – нерівності колії.

Для обґрунтування запропонованого рішення проведено математичне моделювання. Розрахункова схема наведена на рис. 4.

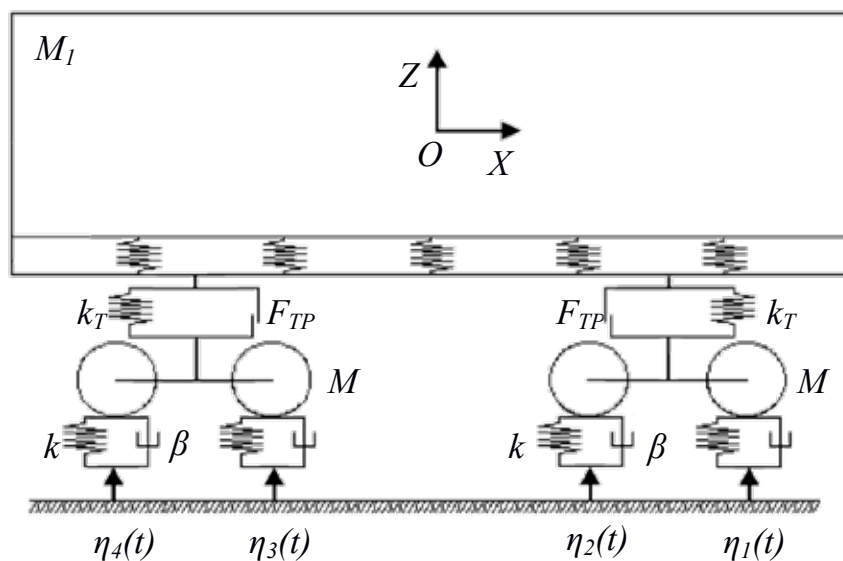


Рис. 4. Розрахункова схема вантажного вагона

Зв'язок кузова з ходовою частиною описувався як послідовне пружне з'єднання:

$$C = \frac{k_b \cdot (k_T + k_T)}{k_b + (k_T + k_T)} \quad (4)$$

Стикова нерівність описувалася періодичною функцією [8]:

$$\eta(t) = \frac{h}{2}(1 - \cos \omega t), \quad (5)$$

де h – глибина нерівності; ω – частота коливань, яка визначається за формулою $\omega = 2\pi V/L$ (V – швидкість руху вагона, L – довжина нерівності).

Розв'язок диференціальних рівнянь руху здійснений у програмному комплексі MathCad [9–11]. Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю [12; 13]

$$Y_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Розв'язок моделі в програмному комплексі MathCad визначався у вигляді

$$F(t, y) = \begin{pmatrix} y_2 \\ y_4 \\ y_6 \\ \frac{-F_{TP} \cdot (\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2)) - C_{1,1} \cdot y_1 - C_{1,2} \cdot y_3 - C_{1,3} \cdot y_5}{M_1} \\ \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{\delta}_1) + k(\eta_1 + \eta_2) + \beta(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2) - C_{2,1} \cdot y_1 - C_{2,2} \cdot y_3 - B_{2,2} \cdot y_4}{M_2} \\ \frac{F_{TP} \cdot (\text{sign}(\dot{\delta}_1) + \text{sign}(\dot{\delta}_2)) - C_{3,1} \cdot y_1 - C_{3,3} \cdot y_5 - B_{3,3} \cdot y_6}{M_3} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$Z = \text{rkfixed}(Y_0, tn, tk, n, F).$$

При цьому $y_1 = q_1$, $y_2 = \dot{q}_1$, $y_3 = q_3$, $y_4 = \dot{q}_3$, $y_5 = q_5$, $y_6 = \dot{q}_5$.

Результати розрахунку наведені на рис. 5–7.

Максимальне вертикальне прискорення кузова напіввагона в порожньому стані становить близько $1,8 \text{ м/с}^2$ ($0,18 \text{ г}$). Хід вагона оцінюється як «відмінний» [14; 15]. При цьому використання хребтової балки з пружними елементами дає змогу зменшити динамічну навантаженість напіввагона порівняно з вагоном-прототипом майже на 35%.

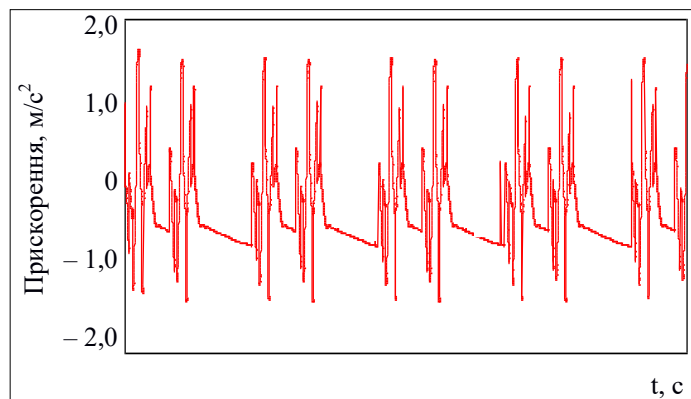


Рис. 5. Прискорення несучої конструкції напіввагона в центрі мас

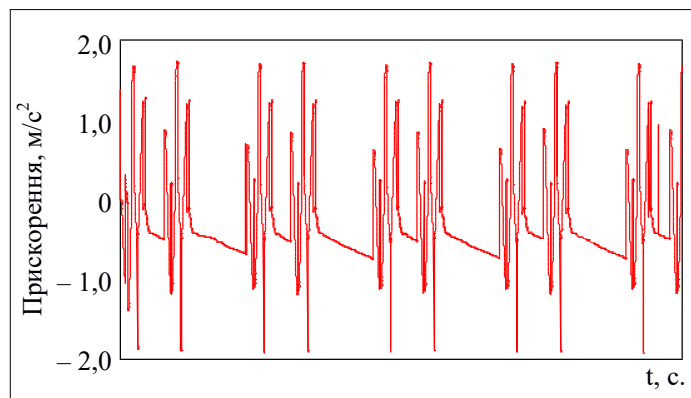


Рис. 6. Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в центрі мас

Максимальне вертикальне прискорення несучої конструкції вагона-платформи в порожньому стані становить близько $2,0 \text{ м/с}^2$ ($0,2 \text{ g}$). З урахуванням запропонованого рішення стає можливим знизити вертикальні прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи на 15% порівняно з вагоном-прототипом. Хід вагона оцінюється як «відмінний».

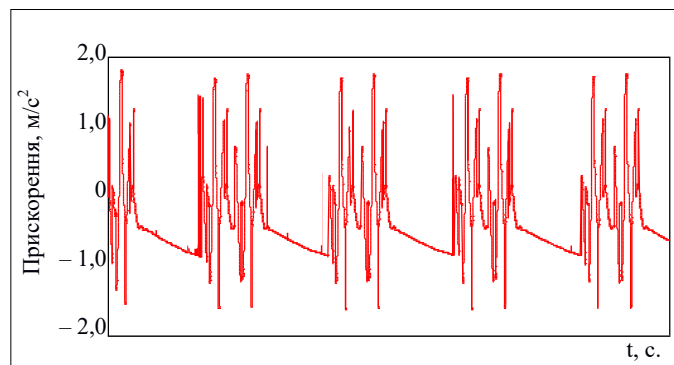


Рис. 7. Прискорення несучої критого вагона в центрі мас

Максимальне вертикальне прискорення несучої конструкції критого вагона в порожньому стані становить близько $1,57 \text{ м/с}^2$ ($0,16 \text{ g}$). З урахуванням запропонованого рішення стає можливим знизити вертикальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона майже на 20%. Хід вагона оцінюється як «відмінний».

Отже, впровадження пружних елементів в несучі конструкції вантажних вагонів сприяє зменшенню їх динамічної навантаженості на 20–35% порівняно з типовими конструкціями вагонів (рис. 8).

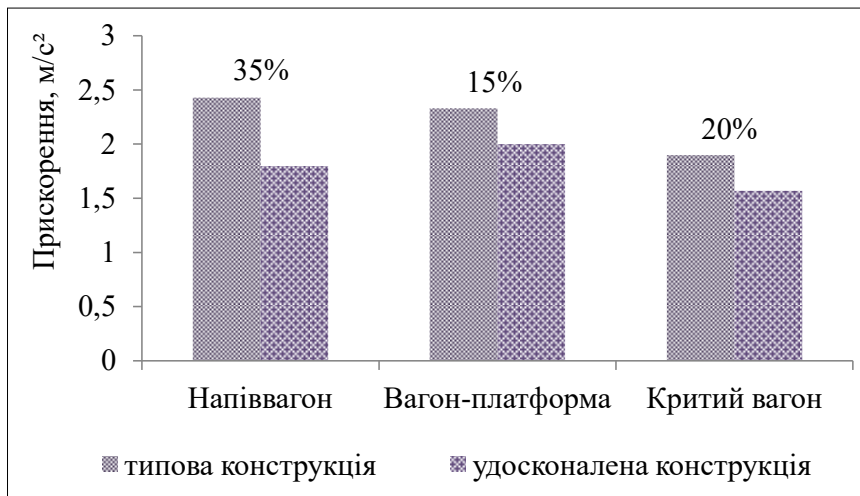


Рис. 8. Порівняльний аналіз прискорень несучих конструкцій вагонів

Це сприятиме зменшенню втомної міцності несучих конструкцій вагонів, подовженню строку їх експлуатації, зменшенню витрат на позапланові види ремонтів, а також створенню відповідних напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу.

Висновки. Запропоновано концепти основних несучих елементів кузовів (рам) вантажних вагонів. Для зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів та підвищення втомної міцності при експлуатаційних режимах пропонується впровадження в найбільш навантажені елементи їх рам пружних зв'язків.

Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості вагонів з урахуванням запропонованих заходів. Дослідження здійснені за умови руху вагонів у порожньому стані стиковою нерівністю. Встановлено, що максимальне вертикальне прискорення кузова напіввагона у порожньому стані становить близько $1,8 \text{ м/с}^2$ ($0,18 \text{ g}$), вагона-платформи – близько $2,0 \text{ м/с}^2$ ($0,2 \text{ g}$), критого вагона – близько $1,57 \text{ м/с}^2$.

Проаналізовано результати визначення динамічної навантаженості вагонів із пружними елементами в несучих конструкціях. Використання хребтової балки з пружними елементами дає змогу зменшити динамічну навантаженість напіввагона порівняно з вагоном-прототипом майже на 35%. Впровадження пружних елементів у несучу конструкцію вагона-платформи дає змогу знизити

вертикальні прискорення, які діють на неї на 15% порівняно з вагоном-прототипом. Використання пружних елементів у несучій конструкції критого вагона дозволяє зменшити вертикальні прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона майже на 20%.

При подальших дослідженнях питань впровадження пружних елементів у несучі конструкції вантажних вагонів важливим є визначення їхньої втомної міцності, а також проведення експериментальних досліджень. Отримані результати сприятимуть створенню інноваційних конструкцій рухомого складу, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Slavchev S., Stoilov V., Purgic S. Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans. *Journal of the Balkan Tribological Association*. 2015. Vol. 21. No 1. P. 38–57.
2. Недужа Л.О., Швець А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. Наука та прогрес транспорту. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 1 (73). P. 131–147. DOI: 10.15802/stp2018/123457
3. Milovanovic V., Dunic V., Rakic D., Zivkovic M. Identification causes of cracking on the underframe of wagon for containers transportation – Fatigue strength assessment of wagon welded joints. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 31. P. 118–131. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.039>
4. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed, Maniraj M. Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. Preprint, 2020, March.
5. Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Journal of Rail and rapid transit*. 2016. Vol. 11.
6. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Radkevych Valentyna, Horban Anatoliy, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. The dynamic loading analysis of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 21. P. 3747–3752.
7. Fomin O., Lovska A. Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology an International Journal*. 2020. Vol. 23. Issue 6. P. 1455–1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010>
8. Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. Основи динаміки вагонів. Київ : КУЕТТ, 2003. 269 с.
9. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*. 2020. MARTCH. P. 3728–3733. DOI: 10.17973 / MMSJ.2020_03_2019043

10. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019. Vol. 29. P. 118–123. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>
11. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6. No. 7 (108). P. 21–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217162
12. Vatulia G.L., Lobiak O.V., Deryzemlia S.V., Verevicheva M.A., Orel Ye.F. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 664. 012014. DOI: 10.1088/1757-899X/664/1/012014
13. Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 02037. DOI: 10.1051/mateconf/201823002037
14. ДСТУ 7598:2014. Вагоны вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.
15. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.

REFERENCES

1. Slavchev, S., Stoilov, V., Purgic, S. (2015). Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 2015. Vol. 21. No 1. P. 38–57.
2. Neduzha, L.O., Shvec, A.O. (2018). Teoretichni ta eksperimentalni doslidzhennya micnisnih yakостей hrebtovoyi balki vantazhnogo vagona. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu*. 2018. № 1 (73). P. 131–147. DOI: 10.15802/stp2018/123457 [in Ukrainian]
3. Milovanovic, V., Dunic, V., Rakic, D., Zivkovic, M. (2013). Identification causes of cracking on the underframe of wagon for containers transportation – Fatigue strength assessment of wagon welded joints. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 31. P. 118–131. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.01.039>
4. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed, Maniraj M. (2020). Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions. *Preprint*. 2020. March.
5. Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park. (2016). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Journal of Rail and rapid transit*. 2016. Vol. 11.
6. Fomin Oleksij, Lovska Alyona, Radkevych Valentyna, Horban Anatolij, Skliarenko Inna, Gurenkova Olga. (2019). The dynamic loading analysis

- of containers placed on a flat wagon during shunting collisions. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 21. P. 3747–3752.
7. Fomin, O., Lovska, A. (2020). Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology an International Journal*. 2020. Vol. 23. Issue 6. P. 1455–1465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010>
 8. Domin, Yu. V., Chernyak, G. Yu. (2003). *Osnovi dinamiki vagoniv*. Kiyiv: KUETT, 2003. 269 s. [in Ukrainian]
 9. Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2020). Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM SCIENCE JOURNAL*. 2020. MARTCH. P. 3728–3733. DOI: 10.17973 / MMSJ.2020_03_2019043
 10. Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019. Vol. 29. P. 118–123. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>
 11. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. (2020). Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6. No. 7(108). P. 21–29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217162
 12. Vatulia, G.L., Lobiak, O.V., Deryzemlia, S.V., Verevicheva, M.A., Orel, Ye.F. (2019). Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 664. 012014. DOI:10.1088/1757-899X/664/1/012014
 13. Vatulia, G., Komagorova, S., Pavliuchenkov, M. (2018). Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 02037. DOI: 10.1051/mateconf/201823002037
 14. DSTU 7598:2014. *Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih)*. Kiyiv, 2015. 162 s. [in Ukrainian]
 15. GOST 33211-2014. *Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam*. Moskva, 2016. 54 s. [in Russian]