

Фомін О. В., Ловська А. О., Фоміна А. М., Сергієнко О. В.

## ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КРИТОГО ВАГОНА З ДАХОМ ІЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

*Для зменшення тари несучої конструкції критого вагона, а відповідно і підресореної маси пропонується удосконалення його даху шляхом використання композитної обшивки. При цьому каркас даху пропонується виготовляти з труб прямокутного перерізу. Таке рішення дозволяє зменшити масу даху на 4% у порівнянні з типовою конструкцією. В якості прототипу обрано критий вагон моделі 11-217. Для визначення вертикальної навантаженості несучої конструкції критого вагона з дахом із композитного матеріалу проведено математичне моделювання. Дослідження здійснені у плоскій системі координат – площині XZ. Враховано, що критий вагон переміщується у порожньому стані стиковою нерівністю. Колія розглянута як пружно-в'язка. Розв'язок диференціальних рівнянь руху проведений за методом Рунге-Кутти в програмному комплексі MathCad. Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю. При проведенні розрахунків враховувалися параметри ресорного підвішування візка моделі 18-100. При моделюванні динамічної навантаженості критого вагона враховані номінальні параметри складових його несучої конструкції. Результати розрахунків показали, що максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона в центрі мас складають  $5,5 \text{ м/с}^2$ . Коефіцієнт вертикальної динаміки несучої конструкції критого вагона склав близько  $0,7 \text{ м/с}^2$ . На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що хід руху вагона оцінюється як "добрий". Важливо сказати, що отримані показники динаміки вище за ті, що виникають в несучій конструкції вагона-прототипу, оскільки зменшилася його маса. Однак це дозволяє підвищити корисний об'єм кузова критого вагона.*

*Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу, а також підвищенню ефективності його експлуатації.*

**Ключові слова:** транспортна механіка, критий вагон, несуча конструкція, дах із композиту, динамічна навантаженість, моделювання навантаженості.

**Актуальність дослідження.** Забезпечення конкурентоспроможності залізничної галузі на ринку транспортних послуг зумовлює необхідність створення та впровадження в експлуатацію вагонів з покращеними техніко-економічними показниками. При проектуванні таких вагонів повинні також враховуватися принципи мультифункціональності, що сприятиме можливості розширення спектру використання вагонів під перевезення різної номенклатури вантажів.

**Постановка проблеми.** Дослідження статистичних даних перевезень вантажів у міжнародному сполученні через територію євразійських держав дозволяють зробити висновок, що найбільш поширеними серед них є насипні, навалювальні та тарно-штучні. Останні потребують захисту від атмосферних опадів під час перевезень. Тому їх перевезення здійснюються у критих вагонах. Здебільшого дахи критих вагонів мають металеву конструкцію, що сприяє збільшенню тари вагона, а відповідно і його підресореної маси. Тому доцільним є проведення досліджень, щодо зменшення маси даху критого вагону з метою зменшення його тари та підвищення корисного навантаження.

**Теоретичний аналіз дослідження.** Питання удосконалення несучих конструкцій вагонів для підвищення ефективності їх експлуатації у міжнародному сполученні висвітлюються у роботах [1, 2]. Наведені результати моделювання динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій вагонів, які підтверджують доцільність запропонованих технічних рішень. Разом з цим в даних публікаціях не приділено уваги питанням зменшення підресореної маси вагонів шляхом використання композитних матеріалів при їх виготовленні.

З метою поліпшення використання універсальних вагонів в роботі [3] запропоновано здійснення їх модернізації. Проведено обґрунтування заходів щодо модернізації вагонів. При цьому використано методи комп'ютерного моделювання та проведено натурний експеримент. Однак запропоновані заходи є ефективними для використання на відкритому рухомому складі. Тобто на вагонах для перевезення вантажів, які потребують захисту від атмосферних опадів вони не є доцільними.

Визначення можливих шляхів покращення техніко-економічних показників залізничних вагонів висвітлюється у публікації [4]. Реалізація поставленої задачі досягається за рахунок підвищення осьового навантаження вагона. Наведено обґрунтування даного рішення. В якості прототипу обрано вантажний вагон BCNHL.

В роботі [5] досліджено перспективи застосування інноваційних матеріалів для зменшення тари вагонів. Обґрунтовано використання в якості матеріалу несучих конструкцій вагонів магнієвих сплавів. Важливо сказати, що при цьому не приділено уваги обґрунтуванню запропонованих рішень в конструкціях критих вагонів.

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції критого вагона наведені у статті [6]. Розрахунок реалізований за методом скінчених елементів. Визначено поля дислокації та чисельні значення максимальних еквівалентних напружень в несучій конструкції критого вагона. Однак авторами роботи не запропоновано заходів щодо зменшення підресореної маси несучої конструкції вагона.

Визначення перспективної концепції модернізації вантажних вагонів розглянуто у роботі [7]. Для збільшення терміну експлуатації несучих конструкцій вагонів запропоновано використання в них композитних

матеріалів. Реалізацію даного рішення пропонується здійснювати шляхом використання панелей з скловолокна та епоксидної смоли. Однак в роботі не розглянуто можливість застосування даної модернізації на критих вагонах.

Особливості проектування та оптимізації несучої конструкції вагону, виготовленого з алюмінієвих панелей наведено в роботі [8]. Характеристична функція пошуку оптимальної комбінації визначена максимальними напруженнями та зміщеннями. Встановлено, що впровадження алюмінієвих панелей сприятиме поліпшенню техніко-економічних показників вагонів. Однак дана реалізація не розглянута стосовно впровадження в несучі конструкції критих вагонів.

**Мета статті.** Метою статті є висвітлення результатів визначення вертикальної навантаженості критого вагона з дахом із композитного матеріалу.

**Задачі дослідження.** Для досягнення зазначеної мети поставлені такі задачі:

- запропонувати заходи щодо удосконалення даху критого вагона;
- провести математичне моделювання динамічної навантаженості критого вагона.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для зменшення тари несучої конструкції критого вагона, а відповідно і підресореної маси пропонується удосконалення його даху шляхом використання композитної обшивки. В якості прототипу обрано критий вагон моделі 11-217 (рис. 1).



Рисунок 1 – Критий вагон моделі 11-217

Конструкція даху критого вагона наведена на рис. 2.

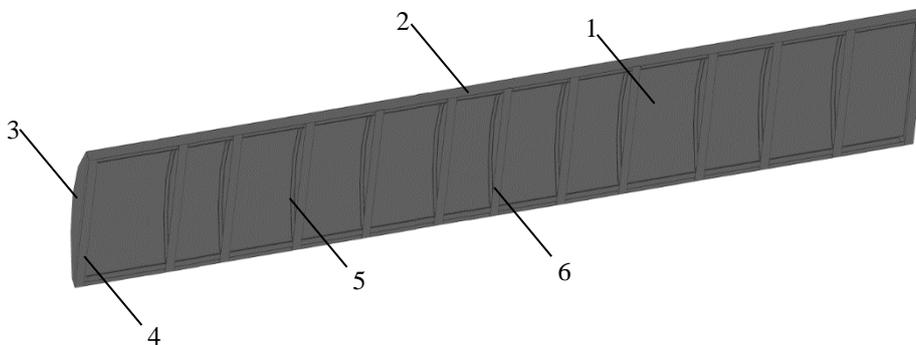


Рисунок 2 – Просторова модель даху

- 1 – обшивка; 2 – бічна повздожня балка; 3 – торцевий лист обшивки; 4 – торцева поперечна балка; 5 – дуга поперечна; 6 – проміжна поперечна балка

При цьому каркас даху пропонується виготовляти із труб прямокутного перерізу (рис. 3), а обшивку – із композитного матеріалу.

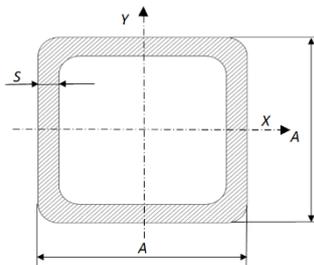


Рисунок 3 – Переріз каркасу даху

Таке рішення дозволяє зменшити масу даху на 4% у порівнянні з типовою конструкцією.

Для визначення вертикальної навантаженості несучої конструкції критого вагона з дахом із композитного матеріалу проведено математичне моделювання. При цьому використано математичну модель, наведену у [9]. Однак дана модель доопрацьована шляхом урахування додаткового ступеня вільності – у повздовжній площині, зумовленою дією повздовжнього навантаження на автотцеп при перехідних режимах руху [10].

Розрахункова схема вагона наведена на рис. 4. Розрахунок проведений для руху вагона у порожньому стані. Дослідження здійснені у плоскій системі координат – площині XZ. Враховано, що критий вагон переміщується стиковою нерівністю. Колія розглянута як пружно-в'язка.

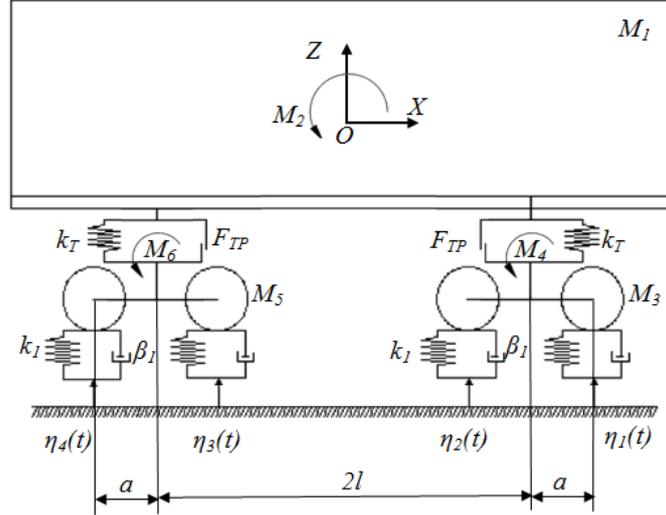


Рисунок 4 – Розрахункова схема критого вагона

Рівняння руху розрахункової моделі мають вигляд:

$$M_1' \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_1 + M_1 \cdot h \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_3 = P_1, \quad (1)$$

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

$$M_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_2 + C_{2,2} \cdot q_2 + C_{2,3} \cdot q_3 + C_{2,5} \cdot q_5 = F_{TP} \cdot l \cdot \left( \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_1 \right) + \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_2 \right) \right), \quad (3)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_3 = H_1, \quad (4)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_3 + C_{3,1} \cdot q_1 + C_{3,2} \cdot q_2 + C_{3,3} \cdot q_3 + B_{3,3} \cdot \frac{d}{dt} q_3 = F_{TP} \cdot \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_1 \right) + k_1 (\eta_1 + \eta_2) + \beta_1 \left( \frac{d}{dt} \eta_1 + \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \quad (5)$$

$$M_4 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_4 + C_{4,4} \cdot q_4 + B_{4,4} \cdot \frac{d}{dt} q_4 = -k_1 (\eta_1 - \eta_2) - \beta_1 \cdot a \cdot \left( \frac{d}{dt} \eta_1 - \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \quad (6)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_5 = H_2, \quad (7)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_5 + C_{5,1} \cdot q_1 + C_{5,2} \cdot q_2 + C_{5,3} \cdot q_3 + B_{5,5} \cdot \frac{d}{dt} q_5 = F_{TP} \cdot \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_2 \right) + k_1 (\eta_3 + \eta_4) + \beta_1 \left( \frac{d}{dt} \eta_3 + \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \quad (8)$$

$$M_6 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_6 + C_{6,6} \cdot q_6 + B_{6,6} \cdot \frac{d}{dt} q_6 = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_3 - \eta_4) - \beta_1 \cdot a \cdot \left( \frac{d}{dt} \eta_3 - \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \quad (9)$$

де  $M_1, M_2$  – маса та момент інерції несучої конструкції критого вагона;  
 $M_3, M_4$  – маса та момент інерції першого візка за ходом руху;  
 $M_5, M_6$  – маса та момент інерції другого візка за ходом руху;  
 $C_{ij}$  – характеристики пружності елементів коливальної системи, які визначаються значеннями коефіцієнтів жорсткості пружин  $k_b$ ;  
 $B_{ij}$  – функція розсіювання;  
 $a$  – половина бази візка;  
 $k$  – жорсткість колії;  
 $\beta$  – коефіцієнт демпфування;  
 $\eta_i(x)$  – функція, яка описує нерівність колії;  
 $\delta_i$  – деформація пружних елементів ресорного підвішування;  
 $F_{TP}$  – абсолютна сила тертя в ресорному комплекті;  
 $H_1, H_2$  – величини горизонтальних сил, що прикладені до п'ятників першого та другого візків;  
 $h$  – висота центру мас несучої конструкції критого вагона.

$$M'_1 = M_1 + (M_3 + M_5) + \frac{nI}{r^2}, \quad (10)$$

де  $n$  – осність візка;  
 $I$  – момент інерції колісної пари;  
 $r$  – радіус колеса.

Величина горизонтальної сили, що прикладена до п'ятника візка визначається [11]

$$H_{1,2} = \frac{P_l}{1 - \frac{P_l}{P_k}} \left[ \frac{\delta L}{l^2} \left( 1 + \frac{L}{a} \right) \pm \alpha \frac{L_c}{R} \right], \quad (11)$$

де  $P_k$  – величина критичної сили (для чотиривісного вагона прийнята 4,0 МН);  
 $\delta$  – вільні переміщення шворневих перетинів вагона;  
 $L$  – напівдовжина рами між упорними плитами автозчепів;  
 $l$  – напівбаза вагона;  
 $a$  – довжина корпусу автозчепу;  
 $L_c$  – напівдовжина вагона за осями зчеплення автозчепів;  
 $R$  – радіус кривої.

$$\alpha = \frac{1 - \frac{P_l}{P_k}}{1 - \frac{P_l}{P_b}}, \quad (12)$$

$$P_b = a \cdot c, \quad (13)$$

де  $c$  – жорсткість ресорного підвішування.

Розв'язок математичної моделі здійснений в програмному комплексі MathCad за методом Рунге – Кутта [12, 13].

Початкове переміщення та швидкості прийняті рівними нулю [14, 15]. При проведенні розрахунків враховувалися параметри ресорного підвішування візка моделі 18-100. При моделюванні динамічної навантаженості критого вагона враховані номінальні параметри складових його несучої конструкції.

Результати розрахунків наведені на рис. 5, 6.

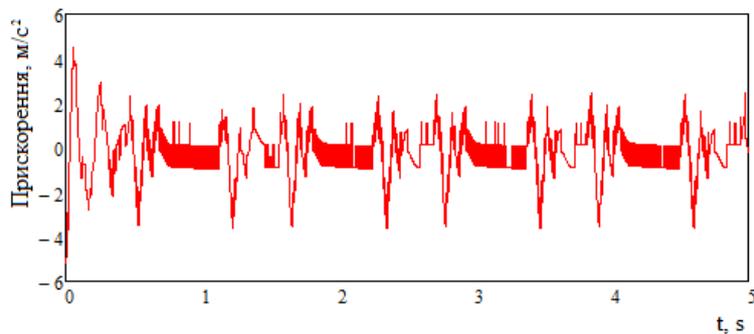


Рисунок 5 – Прискорення несучої конструкції критого вагона в центрі мас

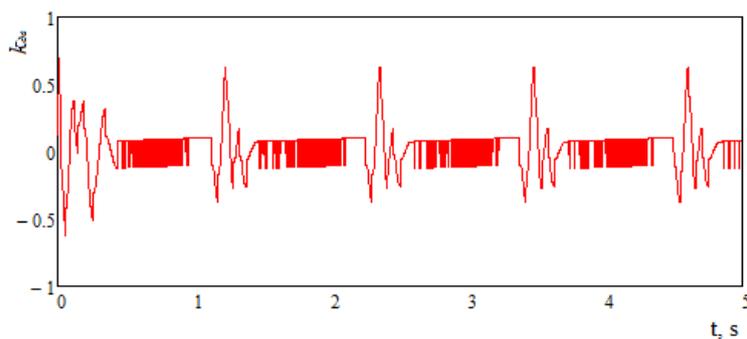


Рисунок 6 – Коефіцієнт вертикальної динаміки несучої конструкції критого вагона

Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона в центрі мас склали  $5,5 \text{ м/с}^2$  (рис. 5). Коефіцієнт вертикальної динаміки несучої конструкції критого вагона склав близько  $0,7 \text{ м/с}^2$  (рис. 6). На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що хід руху вагона оцінюється як “добрий” [16, 17].

Отримані показники динаміки вище за ті, що виникають в несучій конструкції вагона-прототипу, оскільки його маса зменшилася. Однак це дозволяє підвищити корисний об’єм кузова критого вагона, що сприятиме і підвищенню ефективності його експлуатації.

#### Висновки:

1. Запропоновано заходи щодо удосконалення даху критого вагона шляхом використання композитної обшивки та прямокутних труб у якості складових каркасу. Таке рішення дозволяє зменшити масу даху на 4% у порівнянні з типовою конструкцією.

2. Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості критого вагона. Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію критого вагона в центрі мас дорівнюють  $5,2 \text{ м/с}^2$ . Коефіцієнт вертикальної динаміки несучої конструкції критого вагона склав близько  $0,7 \text{ м/с}^2$ . Хід руху вагона оцінюється як “добрий”.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу, а також підвищенню ефективності його експлуатації.

#### Література

1. Lovska A. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(16). 5710. doi: 10.3390/app10165710
2. Lovska A. Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts. Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(21). 7441. doi: 10.3390/app10217441
3. Рейдмейстер А. Г. Модернизация как способ улучшения использования универсальных вагонов. Рейдмейстер А. Г., Калашник В. А., Шкинунов А. А. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2016. № 2 (62). doi 10.15802/stp2016/67334
4. Chandra Prakash Shukla. Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons. Chandra Prakash Shukla, Bharti P. K. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2015. Vol. 4. Issue 04. P. 1195–1200. doi: <https://doi.org/10.17577/ijertv4is041031>
5. Woo Geun Lee. The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. Woo Geun Lee, Jung-Seok Kim, Seung-Ju Sun, Jae-Yong Lim. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2016. Vol. 232. Issue 1. P. 25 – 42.
6. Raffaele Sepe. Static and modal numerical analyses for the roof structure of a railway freight refrigerated car. Raffaele Sepe, Angela Pozzi. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2015. Vol. 33. P. 451 – 462. doi: 10.3221/IGF-ESIS.33.50

7. M. Placzek. A concept of technology for freight wagons modernization. M. Placzek, A. Wróbel, A. Buchacz. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. No. 161 (2016). doi:10.1088/1757-899X/161/1/012107.
8. Hyun-Ah Lee. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park. Journal of Rail and rapid transit. 2016. No. 11. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0954409715593971>
9. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. / Ю. В. Дьомін, Г. Ю. Черняк. – Київ: КУЕТТ, 2003. – 269 с.
10. Fomin Oleksij. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. Fomin Oleksij, Lovska Alyona. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6. Issue 7 (108). P. 21 – 29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217162
11. Вершинский С.В. Динамика вагона: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Хусидов. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
12. Lovska A. A new fastener to ensure the reliability of a passenger coach car body on a railway ferry. Lovska A., Fomin O. Acta Polytechnica. 2020. Vol. 60(6). P. 478 – 485.
13. Fomin O. Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. Materials, 2021. Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
14. Minochkin A. The improvement of method for the multi-criteria evaluation of the effectiveness of the control of the structure and parameters of interference protection of special-purpose radio communication systems. A. Minochkin, A. Shyshatskiy, V. Hasan, A. Hasan, A. Opalak, A. Hlushko, O. Demchenko, A. Lyashenko, O. Havryliuk, S. Ostapenko. Technology Audit and Production Reserves. 2021. Vol. 4. No.2(60). P. 22–27. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.235465>.
15. Nalapko O. Analysis of mathematical models of mobility of communication systems of special purpose radio communication systems. O. Nalapko, O. Sova, A. Shyshatskiy, A. Hasan, V. Velychko, O. Trotsko, D. Merkotan, N. Protas, R. Lazuta, O. Yakovchuk. Technology Audit and Production Reserves. 2021. Vol. 4. No.2(60). P. 39–44. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.237433>.
16. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).
17. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам.

#### References

- 1 Lovska, A. (2020). Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry / Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. // Applied Sciences. – Vol. 10(16). 5710. doi: 10.3390/app10165710
- 2 Lovska, A. (2020). Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. // Applied Sciences. – Vol. 10(21). 7441. doi: 10.3390/app10217441
- 3 Rejdemejster, A. G. (2016). Modernizaciya kak sposob uluchsheniya ispol'zovaniya universal'nyh vagonov / Rejdemejster A. G., Kalashnik V. A., Shikunov A. A. // Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliz-nichnogo transportu. – № 2 (62). doi 10.15802/stp2016/67334
- 4 Chandra, Prakash Shukla. (2015). Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons / Chandra Prakash Shukla, Bharti P. K. // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – Vol. 4. Issue 04. P. 1195–1200. doi: <https://doi.org/10.17577/ijertv4is041031>
- 5 Woo, Geun Lee. (2016). The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys / Woo Geun Lee, Jung-Seok Kim, Seung-Ju Sun, Jae-Yong Lim // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – Vol. 232. Issue 1. P. 25 – 42.
- 6 Raffaele, Sepe. (2015). Static and modal numerical analyses for the roof structure of a railway freight refrigerated car / Raffaele Sepe, Angela Pozzi // Frattura ed Integrità Strutturale. – Vol. 33. P. 451 – 462. doi: 10.3221/IGF-ESIS.33.50
- 7 M., Placzek. (2016). A concept of technology for freight wagons modernization / M. Placzek, A. Wróbel, A. Buchacz // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – No. 161 (2016). doi:10.1088/1757-899X/161/1/012107.
- 8 Hyun-Ah, Lee. (2016). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels / Hyun-Ah Lee, Seong-Beom Jung, Hwan-Hak Jang, Dae-Hwan Shin, Jang Uk Lee, Kwang Woo Kim and Gyung-Jin Park // Journal of Rail and rapid transit. – No. 11. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0954409715593971>
- 9 D'omin Yu. V., Chernyak G. Yu. Osnovi dinamiki vagoniv: navch. posib. / Yu. V. D'omin, G. Yu. Chernyak. – Kyiv: KUETT, 2003. – 269 s.
- 10 Fomin, Oleksij. (2020). Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource / Fomin Oleksij, Lovska Alyona // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 6. Issue 7 (108). P. 21 – 29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217162
- 11 Vershinskij S.V. Dinamika vagona: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. / S.V. Vershinskij, V.N. Danilov, V.D. Husidov. – M.: Transport, 1991. – 360 s.
- 12 Lovska, A. (2020). A new fastener to ensure the reliability of a passenger coach car body on a railway ferry / Lovska A., Fomin O. // Acta Polytechnica. – Vol. 60(6). P. 478 – 485.
- 13 Fomin, O. (2021). Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulia G., Lovska A., Kravchenko K. // Materials. – Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
- 14 Minochkin, A. (2021). The improvement of method for the multi-criteria evaluation of the effectiveness of the control of the structure and parameters of interference protection of special-purpose radio communication systems / A. Minochkin, A. Shyshatskiy, V. Hasan, A. Hasan, A. Opalak, A. Hlushko, O. Demchenko, A. Lyashenko, O. Havryliuk, S. Ostapenko // Technology Audit and Production Reserves. – Vol. 4. No.2(60). P. 22–27. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.235465>.
- 15 Nalapko, O. (2021). Analysis of mathematical models of mobility of communication systems of special purpose radio communication systems / O. Nalapko, O. Sova, A. Shyshatskiy, A. Hasan, V. Velychko, O. Trotsko, D. Merkotan, N. Protas, R. Lazuta, O. Yakovchuk // Technology Audit and Production Reserves. – Vol. 4. No.2(60). P. 39–44. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.237433>.

- 16 DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhni. Zagal'ni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv kolii 1520 mm (nesamohidnih).
- 17 GOST 33211-2014. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam.

*In order to reduce the tare of the boxcar load-bearing structure and, correspondingly, the underpropelled mass, it is suggested to improve its roof by means of composite cladding. In this case it is suggested to make the roof frame from pipes of rectangular section. Such solution allows to reduce the roof mass by 4% in comparison with the typical construction. Covered car model 11-217 was chosen as a prototype. Mathematical modeling was done to determine vertical load-bearing load-bearing structure of boxcar with composite roof. Researches are carried out in flat coordinate system - XZ plane. It is taken into account that a covered wagon is moved in an empty state by a joint unevenness. The track is considered to be elastic-viscous. Differential equations of motion were solved by Runge-Kutta method in MathCad software. Initial displacements and velocities were assumed to be zero. During calculations, the parameters of spring suspension of the bogie model 18-100 were taken into account. When modelling dynamic loading of a boxcar, the nominal parameters of its load-bearing structure components are taken into account. Calculation results showed that maximum accelerations acting on boxcar load-bearing structure in the center of masses are  $5.5 \text{ m/s}^2$ . Coefficient of vertical dynamics of boxcar load-bearing structure is about  $0.7 \text{ m/s}^2$ . Based on the performed calculations we can conclude that the car movement is estimated as "good". It is important to say that the obtained dynamics indices are higher than those of the load-bearing structure of the prototype car, because its mass decreased. However, it allows increasing the useful volume of the boxcar body.*

*The conducted research will contribute to the creation of the works on the design of the innovative rolling stock designs, as well as increase the efficiency of its operation.*

**Key words:** transport mechanics, covered wagon, load-bearing structure, composite roof, dynamic loading, load modeling.

**Фомін О. В.** – д.т.н., професор кафедри “Вагони та вагонне господарство” Державного університету інфраструктури та технологій.

**Ловська А. О.** – д.т.н., доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту.

**Фоміна А. М.** – доктор філософії, науковий співробітник кафедри “Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини” Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля

**Сергієнко О. В.** – к.т.н., доцент кафедри “Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини” Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля