

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КАРКАСА ВАГОНА, КРИТОГО БРЕЗЕНТОМ, ПРИ СПРИЙНЯТТІ ПОВЗДОВЖНІХ НАВАНТАЖЕНЬ

Альона Ловська

доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050,
alyonaLovskaya.vagons@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8604-1764

Андрій Рибін

кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050,
rybinandrey2006@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4430-8018

Михайло Павлюченко

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної і будівельної механіки

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, Україна, 61002, pavliuchenkov@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0542-7284

Дмитро Скуріхін

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції

Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050,
skurikhin@i.ua

ORCID: 0000-0002-1122-1234

Для зменшення тари критого вагона пропонується створення на його базі вагона, критого брезентом. Прототипом вибрано критий вагон моделі 11-217. Передбачається постановку на типову раму критого вагона арок, які мають контур, подібний до кузова вагона-прототипу. Для дослідження повздовжньої динамічної навантаженості вагона проведено математичне моделювання. Дослідження проведено в плоскій системі координат – площина XZ. До уваги взято найбільш несприятливий випадок навантаження рами вагона – маневрове співударяння. При цьому враховано, що вагон має три ступені вільності та завантажений із використанням повної вантажопідйомності. Вантаж розглянуто як умовний. Переміщення вантажу відносно рами не враховувалося. Удар на раму вагона приймався як абсолютно жорсткий. Розв'язання математичної моделі здійснено в MathCad. Визначене прискорення, як складник динамічного навантаження, враховано при розрахунку на міцність каркаса кузова вагона. Створення просторової моделі каркаса вагона здійснено в SolidWorks. При її створенні враховано елементи, які жорстко взаємодіють між собою зварюванням або заклепками. Зварювальні шви до уваги не бралися, а модель розглянуто як монолітну. Розрахунок на міцність каркаса вагона здійснено в SolidWorks Simulation, який реалізує метод скінчених елементів. Проведені розрахунки показали, що максимальні напруження в каркасі вагона на 1,3% нижчі ніж допустимі й виникають у зонах взаємодії хребтової балки із шворневими. Отже, міцність каркаса при заданому режимі експлуатації дотримується.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проєктування сучасних конструкцій критих вагонів, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничних перевезень.

Ключові слова: транспортна механіка, критий вагон, несуча конструкція вагона, динамічна навантаженість, безпека перевезень, залізничний транспорт.

Актуальність роботи. Технічний рівень рухомого складу є одним з основних факторів ефективності вантажних перевезень. Наразі парк вантажних вагонів налічує дуже велику кількість за конструкційними особливостями та технологією обробки типів вагонів: напіввагони, криті вагони,

вагони-платформи, вагони-хопери, вагони-цистерни тощо. Вантажі, які потребують захисту від атмосферного впливу, перевозяться безпосередньо в критих вагонах.

Для підвищення техніко-економічних показників сучасних критих вагонів актуальним

питанням є зменшення їх тари. Це сприяє не тільки зменшенню підресореної маси вагона, а й підвищенню вантажопідйомності при дотриманні умов експлуатаційної міцності. Зменшення тари вагона можливо досягти безпосередньо вдосконаленням їх кузовів як вузла конструкції, на який припадає найбільший відсоток тари. Тому питання вдосконалень кузовів критичних вагонів з метою зменшення їх тари є досить актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз навантаженості кузова критичного вагона для перевезень вантажів, що потребують спеціальних кліматичних умов, проводиться в статті [1]. Авторами виявлено вплив холодильного устаткування на частоти та форми коливань кузова вагона. Однак при цьому ними не запропоновано рішень щодо вдосконалення його конструкції.

Заходи щодо вдосконалення кузова спеціалізованого критичного вагона висвітлено в роботі [2]. Місця прикладення навантажень визначалися за допомогою побудованої тривимірної просторової моделі. Випробування вагона здійснено на спеціальному стенді. Результати проведених випробувань довели, що міцність запропонованої конструкції кузова дотримується. Водночас завдання підвищення техніко-економічних показників вагона авторами не ставилося.

У роботі [3] також запропоновано вдосконалий критичний вагон, який має секційну конструкцію. Така особливість вагона дає змогу здійснювати одночасне перевезення в ньому різнотипних вантажів. У межах публікації висвітлено особливості розрахунку на міцність вагона при основних експлуатаційних навантаженнях. Водночас експлуатація такого вагона має певні недоліки, наприклад, необхідність забезпечення рівномірного навантаження на осі колісних пар візків за умови перевезень різнотипних вантажів. Крім того, така конструкція вагона має збільшену тару, що не сприяє покращенню його техніко-економічних показників.

Особливості вдосконалення кузова критичного вагона шляхом використання нової конструкції бічних дверей висвітлюються в роботі [4]. Автори зазначили, що це сприятиме підвищенню ефективності процесу вантажно-розвантажувальних робіт на вагоні. Однак це вдосконалення не сприяє покращенню технічних показників вагона.

У публікації [5] аналізується втомна міцність кузова критичного вагона для перевезень спеціальних вантажів. Для цього авторами застосовано модель жорсткої гнучкості та проведено відпо-

відне імітаційне моделювання. Результати цього моделювання підтверджено натурними експериментальними дослідженнями із застосуванням вібраційного стенду. Наведено висновки щодо проведених випробувань критичного вагона та зазначено перспективи подальших досліджень. При цьому авторами роботи не запропоновано рішень, спрямованих на підвищення техніко-економічних показників вагона.

Питання модернізації залізничних вагонів для підвищення рівня їх загарбованості в експлуатації висвітлюються в роботі [6]. Виявлено основні пошкодження вагонів в експлуатації. Проаналізовано статистичні дані, які передбачають кореляцію між відмовами та їх значущістю, а також вплив модернізації вагонів на їх відмови. Однак конкретних рішень щодо модернізації вагонів авторами в роботі не запропоновано.

Проведений аналіз літературних джерел доводить, що питання вдосконалень конструкцій критичних вагонів є досить актуальними. Водночас для підвищення ефективності їх експлуатації такі питання потребують подальшого дослідження.

Мета статті – висвітлити результати дослідження міцності каркаса вагона, критичного брезентом, при сприйнятті повздовжніх навантажень. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- провести визначення повздовжньої навантаженості каркаса вагона при сприйнятті ним повздовжньої сили;
- провести розрахунок на міцність каркаса вагона.

Матеріал і результати досліджень. Для зменшення тари критичного вагона пропонується створення на його базі вагона критичного брезентом (рис. 1). Такі вагони наразі знайшли широке розповсюдження в експлуатації на коліях 1435 мм та добре зарекомендували себе.



а) б)

Рис. 1. Вагон критичний брезентом:

- а – для перевезень різнотипних вантажів;**
- б – для перевезень спеціалізованих вантажів**

Для дослідження можливості створення вагона, критичного брезентом, для колії 1520 мм як

прототипу обрано критий вагон моделі 11-217. На базі типової рами цього вагона запропоновано конструкцію вагона, критого брезентом (рис. 2). При цьому передбачається постановка на типову раму критого вагона арок, які мають контур, подібний до кузова вагона-прототипу. Арки мають ступінь вільності в повздовжній площині. Завантаження вагона здійснюється після переміщення арок у бік торцевої стіни. Фіксація арок відносно рами здійснюється типовим механізмом, що застосовується на вагонах подібної конструкції. Торцеві стіни утворені вертикальними та поперечними балками та перекриті горизонтальним листом.



Рис. 2. Каркас кузова критого вагона

Запропонована конструкція каркаса має на 16% нижчу тару, ніж у вагона-прототипу.

Для дослідження повздовжньої динамічної навантаженості вагона проведено відповідний розрахунок. При цьому використано математичну модель, сформовану спеціалістами інституту технічної механіки НАН України з урахуванням її адаптації до визначення динамічної навантаженості вагона, критого брезентом.

Розрахункову схему вагона наведено на рис. 3.

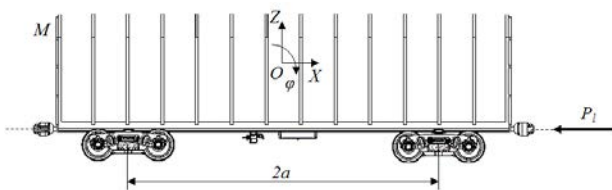


Рис. 3. Розрахункова схема вагона

Ураховано, що вагон має три ступені вільності: поступальне переміщення в повздовжній та вертикальній площинах, а також кутове переміщення у вертикальній площині. Прийнято припущення, що вагон завантажений із використанням повної вантажопідйомності умовним вантажем. Вантаж не має власного ступеня вільності та повторює траєкторію переміщень кузова. На задній упор автотреника діє повздовжнє навантаження в 3,5 МН. При цьому удар є абсолютно

жорстким. З урахуванням цього рівняння руху вагона мають вигляд [7]:

$$\begin{cases} M'_B \cdot \ddot{x}_B + M' \cdot \ddot{\phi}_B = P_1, \\ I_B \cdot \ddot{\phi}_B + M' \cdot \ddot{x}_B - g \cdot \phi_B \cdot M' = l \cdot F_{TP} \cdot (\text{sign}\Delta_1 - \text{sign}\Delta_2) + l \cdot ((k_1 \cdot \Delta_1) - (k_2 \cdot \Delta_2)), \\ M_B \cdot \ddot{z}_B = (k_1 \cdot \Delta_1) + (k_2 \cdot \Delta_2) - F_{TP} \cdot (\text{sign}\Delta_1 - \text{sign}\Delta_2), \end{cases}$$

де

$$M'_B = M_B + 2 \cdot m_T + \frac{n \cdot I_{КП}}{r^2}; \quad M' = M_B \cdot h;$$

$$\Delta_1 = z_B - l \cdot \phi_B; \quad \Delta_2 = z_B + l \cdot \phi_B,$$

M_B – маса кузова вагона; I_B – момент інерції вагона відносно повздовжньої осі; P_1 – величина повздовжньої сили удару в автотреник; m_T – маса візка; $I_{КП}$ – момент інерції колісної пари; r – радіус середньозношеного колеса; n – кількість осей візка; l – половина бази вагона; F_{TP} – абсолютне значення сили сухого тертя в ресорному комплекті; k_1, k_2 – жорсткість пружин ресорного підвищення візків вагона; x_B, ϕ_B, z_B – координати, що відповідають повздовжньому, кутовому навколо поперечної осі та вертикальному переміщенню вагона відповідно.

При проведенні розрахунків враховано, що вагон спирається на візки моделі 18-100. Розв’язок системи диференціальних рівнянь (1) здійснено в програмному комплексі MathCad [8; 9]. Початкові переміщення та швидкості завдані близькими до нуля.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що прискорення, яке діє на каркас вагона, становить 38,4 м/с² (рис. 4).

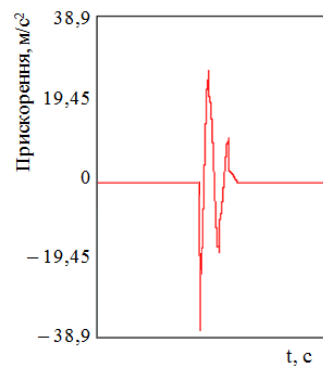


Рис. 4. Прискорення, які діють на каркас вагона

Розраховане прискорення враховано при розрахунках на міцність каркаса вагона. Як розрахунковий застосовано метод скінчених елементів. Його реалізацію здійснено в SolidWorks Simulation [10]. Розрахункову схему каркаса наведено на рис. 5. Вона враховує такі наванта-

ження: вертикальне P_v , зумовлене власною вагою та вагою вантажу, розміщеного у вагоні; повздовжнє P_{y0} , прикладене до вертикальної поверхні заднього упору з одного боку вагона та урівноважене силами інерції мас вагона з іншого боку; динамічне P_d , яке прикладалося до виступальних частин п'ятника. Закріплення моделі здійснювалося за горизонтальну поверхню п'ятників [11–13]. Матеріалом конструкції призначено сталь 09Г2С, яка є типовою для виготовлення кузовів вагонів.

Скінченно-елементну модель каркаса вагона утворено тетраедрами, число яких розраховано графоаналітично [14]. З урахуванням цього скінченно-елементна модель налічує 93 440 вузлів та 263 648 елементів. Найбільший елемент мав розмір 100 мм, найменший – 20 мм.

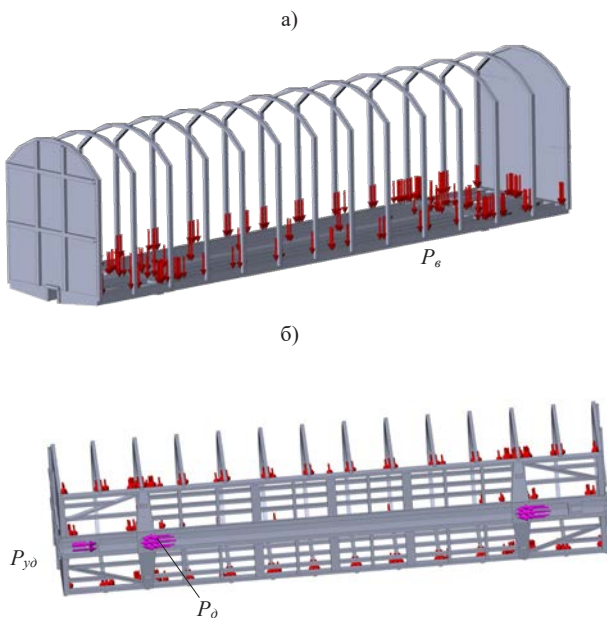


Рис. 5. Розрахункова схема каркаса
а) вид 1; б) вид 2

На підставі проведеного розрахунку встановлено, що максимальні напруження в каркасі мають місце в зонах взаємодії хребтової балки зі шворневими (рис. 5). Ці напруження склали 306,4 МПа, що нижче за допустимі, які становлять 310,5 МПа [15].

Максимальні переміщення виникають у середній частині каркаса й дорівнюють 4,78 мм (рис. 6). Таке розподілення переміщень можна пояснити тим, що закріплення моделі здійснювалося за п'ятниками, а вертикальне навантаження рівномірно розподілено відносно рами. Отже, її середня частина має найбільші переміщення.

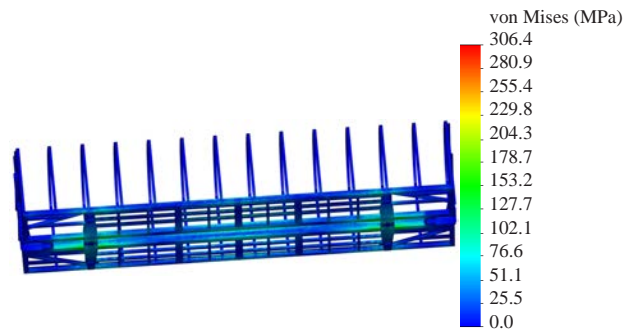


Рис. 6. Напружений стан каркаса вагона

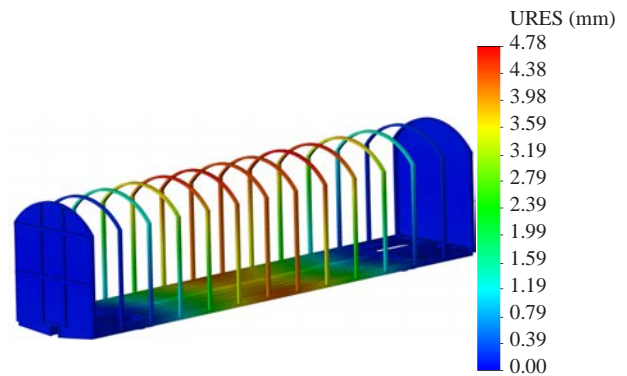


Рис. 7. Переміщення у вузлах каркаса

Результати проведених досліджень доводять доцільність створення вагона критого брезентом на базі наявної конструкції. На подальшому етапі розвитку дослідження планується визначити навантаженість каркаса вагона при інших схемах експлуатаційних навантажень, зокрема при перевезенні на залізничному поромі.

Висновки.

1. Проведено визначення повздовжньої навантаженості каркаса вагона при сприйнятті ним повздовжньої сили. Установлено, що прискорення, яке діє на каркас вагона в центрі мас при сприйнятті ним повздовжньої сили на задній упор автотягача, становить 38,4 м/с².

2. Проведено розрахунок на міцність каркаса вагона при дії на його автотягач повздовжньої сили. Проведені розрахунки показали, що максимальні напруження в каркасі вагона мають місце в зонах взаємодії хребтової балки із шворневими і становлять 306,4 МПа. Ці напруження на 1,3% нижчі за допустимі. Отже, міцність каркаса при завданому режимі експлуатації дотримується. Максимальні переміщення в каркасі вагона становлять 4,78 мм і виникають у його середній частині.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій критих вагонів, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничних перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Oleg Voron, Yuri Bulavin. Modal-based analysis of the refrigerated wagon body with different placements of energy refrigeration equipment. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023. Vol. 9(3). P. 32–40. DOI: 10.17816/transssyst20239332-40
2. Farkhod Khikmatov, Meirkhan Baltaev, Irina Soboleva, Yahyo Xurmatov, Abdusaid Yuldashov. The body of a dynamometer wagon for special technical purposes. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 458. DOI: 10.1051/e3sconf/202345803021
3. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Andriy Klymash, Mykhailo Keremet. Improvement of covered wagons of the “East-West” type by sectioning with a partition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №5/7 (113). P. 36–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239751
4. Chandra Prakash Shukla, Bharti P. K. Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2015. Vol. 4, Issue 04. P. 1195–1200. DOI: 10.17577/ijertv4is041031
5. Xiaoxue Liu, Yahui Zhang, Suming Xie, Qiang Zhang, Hanfei Guo. Fatigue failure analysis of express freight sliding side covered wagon based on the rigid-flexibility model. *International Journal of Structural Integrity*. 2021. Vol. 12, Number 1. P. 98–108. DOI: 10.1108/IJSI-11-2019-0122
6. Eva Nedeliaková, Michal VallaMatej, Masár Matej Masár. Modernization of Railway Wagons for Customer Satisfaction and Safety. *Vehicles*. 2024. Vol. 6(1). P. 374–383. DOI: 10.3390/vehicles6010015
7. Ловська А. О. Розвиток наукових основ розрахунків конструкцій вагонів шляхом урахування наднормованих режимів при експлуатації : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07. Харків, 2021. 40 с.
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. Сяєв А. В. Вступ до системи MathCad: навчальний посібник. Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. 108 с.
10. Lovskaya Alyona. Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 3, Issue 4. P. 36–41. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.24997
11. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: навчальний посібник. Луцьк : Вежа. 2018. 172 с.
12. Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Мямлін С. С., Павлюченков М. В. Дослідження навантаженості зйомного модуля для довгомірних вантажів при перевезенні у складі комбінованого поїзда залізничним поромом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2022. № 1. С. 27–33. DOI: 10.20998/2078-9130.2022.1.264322
13. Ловська А. О. Дослідження температурного впливу на міцність несучої конструкції критого вагона. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2023. Том 34 (73). № 1. С. 276–280. DOI: 10.32782/2663-5941/2023.1/42
14. Fomin O., Lovska A., Daki O., Bohomia V., Tymoshchuk O., Tkachenko V. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. №3/7 (99) P. 18–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.166329
15. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

RESEARCH OF THE STRENGTH OF THE WAGON FRAME COVERED WITH A TARPAULIN WHEN RECEIVING LONGITUDINAL LOADS

Alyona Lovska

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Wagon Engineering and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sq., Kharkiv, Ukraine, 61050,
alyonaLovskaya.wagons@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8604-1764

Andriy Rybin

PhD, Associate Professor at the Department of Wagon Engineering and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sq., Kharkiv, Ukraine, 61050,
rybinandrey2006@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4430-8018

Mykhailo Pavliuchenkov

PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Theoretical and structural mechanics
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 17 Marshala Bazhanova str., Kharkiv, Ukraine,
61002, pavliuchenkov@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0542-7284

Dmytro Skurikhin

PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Wagon Engineering and Product Quality
Ukrainian State University of Railway Transport, 7 Feuerbakh sq., Kharkiv, Ukraine, 61050, skurikhin@i.ua

ORCID: 0000-0002-1122-1234

To reduce the tare of a covered wagon, it is proposed to create a tarpaulin-covered wagon on its basis. Covered wagon model 11-217 was chosen as the prototype. Arches that have a contour similar to the body of the prototype wagon are

expected to be placed on the typical frame of the covered wagon. Mathematical modeling was carried out to study the longitudinal dynamic loading of the wagon. The study was carried out in a flat coordinate system – the XZ plane. The most unfavorable case of load on the wagon frame is taken into account – shunting collision. At the same time, it is taken into account that the wagon has three degrees of freedom and is loaded using the full carrying capacity. The cargo is considered conditional. The movement of the load relative to the frame was not taken into account. The impact on the wagon frame was taken as absolutely hard. The mathematical model was solved in MathCad. The determined acceleration, as a component of the dynamic load, is taken into account when calculating the strength of the wagon body frame. The creation of a spatial model of the car frame was carried out in SolidWorks. During its creation, elements that rigidly interact with each other by welding or rivets were taken into account. Welding seams were not taken into account, and the model was considered monolithic. The calculation of the strength of the wagon frame was carried out in SolidWorks Simulation, which implements the finite element method. The calculations showed that the maximum stresses in the frame of the car are 1.3% lower than permissible and occur in the areas of interaction between the backbone beam and the pivot beams. Therefore, the strength of the frame under the given mode of operation is maintained.

The conducted research will contribute to the creation of recommendations for the design of modern structures of covered wagons, as well as to increase the efficiency of operation of railway transportation.

Key words: transport mechanics, covered wagon, bearing structure of the wagon, dynamic load, transportation safety, railway transport.

REFERENCES

- Voron, O. & Bulavin, Yu. (2023). Modal-based analysis of the refrigerated wagon body with different placements of energy refrigeration equipment. *Modern Transportation Systems and Technologies*, 9(3), 32–40. DOI: 10.17816/transsyst20239332-40
- Khikmatov, F., Baltaev, M., Soboleva, I., Xurmatov, Ya. & Yuldashov, A. (2023). The body of a dynamometer wagon for special technical purposes. *E3S Web of Conferences*, 458. DOI: 10.1051/e3sconf/202345803021
- Fomin, O., Lovska, A., Klymash, A. & Keremet, M. (2021). Improvement of covered wagons of the “East-West” type by sectioning with a partition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/7 (113), 36–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239751
- Chandra Prakash Shukla & Bharti, P. K. (2015). Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 4, 04, 1195–1200. DOI: 10.17577/ijertv4is041031
- Liu, Xi., Zhang, Ya., Xie, S., Zhang, Q. & Guo, H. (2021). Fatigue failure analysis of express freight sliding side covered wagon based on the rigid-flexibility model. *International Journal of Structural Integrity*, 12, 1, 98–108. DOI: 10.1108/IJSI-11-2019-0122
- Nedeliaková, E., VallaMatej, M. & Masár, M. (2024). Modernization of Railway Wagons for Customer Satisfaction and Safety. *Vehicles*, 6(1), 374–383. DOI: 10.3390/vehicles6010015
- Lovska, A. O. (2021). Rozvytok naukovykh osnov rozrakhunkiv konstruktsii vahoniv shliakhom urakhuvannya nadnormovanykh rezhymiv pry ekspluatatsii [Development of scientific foundations for calculating wagon structures by taking into account the above-norm cases of their operation]: *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kharkiv. UkrSURT [in Ukrainian].
- Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu. & Kylyk, L. V. (2020). *Chyselni metody rozviazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad: navchalnyi posibnyk [Numerical methods of solving differential equations using MathCad: a tutorial]*. Vinnytsia, VNTU. [in Ukrainian].
- Siasiev, A. V. (2004). *Vstup do systemy MathCad: navchalnyi posibnyk [Introduction to the MathCad system: a tutorial]* Dnipropetrovsk: Vyd-vo Dnipropetr. un-tu. [in Ukrainian].
- Lovskaya, A. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 4, 36–41. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.24997
- Pustiulha, S. I., Samostian, V. R. & Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna hrafika v SolidWorks: navchalnyi posibnyk [Engineering graphics in SolidWorks: a tutorial]*. Lutsk: Vezha. [in Ukrainian].
- Vatulia, H. L., Lovska, A. O., Miamlin, S. S. & Pavliuchenkov, M. V. (2022). Doslidzhennia navantazhenosti ziomnoho modulia dlia dovhomirnykh vantazhiv pry perevezenni u skladi kombinovanoho poizda zaliznychnym poromom. [Research of the loading of the removable module for long-dimension loads when transported as part of a combined train by a railway ferry]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seria: Dynamika i mitsnist mashyn – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Dynamics and strength of machines*, 1, 27–33. DOI: 10.20998/2078-9130.2022.1.264322 [in Ukrainian].
- Lovska, A. O. (2023). Doslidzhennia temperaturnoho vplyvu na mitsnist nesuchoi konstruktsii krytoho vahona. [Research of the temperature effect on the strength of the load-bearing structure of the covered wagon]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seria: Tekhnichni nauky – Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University". Series: Technical Sciences*, 34 (73), 1, 276–280. DOI: 10.32782/2663-5941/2023.1/42 [in Ukrainian].
- Fomin, O., Lovska, A., Daki, O., Bohomia, V., Tymoshchuk, O. & Tkachenko, V. (2019). Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/7 (99), 18–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.166329
- Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrakhunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih) [Freight cars. General requirements for calculations and design of new and modernized wagons of 1520 mm gauge (non-self-propelled)]. (2015). *DSTU 7598:2014 from 01 August 2015*, Kyiv, Derzhstandart Ukraine. [in Ukrainian].

Стаття надійшла 25.06.2024