

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-273-3-97-102>

УДК 629.463.004.4:656.211.7

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА З ВИПУКЛИМИ СТІНАМИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

Фомін О.В., Ловська А.О.

## EXAMINATION OF THE LOAD-BEARING STRUCTURE OF A RAIL CAR WITH CONVEX WALLS DURING TRANSPORTATION BY RAILWAY FERRY

Fomin O.V., Lovska A.O.

В матеріалах статті проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом. В якості прототипу обрано напіввагон моделі 12-757. Особливістю несучої конструкції напіввагона є наявність випуклих стін, що дозволяє підвищити корисний об'єм його кузова на 8% у порівнянні з прототипом. Для можливості перевезення напіввагона на залізничному поро пропонується постановку на вертикальних листах його шворневих балок листів для закріплення ланцюгових стяжок. Для обґрунтування запропонованого рішення проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом морем. Для цього сформовано математичну модель, яка характеризує переміщення залізничного порому з вагонами навколо повздожньої осі (крен). Дослідження проведені стосовно залізничного порому "Герои Шипки", що рухається акваторією Чорного моря. Розв'язок сформованої математичної моделі здійснений в програмному комплексі MathCad при початкових умовах рівних нулю. Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленою кутом крену залізничного порому, склала 0,24g. Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність несучої конструкції напіввагона за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Особливістю розрахункової моделі є те, що вона враховує навантаження, які діють на несучу конструкцію напіввагона через ланцюгові стяжки. Результати розрахунків встановили, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні радіального приливу вузла для закріплення та складають 245,2 МПа. Однак отримані напруження не перевищують допустимих. В поперечних балках рами максимальні еквівалентні напруження склали близько 180 МПа, а в середній частині хребтової балки – близько 160 МПа. Проведені дослідження сприятимуть забезпеченню безпеки перевезень вагонів морем, скороченню витрат на позапланові види їх ремонтів, екологічності залізнично-поромних перевезень, а також підвищенню ефективності їх експлуатації.

**Ключові слова:** транспортна механіка, напіввагон, несуча конструкція, динамічна навантаженість, міцність, залізнично-поромні перевезення.

**Вступ.** Ефективність функціонування транспортної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію сучасних транспортних засобів. Оскільки основний сегмент перевізного процесу відводиться залізничному транспорту, то до створення сучасних конструкцій вагонів повинні пред'являтися особливі умови. Зокрема це стосується їх несучих конструкцій.

При проектуванні несучих конструкцій сучасних вагонів необхідним є врахування уточнених величин навантажень, які можуть діяти на них не тільки при експлуатації на магістральних коліях, а і при комбінованих залізнично-поромних перевезеннях. Даний напрямок є досить актуальним для України, оскільки вона має виходи у міжнародне сполучення через акваторії Чорного та Азовського морів.

Одним з найбільш поширених типів вагонів, який знайшов використання в міжнародному залізнично-водному сполученні є напіввагон. Для забезпечення адаптації несучої конструкції напіввагона до безпечного перевезення залізничним поромом важливим є його удосконалення. Це сприятиме забезпеченню безпеки перевезень вагонів морем, скороченню витрат на позапланові види ремонтів, екологічності залізнично-поромних перевезень, а також підвищенню ефективності їх експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження міцності зварної несучої конструкції кузова вагона проводиться у роботі [1]. Визначено причини виникнення дефектів у конструкційних елементах кузова вагона. Для забезпечення міцності кузовів вагонів нової побудови, а також тих, що проходять ремонт, запропоновані заходи щодо удосконалення. При цьому в зоні взаємодії хребтової балки зі шворневою здійснюється встановлення підсилюючих елементів. Однак при складанні моделі міцності рами вагона не враховані зусилля, які можуть діяти при перевезенні на залізничному поромі.

Аналіз конструкційних особливостей вантажних вагонів BCNHL проводиться у публікації [2]. Визначено можливі шляхи покращення техніко-економічних показників вагонів для підвищення ефективності їх експлуатації. Важливо сказати, що в даній роботі не приділяється уваги необхідності удосконалення схеми взаємодії вагона з палубою залізничного порому.

Визначення динамічної навантаженості кузовів вантажних вагонів, несучі елементи яких виконані з круглих труб проводиться у роботі [3]. Розраховано прискорення, які діють на вагони при маневровому співударянні шляхом математичного та комп'ютерного моделювання. Доведено доцільність запропонованих технічних рішень щодо удосконалення вагонів. Однак при проектуванні даних конструкцій вагонів до уваги прийняті навантаження, які можуть діяти тільки при експлуатації відносно магістральних колій.

Дослідження динамічних навантажень, які діють на кузова вантажних вагонів при перевезенні на залізничному поромі, проводиться у роботі [4]. Обґрунтовано необхідність врахування навантажень, які діють на вагони при перевезенні на залізничних поромках на стадії проектування в умовах вагонобудівних підприємств. Питанням щодо удосконалення схеми взаємодії кузовів вагонів для забезпечення надійності закріплення на палубі залізничного порому в роботі уваги не приділяється.

Дослідження міцності кузова напіввагона при експлуатаційних режимах навантаження проводиться у публікаціях [5, 6]. Результати досліджень показали, що метод прогнозування втомної міцності кузова, заснований на гібридному моделюванні динаміки та аналізі за методом скінчених елементів є можливим. Задача визначення динамічної навантаженості та міцності несучої конструкції вагона при перевезенні на залізничному поромі в даних роботах не ставиться.

Теоретичне та експериментальне дослідження міцності вантажного вагона проводиться у роботі [7]. При цьому до уваги прийняті нормативні величини навантажень, які діють на вагон при експлуатації відносно рейкових колій. Дослідження міцності кузова вагона з урахуванням навантажень, які діють на нього при перевезенні залізничним поромом в роботі не проводиться.

Особливості структурно-динамічного аналізу вагона висвітлені у роботі [8]. Дослідження проведені за методом скінчених елементів. При цьому розглянуто багаторівневу систему вільності вагона. Однак до уваги не прийняті навантаження, які можуть діяти на нього при перевезеннях на залізничних поромках.

Проведений аналіз літературних джерел [1 – 8] дозволяє зробити висновок, що питання визначення динамічної навантаженості, міцності та удосконалення несучих конструкцій вагонів при перевезеннях на залізничних поромках на сучасному етапі роз-

витку транспортної галузі вимагають більш ретельної уваги.

**Мета статті.** Метою статті є дослідження навантаженості несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами при перевезенні залізничним поромом. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- запропонувати заходи щодо забезпечення надійності закріплення несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами на палубі залізничного порому;

- провести математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона при перевезенні залізничним поромом;

- провести визначення основних показників міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для підвищення об'ємів перевезень вантажів у напіввагонах запропоновано концепт несучої конструкції з випуклими стінами (рис. 1). Така конфігурація бокових стін дозволяє підвищити корисний об'єм кузова на 8% у порівнянні з вагоном-прототипом [9]. У зв'язку з підвищенням вантажопідйомності вагона необхідним є збільшення жорсткості його рами. Цього можливо досягти шляхом встановлення підсилюючих діафрагм, використанням гофр в найбільш навантажених зонах тощо. Дослідження проведено стосовно напіввагона моделі 12-757.

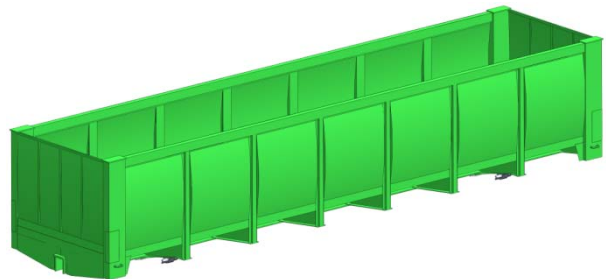


Рис. 1. Несуча конструкція напіввагона з випуклими стінами

Результати розрахунків на міцність несучої конструкції напіввагона при основних експлуатаційних режимах навантажень підтвердили доцільність запропонованих рішень.

Для можливості перевезення напіввагона на залізничному поромі запропоновано встановлення на його шворневих балках вузлів для закріплення ланцюгових стяжок (рис. 2).

Для визначення прискорень кузова напіввагона при перевезенні залізничним поромом проведено математичне моделювання [4]. Для цього сформовано математичну модель коливань залізничного порому з кузовами вагонів, розміщеними на ньому (рис. 3).

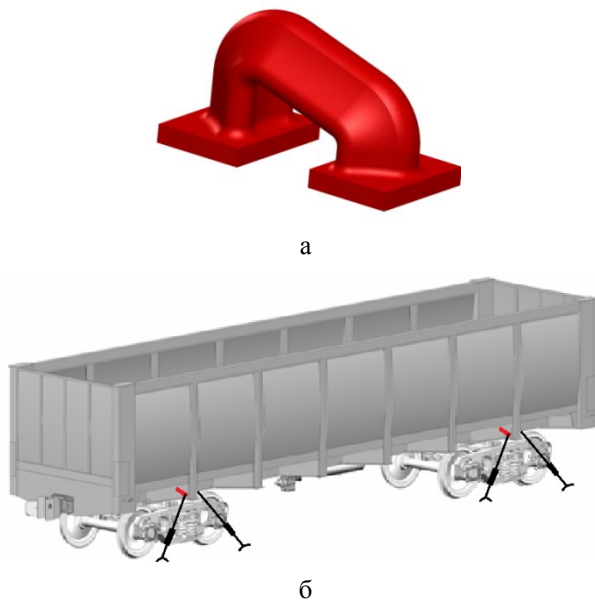


Рис. 2. Удосконалення несучої конструкції напіввагона:  
а – вузол для закріплення;  
б – схема закріплення вагона на палубі

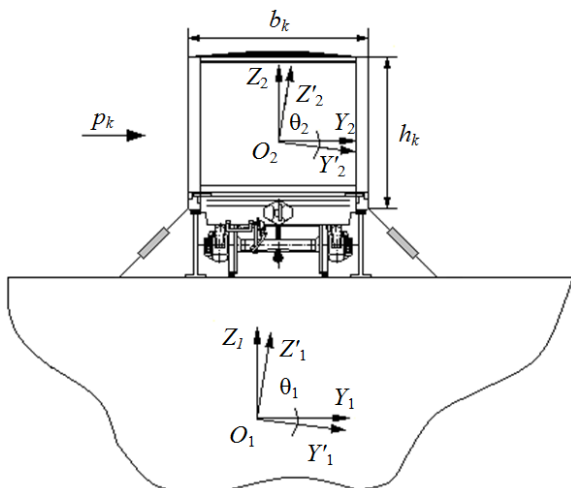


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення динамічної навантаженості кузова напіввагона

Рівняння (1) враховує кутові переміщення залізничного порому з вагонами на його палубах відносно повздовжньої осі.

$$\frac{D}{12 \cdot g} \cdot (B^2 + 4 \cdot z_g^2) \cdot \ddot{q}_1 + \left( \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \right) \cdot \dot{q}_1 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_0 \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \tag{1}$$

де  $q_1$  – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому з вагонами навколо повздовжньої осі  $X$ .  $D$  – вагове водовитіснення залізничного порому;  $B$  – ширина залізничного порому;  $h$  – висота борта залізничного порому;  $\Lambda_0$  – коефіцієнт опору коливанням;  $z_g$  – координата центру ваги залізничного порому;  $p'$  – вітрове навантаження на надводну проекцію залізничного порому з вагонами, розміщеними на

верхній палубі;  $F(t)$  – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порому з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах.

Розв’язання диференціального рівняння (1) здійснено в середовищі програмного комплексу Mathcad за методом Рунге-Кутта [10, 11]. Початкові умови прийняті рівними нулю.

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому “Герои Шипки”, що рухається акваторією Чорного моря. Гідрометеорологічні параметри акваторії плавання залізничного порому визначені на підставі довідкової літератури [11]. Встановлено, що максимальні прискорення виникають при курсових кутах хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому  $60^\circ$  та  $120^\circ$  і складають  $0,2 \text{ м/с}^2$  (рис. 4). При цьому на осі ординат наведені прискорення з урахуванням різних курсових кутів хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому. Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленою кутом крену залізничного порому, склала  $0,24g$ . При цьому враховано, що кут крену залізничного порому викликаний статичною дією вітру на його надводну проекцію і дорівнює  $12,2^\circ$ .

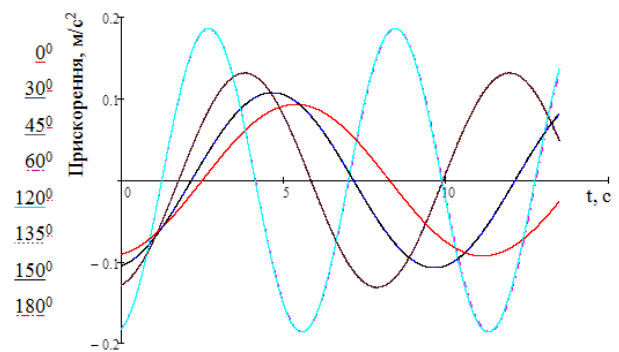


Рис. 4. Прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона при перевезенні залізничним поромом

Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність несучої конструкції напіввагона. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation.

При складанні скінчено-елементної моделі використані ізопараметричні тетраедри [12, 13]. Оптимальна чисельність скінчених елементів розрахована за графоаналітичним методом [14, 15]. Закріплення моделі здійснювалося за горизонтальні частини п’ятників, тобто в зонах обпирання на ходові частини, а також в зонах взаємодії механічних упордомкратів зі шворневими балками. Матеріал метало-конструкції кузова – сталь марки 09Г2С.

Розрахункову схему несучої конструкції напіввагона наведено на рис. 5. Враховано, що на кузов напіввагона діє вертикальне статичне навантаження  $P_g^{cm}$ , тиск розпору насипного вантажу  $P_p$ , а також навантаження, які діють через ланцюгові стяжки  $P_n$ . Оскільки ланцюгові стяжки мають просторове розміщення [16], то

навантаження, яке буде передаватися на кузов через них, розкладалося на складові (рис. 6). У якості насипного вантажу прийнято кам'яне вугілля, як один з найбільш поширених типів вантажів, що перевозяться напіввагонами у міжнародному-залізнично-водному сполученні.

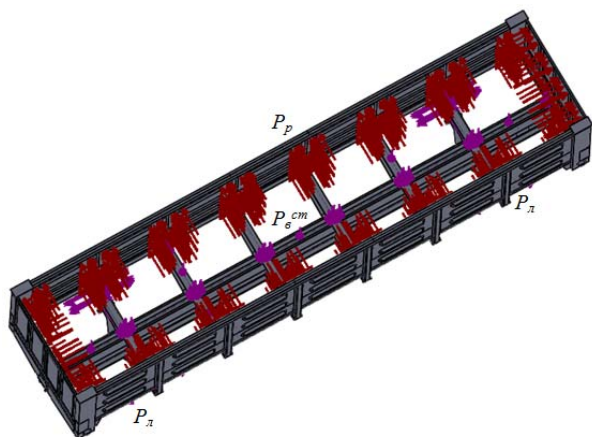


Рис. 5. Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона

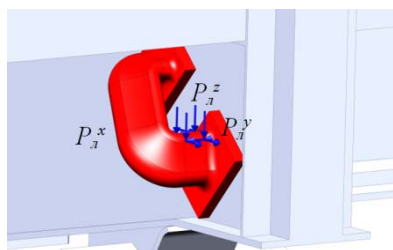


Рис. 6. Навантаження, які діють на вузол закріплення через ланцюгові стяжки

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні радіального приливу вузла для закріплення та складають 245,2 МПа (рис. 7). Однак отримані напруження не перевищують допустимих [17, 18]. В поперечних балках рами максимальні еквівалентні напруження склали близько 180 МПа, а в середній частині хребтової балки – близько 160 МПа (рис. 8).

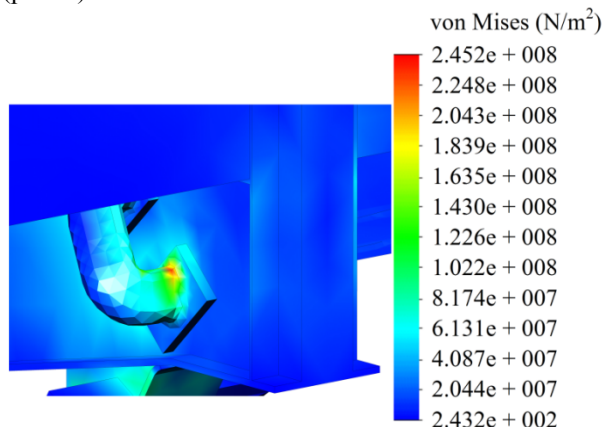


Рис. 7. Напружений стан вузла для закріплення

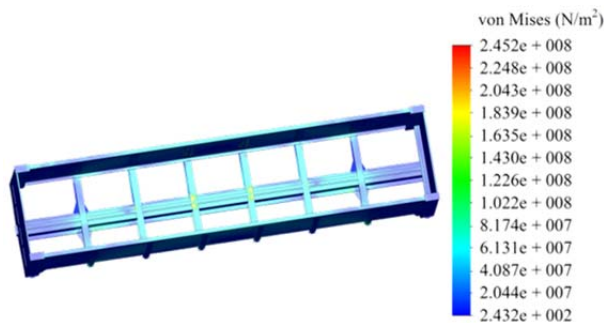


Рис. 8. Напружений стан несучої конструкції напіввагона

### Висновки:

1. Запропоновано заходи щодо забезпечення надійності закріплення несучої конструкції напіввагона з випуклими стінами на палубі залізничного порому шляхом встановлення на шворневих балках вузлів для закріплення ланцюгових стяжок.

2. Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона при перевезенні залізничним поромом. До уваги прийнято кутові переміщення залізничного порому відносно повздовжньої осі. Встановлено, що максимальні прискорення виникають при курсових кутах хвиль по відношенню до корпусу залізничного порому  $60^\circ$  та  $120^\circ$  і складають  $0,2 \text{ м/с}^2$ . Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння, обумовленою кутом крену залізничного порому, складала  $0,24g$ .

3. Проведено визначення основних показників міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні залізничним поромом. При цьому максимальні еквівалентні напруження виникають в зоні радіального приливу вузла для закріплення та складають 245,2 МПа. Однак отримані напруження не перевищують допустимих. В поперечних балках рами максимальні еквівалентні напруження склали близько 180 МПа, а в середній частині хребтової балки – близько 160 МПа.

Проведені дослідження сприятимуть забезпеченню безпеки перевезень вагонів морем, скороченню витрат на позапланові види їх ремонтів, екологічності залізнично-поромних перевезень, а також підвищенню ефективності їх експлуатації.

### Література

1. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. P. 150 – 154.
2. Chandra Prakash Shukla. Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons / Chandra Prakash Shukla, P. K. Bharti // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2015. – Vol. 4, Issue 04. P. 1195 – 1200.
3. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / Fomin O. V., Lovska A.

- O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – 2017. Vol 6. P. 89 – 96.
4. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry / A. O. Lovska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2015. Vol. 3. P. 9 – 14.
  5. Y.-G. Zhong. Fatigue Analysis of Structure of Gondola Car Body Based on Rigid-flexible Coupling Multi-body Systems. / Y.-G. Zhong, Y. Zhan, G. Zhao // 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain, 2014.
  6. Y.Q. Yuan. Analysis of C80B Wagons Load-Stress Transfer Relation / Y.Q. Yuan, Q. Li, K. Ran // *Applied Mechanics and Materials*. – 2012. – Vol. 148-149. P. 331 – 335.
  7. Sung Cheol Yoon. Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car / Sung Cheol Yoon, Jeong Guk Kim, Chang Sung Jeon, Kang Youn Choe // *Key Engineering Materials*. – 2010. Vol. 417-418. P. 181 – 184.
  8. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // *Procedia Materials Science*. – 2014. – Vol. 6. P. 1891 – 1898.
  9. Фомін О. В. Концепт кузова напіввагона з випуклими стінами / О. В. Фомін, М. І. Горбунов, А. О. Ловська // *Сучасні технології в науці та освіті*. – 2021. С. 169 – 171. doi: [https://doi.org/10.33216/MonographSNU\(978-617-11-0211-8\)-2021-320](https://doi.org/10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320).
  10. 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. // *Appl. Sci.* – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
  11. Lovska A. Dynamic Load Modelling within Combined Transport Trains during Transportation on a Railway Ferry / Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. // *Appl. Sci.* – 2020. – Vol. 10(5710). <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
  12. Fomin O. Research into the Strength of an OpenWagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulja G., Lovska A., Kravchenko K. // *Materials*. – 2021. – Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
  13. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. // *Materials*. – 2021. – Vol. 14(8) 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
  14. Vatulja G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulja G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
  15. Vatulja G. L. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab / Vatulja G. L., Lobiak O. V., Deryzemlia S. V., Verevicheva M. A., Orel Ye. F. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 664. 012014. doi:10.1088/1757-899X/664/1/012014
  16. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Шипки”. Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky” № 2512.02. Одесса. – 1997. 51 с.
  17. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
  18. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. [Действителен от 2016-07-01]. Москва, 2016. 54 с.

#### References

1. Antipin D.Ya. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation / Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. // *Procedia Engineering*. – 2016. – Vol. 150. P. 150 – 154.
2. Chandra Prakash Shukla. Study and Analysis of Doors of BCNHL Wagons / Chandra Prakash Shukla, P. K. Bharti // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. – 2015. – Vol. 4, Issue 04. P. 1195 – 1200.
3. Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – 2017. Vol 6. P. 89 – 96.
4. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry / A. O. Lovska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2015. Vol. 3. P. 9 – 14.
5. Y.-G. Zhong. Fatigue Analysis of Structure of Gondola Car Body Based on Rigid-flexible Coupling Multi-body Systems. / Y.-G. Zhong, Y. Zhan, G. Zhao // 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spain, 2014.
6. Y.Q. Yuan. Analysis of C80B Wagons Load-Stress Transfer Relation / Y.Q. Yuan, Q. Li, K. Ran // *Applied Mechanics and Materials*. – 2012. – Vol. 148-149. P. 331 – 335.
7. Sung Cheol Yoon. Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car / Sung Cheol Yoon, Jeong Guk Kim, Chang Sung Jeon, Kang Youn Choe // *Key Engineering Materials*. – 2010. Vol. 417-418. P. 181 – 184.
8. Harak S. S. Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method / Harak S. S., Sharma S. C., Harsha S. P. // *Procedia Materials Science*. – 2014. – Vol. 6. P. 1891 – 1898.
9. Fomin O. V. Koncept kuzova napivvagona z vipuklimi stinami / O. V. Fomin, M. I. Gorbunov, A. O. Lovska // *Сучасні технології в науці та освіті*. – 2021. С. 169 – 171. doi: [https://doi.org/10.33216/MonographSNU\(978-617-11-0211-8\)-2021-320](https://doi.org/10.33216/MonographSNU(978-617-11-0211-8)-2021-320).
10. 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. // *Appl. Sci.* – 2020. – Vol. 10(7441). doi:10.3390/app10217441.
11. Lovska A. Dynamic Load Modelling within Combined Transport Trains during Transportation on a Railway Ferry / Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. // *Appl. Sci.* – 2020. – Vol. 10(5710). <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
12. Fomin O. Research into the Strength of an OpenWagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / Fomin O., Gerlici J., Gorbunov M., Vatulja G., Lovska A., Kravchenko K. // *Materials*. – 2021. – Vol. 14 (12), 3420. <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
13. Fomin O. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. //

- Materials. – 2021. – Vol. 14(8) 1915. <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
14. Vatulia G. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results / Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. – 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
  15. Vatulia G. L. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab / Vatulia G. L., Lobiak O. V., Deryzemlia S. V., Verevicheva M. A., Orel Ye. F. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 664. 012014. doi:10.1088/1757-899X/664/1/012014
  16. Nastavlenie po krepleniyu general'nyh gruzov pri morskoy perevozke dlya t/h "Geroi Shipki". Cargo securing manual for m/v "Geroi Shipky" № 2512.02. Odessa. – 1997. 51 s.
  17. DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhnI. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernIzovanih vagoniv kolyi 1520 mm (nesamohidnih). [Chinniy vid 2015-07-01]. Kiyiv, 2015. 250 p.
  18. GOST 33211-2014. Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. [Deystvitelen ot 2016-07-01]. Moskva, 2016. 54 p.

**Fomin O.V., Lovska A.O. Examination of the load-bearing structure of a rail car with convex walls during transportation by railway ferry**

*The article is devoted to determination of dynamic load-car load-carrying capacity of the upgraded load-car bearing structure when transported by railroad vice. Feature of the load-bearing structure of the wagon is the presence of convex walls, which allows to increase the carcass volume by 8% compared with the prototype. Due to the increase of the car load-carrying capacity the stiffness of the car frame is increased due to installation of reinforcing diaphragms, use of corrugations in the most burdened zones, etc. The load-bearing structure of the car is adapted to the transportation on the railway ferry. For this purpose, nodes for fastening of lancet couplers were installed on vertical plates of the pivot beams. The results of dynamic load-car load-car load-*

*carrying structure determination when the railroad car is carried by the sea are given. For this purpose, a mathematical model, which characterizes the transfer of the railroad sill with the cars, located on its decks, on the moving axis (roll). Hydrometeorological and logistical parameters of the water area of the sailing of the railroad sill were determined on the basis of the updated literature. The mathematical model was developed with the MathCad software package using the Runge-Cutt method. The initial conditions were set equal to zero. The results of these calculations showed that the total value of acceleration, which acts on the car load carrying structure, is 0.24g. The obtained value of the acceleration was taken into account when calculating the strength of the load-bearing structure of the wagon by the method of connected elements in the SolidWorks Simulation program complex. When creating the calculation model, the loads acting on the load-bearing structure of the wagon through the lancet ties were taken into account. The results of the calculations showed that the maximum quantum-component loads occur in the area of the radial tide of the node to fasten the lancet ties but they do not exceed the admissible values. The results of the conducted research will contribute to ensuring the safety of carriage by sea, reducing the cost of their repairs, the environmental friendliness of the railroad carriage, as well as increasing the efficiency of their operation.*

**Keywords:** transport mechanics, wagon, load-carrying structure, dynamic load, strength, railroad carriage.

**Фомін Олексій Вікторович** – д.т.н., доц., професор кафедри вагони та вагонне господарство, Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ), [fomin1985@ukr.net](mailto:fomin1985@ukr.net)

**Ловська Альона Олександрівна** – д.т.н., доц., доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків), [alyonalovskaya.vagons@gmail.com](mailto:alyonalovskaya.vagons@gmail.com)

Стаття подана 15. 01. 2022 р.