

Олексій Фомін¹, Альона Ловська²

¹Професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій, вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2387-9946>

²Професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції, Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

* Автор, відповідальний за листування: alyonalovskaya.vagons@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ХОПЕРА ДВОСЕКЦІЙНОГО ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ПОРОМОМ

Для підвищення ефективності експлуатації вагона-хопера запропоновано його удосконалення шляхом розділення кузова на дві окремі секції, що сприяє можливості перевезень в ньому різноманітних вантажів. Для адаптації вагона-хопера до перевезень на залізничних поромках у міжнародному сполученні пропонується постановка на його шворневих балках вузлів для закріплення ланцюгових стяжок. Визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-хопера проведено математичним моделюванням. До уваги прийнятий випадок бортової хитавиці залізничного порому. Розв'язок математичної моделі здійснений в програмному комплексі MathCad. Загальна величина прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-хопера склала $2,4 \text{ м/с}^2$ ($0,24g$). Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність несучої конструкції вагона-хопера. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Результати розрахунків встановили, що максимальні еквівалентні напруження дорівнюють $312,3 \text{ МПа}$ та виникають в вузлі для закріплення. Однак вони не перевищують допустимих значень.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації вагонів-хоперів, а також створенню напрацювань щодо проектування їх перспективних конструкцій.

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

Вступ. Забезпечення сталого та безперебійного перевізного процесу можливе за умови технічної оснащеності транспортної галузі. Вже тривалий час залізничний транспорт є одним з найбільш перспективних та використовуваних видів транспорту. Для утримання його лідерських позицій на ринку перевізних послуг важливим є впровадження в експлуатацію високоефективних транспортних засобів, зокрема вагонів.

Одним з найбільш поширених типів вагонів, який використовується для перевезень високотемпературних вантажів є вагон-хопер для перевезення окатишів та гарячого агломерату з температурою до 700°C .

Для підвищення ефективності експлуатації даного типу вагона можливим є удосконалення його несучої конструкції. Запропоноване удосконалення повинно сприяти розширенню багатофункціональності вагона, а також можливості його експлуатації не тільки на магістральних коліях, а і в міжнародному залізнично-водному сполученні. Для цього важливим є урахування на стадії проектування вагонів навантажень, які можуть діяти на них при

перевезеннях на залізничних поромах. Крім того, важливим є адаптація їх несучих конструкцій до надійної взаємодії з засобами закріплення на палубах. Тому актуальним є проведення досліджень в цьому напрямі.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Визначення основних показників міцності несучої конструкції вагона проводиться у публікації [1]. Проаналізовано основні причини появи дефектів у складових вагона. Запропоновано заходи щодо удосконалення несучої конструкції вагона шляхом встановлення підсилюючих елементів у найбільш навантажених зонах рами.

Аналіз конструкції вантажного вагона ВСННЛ проводиться в роботі [2]. Наведені можливі варіанти покращення технічних та економічних показників вагонів. Однак запропоновані удосконалення конструкцій вагонів не сприяють їх адаптації до перевезень на залізничних поромах.

У роботі [3] висвітлено результати визначення навантаженості несучої конструкції вагона. При цьому автори обмежилися нормативними значеннями навантажень, які діють на вагон в експлуатації, тобто до уваги не прийняті навантаження, які можуть діяти на нього при перевезеннях на залізничних поромах.

Дослідження міцності удосконаленої несучої конструкції вагона проводиться в роботі [4]. Наведені висновки щодо отриманого напруженого стану несучої конструкції вагона при ударних навантаженнях.

Аналіз можливості модернізації вантажного вагона шляхом використання композитних панелей в його складових проводиться у роботі [5]. Обґрунтовано доцільність запропонованого впровадження в несучу конструкцію вагона. Разом з цим питання удосконалення несучих конструкцій вагонів для забезпечення надійності їх закріплення на залізничних поромах авторами не розглядалися.

У публікації [6] наведено обґрунтування застосування композитних панелей при здійсненні модернізації кузовів вантажних вагонів. Зазначено переваги запропонованої модернізації та перспективи її подальшого розвитку на вузькоколіїних вагонах. Однак запропонована конструкція вагона не адаптована до перевезень на залізничних поромах.

У роботі [7] проводиться визначення навантаженості основних типів вагонів при експлуатаційних режимах. Наведено обґрунтування подальшої експлуатації вантажних вагонів, які вичерпали свій нормативний ресурс. Разом з цим при проведенні розрахунків на міцність авторами не враховано навантажень, які можуть діяти на несучу конструкцію вагона при перевезеннях на залізничних поромах.

Заходи щодо адаптації несучої конструкції вагона-платформи до перевезень на залізничних поромах висвітлені у публікації [8]. Наведено результати визначення динамічної навантаженості та міцності, які підтвердили доцільність запропонованих рішень. Однак авторами не приділялося уваги питанню удосконалення несучої конструкції вагона-хопера для забезпечення можливості його надійного перевезення на залізничному поромі.

Проведений літературний огляд показує, що питання адаптації несучих конструкцій вагонів до надійного перевезення на залізничних поромах є досить актуальними. Це викликає необхідність проведення досліджень в даному напрямі та створення відповідних напрацювань, які сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації вантажних вагонів.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є висвітлення результатів щодо динамічної навантаженості та міцності несучої конструкції вагона-хопера двосекційного при перевезенні залізничним поромом. Для досягнення поставленої мети сформувані такі завдання:

провести визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-хопера при перевезенні залізничним поромом;

провести визначення міцності несучої конструкції вагона-хопера при перевезенні залізничним поромом.

Матеріали та методи дослідження. З метою підвищення ефективності експлуатації вагона-хопера запропоновано його удосконалення шляхом розділення кузова на дві окремі секції, що взаємодіють між собою посередництвом вертикальної стінки та горизонтальних з'єднувальних поясів (рис. 1). При проектуванні вагона як прототипу обрано вагон-хопер моделі 20-9749, побудови ДП «Укрспецвагон» (Україна).

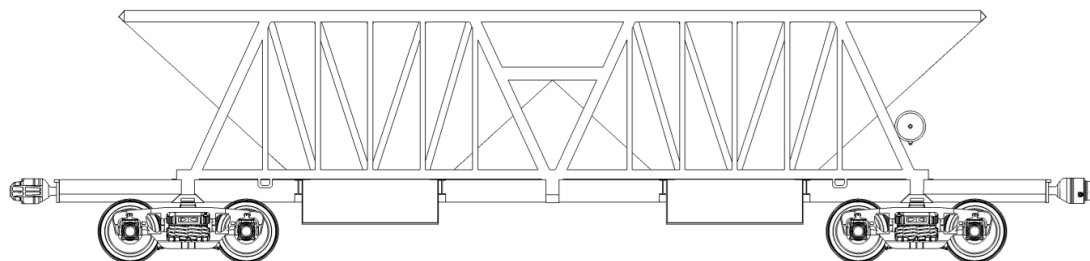


Рис. 1. Несуча конструкція двосекційного вагона-хопера

З метою можливості перевезень вагона-хопера на залізничних поромках у міжнародному сполученні пропонується постановка на його шворневих балках вузлів для закріплення ланцюгових стяжок (рис. 2).

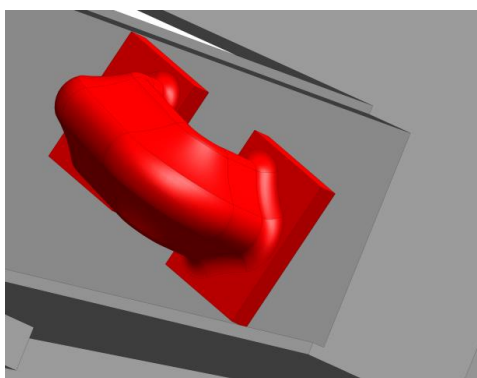


Рис. 2. Розміщення вузла на шворневій балці вагона

Для забезпечення відповідної жорсткості шворневої балки в зонах розміщення вузла є можливим встановлення в неї підсилюючих діафрагм.

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-хопера при перевезенні на залізничному поромі проведено математичне моделювання. До уваги прийнятий випадок бортової хитавиці залізничного порому (рис. 3).

Враховано, що вагон жорстко закріплений на палубі та повністю повторює траєкторію переміщень залізничного порому. Авторами використано математичну модель, сформовану у їх попередніх роботах [9]:

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

де q_1 – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порому з вагонами навколо повздожньої осі X .

D – вагове водовитіснення залізничного порому; B – ширина залізничного порому; h – висота борта залізничного порому; Λ_θ – 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 збурює рух залізничного порому з вагонами, розміщеними на його палубах.

Розв'язання математичної моделі (1) здійснено в програмному комплексі Mathcad. При цьому застосований метод Рунге-Кутта [10, 11]. Початкові умови прийняті рівними нулю [12, 13].

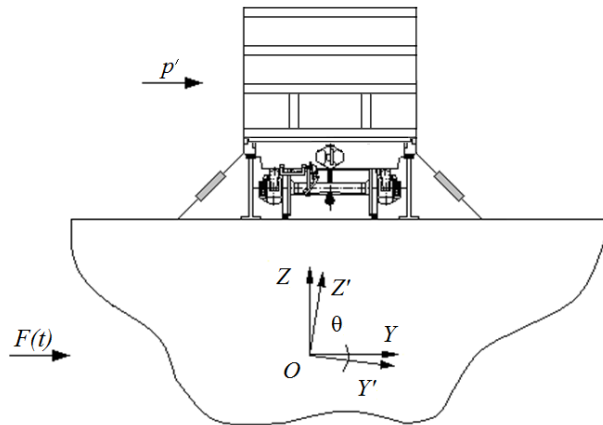


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення динамічної навантаженості вагона-хопера

Розрахунки проведені стосовно залізничного порому «Герои Шипки», що рухається акваторією Чорного моря. Гідрометеорологічні параметри акваторії плавання залізничного порому визначені на підставі довідкової літератури [14]. Результати розрахунків показали, що максимальні прискорення відносно штатного місця вагона на палубі виникають при курсових кутах хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому 60° та 120° і складають $0,4 \text{ м/с}^2$ (рис. 4). На осі ординат наведені прискорення з урахуванням різних курсових кутів хвиль по відношенню до корпусу залізничного порому.

Загальна величина прискорення з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння дорівнює $2,4 \text{ м/с}^2$ ($0,24g$).

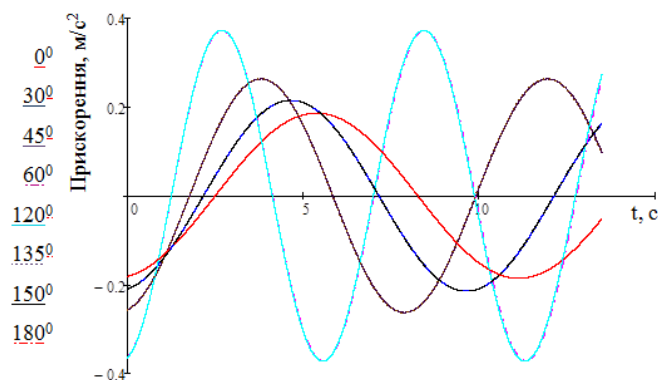


Рис. 4. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-хопера при перевезенні залізничним поромом

Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність несучої конструкції вагона-хопера. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів в

програмному комплексі SolidWorks Simulation [15]. При складанні скінчено-елементної моделі вагона-хопера використані ізопараметричні тетраедри.

Оптимальна кількість тетраедрів розрахована за графоаналітичним методом [16, 17]. Кількість елементів сітки складала 1091001, вузлів – 356047. Максимальний розмір елементу сітки дорівнює 40 мм, мінімальний – 8 мм, максимальне співвідношення боків елементів – 442,63, відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 13,7, більше десяти – 8,26. Кількість елементів в колі складала 9. Співвідношення збільшення розміру елементів – 1,7.

При складанні розрахункової схеми несучої конструкції вагона-хопера враховані такі навантаження: вертикальне статичне навантаження $P_{e^{cm}}$, тиск розпору від насипного вантажу P_p та навантаження від ланцюгових стяжок $P_{лс}$ (рис. 5). Внаслідок просторового розміщення ланцюгової стяжки навантаження, яке діє на вузол закріплення через неї розкладалося на складові з урахуванням кутів її розміщення у просторі (рис. 6).

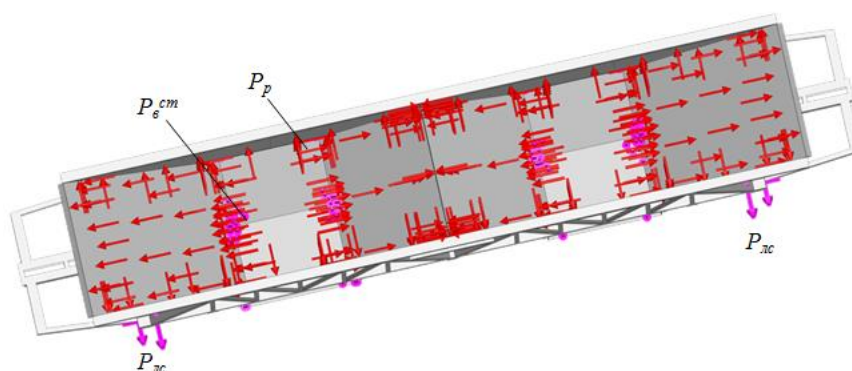


Рис. 5. Розрахункова схема несучої конструкції вагона- хопера

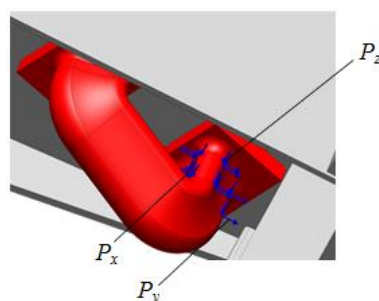


Рис. 6. Схема прикладення навантажень до вузла закріплення

Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання несучої конструкції вагона-хопера на ходові частини, а також робочі поверхні механічних упор-домкратів. Матеріал несучої конструкції вагона-хопера – сталь марки 09Г2С. Результати розрахунків наведені на рис. 7, 8. При цьому максимальні еквівалентні напруження складають 312,3 МПа та виникають в вузлі для закріплення. Однак отримані значення напружень не перевищують допустимих та є меншими за них на 9,5%. У якості допустимих враховані напруження плинності матеріалу конструкції, які дорівнюють 345 МПа.

Максимальні переміщення в конструкції виникають у розвантажувальних бункерах і складають 12,3 мм (рис. 9).

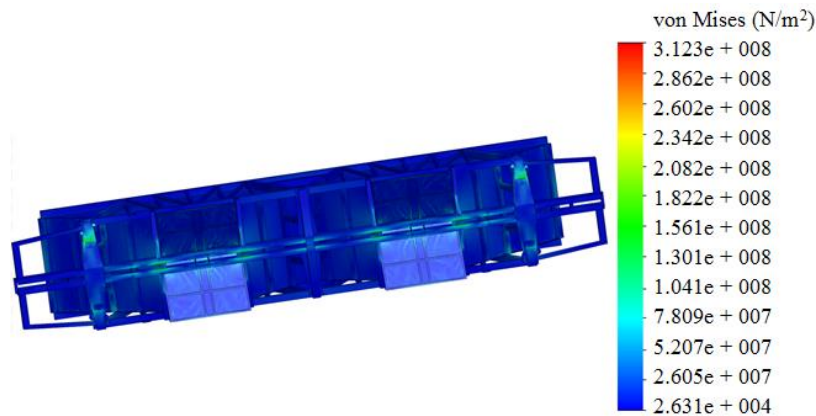


Рис. 7. Напружений стан несучої конструкції вагона-хопера

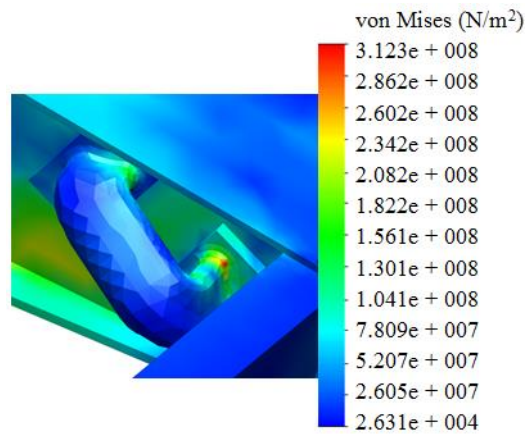


Рис. 8. Напружений стан вузла для закріплення

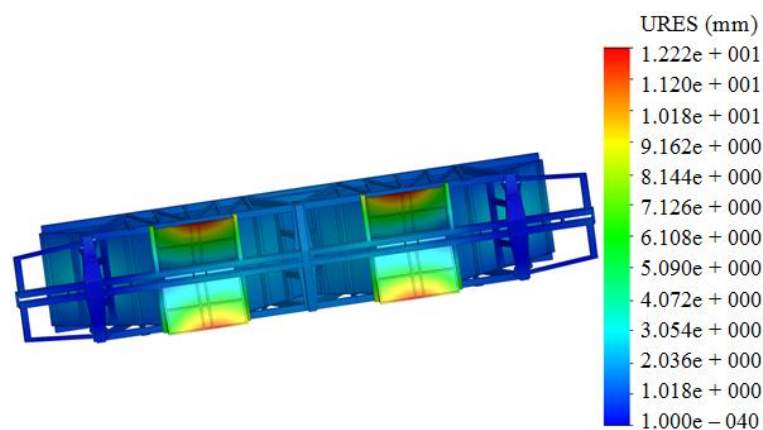


Рис. 9. Переміщення в вузлах несучої конструкції вагон - хопера

Проведені розрахунки показали, що міцність запропонованої несучої конструкції вагона-хопера при перевезенні на залізничному поромі забезпечується [18, 19].

Висновки

1. Проведено визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-хопера при перевезенні залізничним поромом. Встановлено, що максимальні прискорення відносно штатного місця вагона на палубі виникають при курсових кутах хвилі по відношенню до корпусу залізничного порому 60^0 та 120^0 і складають $0,4 \text{ м/с}^2$. Загальна величина прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-хопера, дорівнює $2,4 \text{ м/с}^2$ ($0,24g$).

2. Проведено визначення міцності несучої конструкції вагона-хопера при перевезенні залізничним поромом. Максимальні еквівалентні напруження склали $312,3 \text{ МПа}$ та виникають в вузлі для закріплення. Однак отримані значення напружень не перевищують допустимих та є меншими за них на $9,5\%$. Максимальні переміщення в несучій конструкції виникають у розвантажувальних бункерах і складають $12,3 \text{ мм}$.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації вагонів-хоперів, а також створенню напрацювань щодо проєктування їх перспективних конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Antipin D.Ya., Racin D.Yu., Shorokhov S.G. Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation. *Procedia Engineering*, 2016. Vol. 150. P. 150 – 154.
2. Shukla C. P., 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.
3. Patrascu A. I., Hadar A., Pastrama S. D. Structural Analysis of a Freight Wagon with Composite Walls. *Materiale plastic*, 2020. Vol. 57(2). P. 140 – 151. <https://doi.org/10.37358/MP.20.2.5360>.
4. Street G. E., Mistry P. J., Johnson M. S.. Impact Resistance of Fibre Reinforced Composite Railway Freight Tank Wagons. *Journal of Composites Science*, 2021. Vol. 5(6). P. 152. <https://doi.org/10.3390/jcs5060152>.
5. Kosobudzki M., Jamrozik K., Bocian M., Kotowski P., Zajac P. The analysis of structure of the repaired freight wagon. *AIP Conference Proceedings*, 2018. Vol. 2029. P. 020030. <https://doi.org/10.1063/1.5066492>.
6. Placzek M., Wróbel A., Olesiejuk M. Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. *MATEC Web of Conferences*, 2017. Vol. 112. 06022. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711206022>.
7. Fomin O., Lovska A. Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021. Vol. 2/7 (110). P. 6 – 15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>.
8. Lovska A., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Sciences*, 2020. Vol. 10(16). 5710. <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
9. Fomin O., Gerlici J., Lovskaya A., Kravchenko K., Prokopenko P., Fomina A., Hauser V. Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry. *MATEC Web of Conferences*, 2018. Vol. 235. P. 00003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500003>.
10. Кирьянов Д. В. *Mathcad 13*. Петербург: БХВ, 2006. 608 с.
11. Дьяконов В. *MATHCAD 8/2000: специальный справочник*. СПб.: Питер, 2000. 592 с.
12. Шишацький А.В. Методика формування сигнально-кодкових конструкцій OFDM-сигналу в умовах впливу навмисних завад та селективних завмирань. *Системи обробки інформації*, 2015. №7 (132). С. 71–77.
13. Шишацький А.В. Методика вибору робочих частот в складній електромагнітній обстановці. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка*, 2017. №1 (41). С. 146-149.
14. *Справочные данные о режиме ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей*. Российский морской регистр судоходства. Санкт-Петербург, 2006.
15. Fomin O., Lovska A., Skliarenko I., Klochkov Yu. Substantiating the optimization of the loadbearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 1/7 (103). P. 65 – 74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193408>.
16. Vatulina G., Rezunenko M., Orel Y., Petrenko D. Regression equations for circular CFST columns carrying capacity evaluation. *MATEC Web of Conferences*, 2017. Vol. 107. P. 00051. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710700051>.
17. Vatulina G. L., Lobiak O. V., Deryzemlia S. V., Verevicheva M. A., Orel Y. 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. P. 012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/664/1/012014>.
18. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проєктування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.
19. 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., Racin, D.Yu., & Shorokhov, S.G. (2013) Justification of a Rational Design of the Pivot Center of the Open-top Wagon Frame by means of Computer Simulation. *Procedia Engineering*, 150, 150 – 154.
2. Shukla, C. P., & Bharti, P. K. (2015). Study and analysis of doors of BCNHL wagons. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 4(04), 1195-1200.
3. Patrascu, A. I., Hadar, A., & Pastrama, S. D. (2020). Structural analysis of a freight wagon with composite walls. *Mater Plastic*, 57(2), 140-151. <https://doi.org/10.37358/MP.20.2.5360>.
4. Street, G. E., Mistry, P. J., & Johnson, M. S. (2021). Impact resistance of fibre reinforced composite railway freight tank wagons. *Journal of Composites Science*, 5(6), 152. <https://doi.org/10.3390/jcs5060152>.
5. Kosobudzki, M., Jamroziak, K., Bocian, M., Kotowski, P., & Zajac, P. (2018, October). The analysis of structure of the repaired freight wagon. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2029, No. 1, p. 020030). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.5066492>
6. Płaczek, M., Wróbel, A., & Olesiejuk, M. (2017). Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 112, p. 06022). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711206022>.
7. Fomin, O., & Lovska, A. (2021). Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.*, 2(7(110)), 6-14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
8. Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., & Kučera, P. (2020). Dynamic load modelling within combined transport trains during transportation on a railway ferry. *Applied Sciences*, 10(16), 5710. <https://doi.org/10.3390/app10165710>.
9. Fomin, O., Gerlici, J., Lovskaya, A., Kravchenko, K., Prokopenko, P., Fomina, A., & Hauser, V. (2018). Research of the strength of the bearing structure of the flat wagon body from round pipes during transportation on the railway ferry. In *MATEC Web of Conferences*, 235, 00003. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500003>.
10. Kiryanov, D. V. (2006). Mathcad 13. *Peterburg: BHV*, 608 [in Russian].
11. D'yakonov, V. (2000). MATHCAD 8/2000. *Sankt-Petrburg: Piter*, 592. [in Russian].
12. Shishackij, A.V. (2015). Metodika formuvannya signalno-kodovih konstrukcij OFDM-signalu v umovah vplivu navmisnih zavrad ta selektivnih zavmiran [Method of forming signal-code constructions of OFDM-signal under the influence of intentional interference and selective fading]. *Sistemi obrobki informaciyi*, 7(132), 71–77 [in Ukrainian].
13. Shishackij A.V. (2017). Metodika voboru robochih chastot v skladnij elektromagnitnij obstanovci. Sistemi upravlinnya, navigaciyi ta zv'yazku [Methods of choosing operating frequencies in a complex electromagnetic environment. Control, navigation and communication systems]. *Zbirnik naukovih prac Poltavskogo nacionalnogo tehnicnogo universitetu imeni Yuriya Kondratyuka*, 1(41), S. 146-149 [in Ukrainian].
14. Spravochnye dannye o rezhime vetra i volneniya Baltijskogo, Severnogo, Chernogo, Azovskogo i Sredizemnogo morej. Rossijskij morskoy registr sudohodstva [Background data on the wind and turbulence regime of the Baltic, North, Black, Azov and Mediterranean seas. Russian Maritime Register of Shipping]. *Sankt-Peterburg*. 2006 [in Russian].
15. Fomin, O., Lovska, A., Skliarenko, I., & Klochkov, Yu. (2020). Substantiating the optimization of the load-bearing structure of a hopper car for transporting pellets and hot agglomerate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7(103)), 65-74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193408>.
16. Vatulia, G., Rezenenko, M., Orel, Y., & Petrenko, D. (2017). Regression equations for circular CFST columns carrying capacity evaluation. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 107, p. 00051). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710700051>.
17. Vatulia, G. L., Lobiak, O. V., Deryzemlia, S. V., Verevicheva, M. A., & Orel, Y. F. (2019, October). Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 664, No. 1, p. 012014). IOP Publishing.. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/664/1/012014>.
18. Vagony vantazhni. (2015). Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi 1520 mm (nesamohidnih) [Freight wagons. General requirements for the calculation and design of new and upgraded 1520 mm (non-self-propelled) railcars], 162. *DSTU 7598:2014*. [in Ukrainian].
19. Vagony gruzovye (2016). Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [Freight cars. Strength and Dynamic Requirements], 54. *GOST 33211-2014*. [in Russian].

Oleksij Fomin¹, Alyona Lovska²

¹Professor of Department of Cars and Carriage Facilities, State University of Infrastructure and Technologies, Kyrylivska str., 9, Kyiv, 04071, Ukraine

²Associate Professor of the Department of Wagon Engineering and Product Quality, Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach sq., 7, Kharkiv, 61050, Ukraine

INVESTIGATION OF LOADING STRUCTURE OF HYPER-HOPPER TWO-SECTION CARRIER DURING CARRIAGE BY RAILWAY

To increase the efficiency of operation of the hopper car, it is proposed to improve it by dividing the body into two separate sections, which facilitates the possibility of transporting different types of cargo. In order to adapt the hopper car for transportation on railway ferries in international traffic, it is proposed to install on its pivot beams knots for fastening chain ties. Determination of the dynamic load of the load-bearing structure of the hopper car was performed by mathematical modeling. The case of the on-board rocking of the railway ferry is taken into account. The solution of the mathematical model is implemented in the MathCad software package. The total amount of acceleration acting on the supporting structure of the hopper car was 2.4 m/s^2 (0.24 g). The obtained value of acceleration is taken into account when calculating the strength of the load-bearing structure of the hopper car. The calculation was performed by the finite element method in the SolidWorks Simulation software package. The results of the calculations established that the maximum equivalent stresses are 312.3 MPa and occur in the node for fixing. However, they do not exceed the allowable values.

The conducted researches will promote increase of efficiency of operation of hopper cars, and also creation of developments concerning designing of their perspective designs.

Keywords: *transport mechanics, hopper car, load-bearing structure, dynamic loading, strength, railway-ferry transportations.*