

УДК 629.463.65:656.211.7

*Альона Ловська, к.т.н., доцент
(доцент кафедри вагонів, Український державний університет
залізничного транспорту)*

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА НАПІВВАГОНА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ

У статті наведені результати досліджень міцності удосконаленої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі. Визначено динамічні навантаження, які діють на кузов напіввагона та проведено розрахунок на міцність. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження не перевищують допустимі. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності функціонування комбінованих перевезень через міжнародні транспортні коридори.

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

Вступ. Розташування України на стику транспортних коридорів між Європою та Азією забезпечує її участь у міжнародних перевезеннях. На сьогоднішній день через територію України проходять три Пан'європейські міжнародних транспортні коридори, які сполучають її з Болгарією, Грузією, Туреччиною, Білоруссю, Польщею та іншими державами, а з 2016 р. ще і з Китаєм транспортним коридором новий «Шовковий шлях», складовою якого є залізнично-поромний маршрут через акваторію Чорного моря. Це сприяє розвитку інтероперабельних транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Для підвищення ефективності перевізного процесу у міжнародному сполученні необхідним є впровадження в експлуатацію високоєфективного інтероперабельного рухомого складу з покращеними техніко-економічними, експлуатаційними та екологічними характеристиками. Нормативна база відповідно до якої здійснюється проектування рухомого складу не відображає повною мірою особливостей навантаження несучих конструкцій при інтероперабельних перевезеннях, що зумовлює необхідність її уточнення та доповнення для створення високоєфективного рухомого складу.

Перспективи удосконалення конструкційних особливостей напіввагонів шляхом використання при їх виготовленні матеріалів з поліпшеними характеристиками наведено в [1]. Аналіз властивостей конструктивних матеріалів кузовів вагонів нового покоління наведений в [2]. В роботі зазначені переваги використання нових прогресивних матеріалів для окремих складових конструкцій вагонів.

© Ловська А.О., 2018

Важливо зазначити, що у розглянутих роботах не проводиться дослідження динамічної навантаженості та міцності несучих конструкцій вагонів при перевезенні на залізничних поромках.

Конструкційні особливості вагона для інтермодальних перевезень розглянуті у [3]. Вагон має понижено середню частину, а наявність оборотної частини дає можливість здійснювати завантаження/вивантаження автотехніки на/з нього самокатом.

Результати визначення характеру та рівня впливу різних вантажних візків на міцнісні якості несучих систем вагонів наведені в [4]. Дослідження проведені стосовно трьох типів візків вантажних вагонів в інтервалі швидкостей руху 40-120 км/год.

Дослідження кінематики відведення гальмових колодок від коліс у візках вантажних вагонів проводиться у [5]. Визначено причини виникнення негативно діючих сил та переміщень гальмових колодок відносно коліс під час гальмувань, а також відпуску.

Визначення показників міцності несучих конструкцій кузовів вагонів при перевезенні на залізничних поромках в зазначених роботах не проводиться.

Заходи щодо удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення надійності його кріплення на палубі залізничного порома наведені у [6]. Однак при дослідженні міцності до уваги не бралася випадковість збурюючої дії на кузов напіввагона.

Визначення показників динаміки залізничного вагона з відкритою завантажувальною платформою наведені в [7]. Розрахунок проведено в середовищі програмного забезпечення MSC Adams.

Питання впровадження в експлуатацію вагонів з покращеними динамічними характеристиками на візках типу Varber розглянуті у [8]. Моделювання руху вагона проводилося в програмному забезпеченні «Универсальный механизм».

Особливості структурного аналізу модифікованого вантажного візка вагона наведені у [9]. Розрахунок проводився за FE методом з використанням нормативних значень навантажень.

Дослідження динамічної навантаженості кузовів вагонів при перевезенні на залізничних поромках в роботах не проводиться.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є висвітлення особливостей дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням випадковості параметрів збурюючої дії.

Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

– дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням випадковості параметрів збурюючої дії;

– визначення показників міцності кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі з урахуванням випадковості параметрів збурюючої дії.

Матеріали та методи дослідження. Для забезпечення надійності закріплення вагонів відносно палуб залізничних поромів запропоновано оснащення їх несучих конструкцій спеціальними вузлами для взаємодії з багатообертовими засобами закріплення [10]. Розміщення вузлів здійснюється на шворневих балках вагона для забезпечення відповідності кутів нахилу стяжок у просторі нормативним документам.

З метою визначення показників міцності кузова з урахуванням заходів щодо удосконалення необхідним є дослідження динамічної навантаженості вагона при перевезенні на залізничному поромі.

Для цього складено математичну модель переміщень вагона при кутових коливаннях залізничного порома навколо повздовжньої осі (крен), оскільки даний вид коливального процесу здійснює найбільший вплив на стійкість кузовів вагонів відносно палуб [11]:

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

де $q = \theta$ – узагальнена координата, що відповідає кутовому переміщенню залізничного порома з вагонами, розміщеними на ньому, навколо повздовжньої осі θ . Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порома.

D – вагове водовитіснення залізничного порома; B – ширина залізничного порома; h – висота борта залізничного порома; Λ_θ – коефіцієнт опору коливанням залізничного порома; z_g – координата центру ваги залізничного порома; p' – вітрове навантаження на надводну проекцію залізничного порома з кузовами вагонів, розміщеними на верхній палубі; $F(t)$ – закон дії зусилля, яке збудує рух залізничного порома з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах.

При складанні рівняння (1) враховано, що кузов вагона жорстко закріплений відносно палуби і здійснює переміщення разом з нею. Ударна дія морських хвиль на корпус залізничного порома з вагонами, розміщеними на його борту не враховувалася.

В моделі враховано трохіодальний закон руху збудуючої дії (морської хвилі) на залізничний пором з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах та дисипативну складову, яка виникає при коливаннях залізничного порома в умовах морського хвилювання, що викликає опір його руху, курсові кути морської хвилі щодо до корпусу залізничного порома та вітрове навантаження, що діє на надводну проекцію залізничного порома з кузовами вагонів, розміщеними на верхній палубі. Вхідними параметрами моделі є технічні характеристики залізничного порома, а також гідрометеорологічні характеристики акваторії плавання.

При урахуванні параметрів збудуючої дії враховані дійсні гідрометеорологічні характеристики хвилювання моря, які зафіксовані під час шторму в Чорному морі [12, 13]. Оскільки шторм відбувався у II районі Чорного моря, то в розрахунках врахована довжина поромних маршрутів, які проходять через цей район – «Чорноморськ – Поті», «Чорноморськ – Батумі» (Україна – Грузія). В статті наведені результати розрахунків для поромного маршруту «Чорноморськ – Поті», для якого час руху через штормовий район Чорного моря складає близько 4 год., під час русху з конструкційною швидкістю 18,6 вузлів (9,6 м/с).

Рішення диференціального рівняння здійснювалося в середовищі програмного забезпечення MATHCAD. Для урахування змінних параметрів збудуючої дії використано теорію рядів Фур'є [11, 14], тобто

$$F(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cos(\omega_i t + \beta_i) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(\omega_i t) + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \sin(\omega_i t); \quad (2)$$

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt; \quad (3)$$

$$a_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos(\omega_i t) dt; \quad (4)$$

$$b_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin(\omega_i t) dt \quad (5)$$

Після проведення відповідних розрахунків, отримано:

$$\begin{aligned} F(t) = & a - \frac{2R \cdot e^{k \cdot b}}{\omega \cdot t} (\cos(k \cdot a + \omega \cdot t) - 1) + 2b - \frac{2R \cdot e^{k \cdot b}}{\omega \cdot t} \sin(k \cdot a + \omega \cdot t) + \\ & + \sum_{i=1}^n \left(\frac{2a}{t \cdot \omega} \sin \omega t + \frac{R \cdot e^{k \cdot b}}{t} \left(t \cdot \sin(k \cdot a) - \frac{1}{2\omega} (\cos(k \cdot a + 2\omega \cdot t) - \cos(k \cdot a)) \right) \right) + \\ & + \frac{2b}{t \cdot \omega} \sin(\omega \cdot t) - \frac{R \cdot e^{k \cdot b}}{t} \left(t \cdot \cos(k \cdot a) + \frac{1}{2\omega} (\sin(k \cdot a + 2\omega \cdot t) - \sin(k \cdot a)) \right) \Big) + \\ & + \sum_{i=1}^n \left(-\frac{2a}{t \cdot \omega} (\cos(\omega_i \cdot t)) + \frac{R \cdot e^{k \cdot b}}{t} \left(t \cdot \cos(k \cdot a) - \frac{1}{2\omega} (\sin(k \cdot a + 2\omega \cdot t)) \right) \right) - \\ & - \frac{2b}{t \cdot \omega} (\cos(\omega_i \cdot t)) + \frac{R \cdot e^{k \cdot b}}{t} \left(t \cdot \sin(k \cdot a) - \frac{1}{2\omega} (\cos(k \cdot a + 2\omega \cdot t)) \right) \Big), \quad (6) \end{aligned}$$

де R – радіус траєкторії, за якою здійснюється оберт кузова вагона у завданий інтервал часу; k – частота траєкторії збурюючого зусилля; a та b – горизонтальна та вертикальна координати центру траєкторії, за якою обертається кузов вагона, закріплений відносно палуби залізничного порому, що має на даний час координати x та z ; ω – частота збурюючого зусилля у завданий інтервал часу.

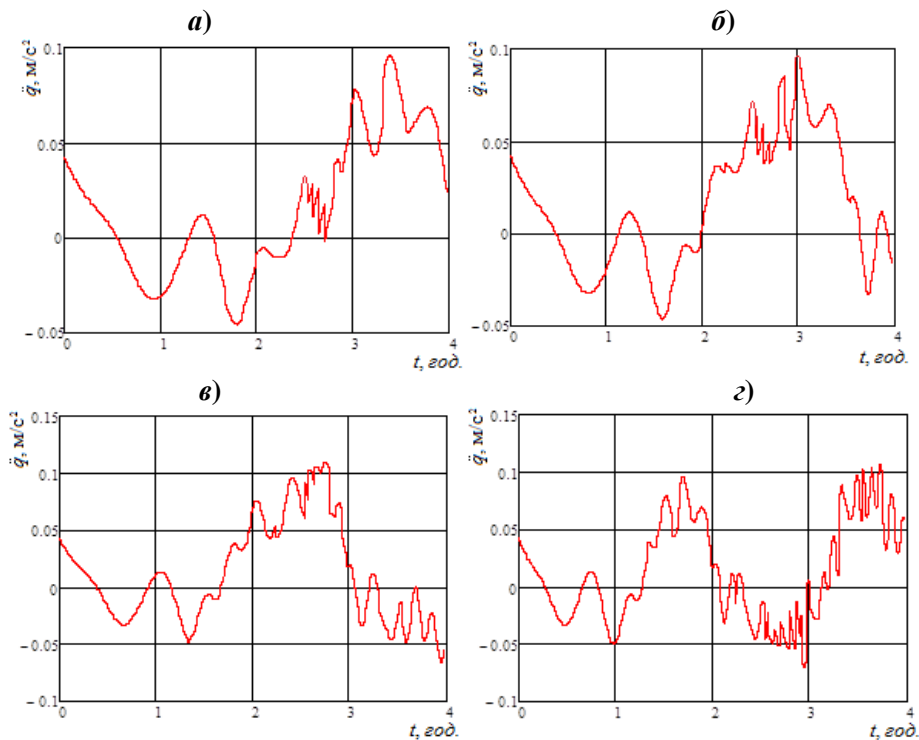
На підставі проведених розрахунків отримані прискорення, які діють на кузова вагонів при перевезенні залізничним поромом (рис. 1).

Максимальне прискорення складає близько $0,11 \text{ м/с}^2$ (з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння – $2,2 \text{ м/с}^2$ ($0,22 \text{ g}$)) та відповідає значенням курсових кутів хвилі $\chi = 45^\circ; 60^\circ; 150^\circ$ та 180° .

Отримані прискорення, як складові динамічного навантаження, що діють на кузова вагонів при перевезенні на залізничному поромі, враховані при дослідженні міцності. Як базова конструкція вагона обраний напіввагон моделі 12-757 побудови ПАТ «КВБЗ». Розрахунок проведений за методом скінчених елементів. При складанні комп'ютерної моделі міцності враховані елементи, які жорстко взаємодіють між собою. У зв'язку з тим, що кришки люків зв'язані з рамою кузова не жорстко, а шарнірно та виконують функцію елементів, що передають навантаження на жорстко з'єднані елементи рами, то в моделі вони не враховувалися.

При складанні моделі також не враховувалися повздовжні зусилля, обумовлені можливими переміщеннями кузова посередництвом автозчепного пристрою.

Модель міцності кузова напіввагона при кутових переміщеннях залізничного порома навколо повздовжньої осі (рис. 2) враховує такі навантаження: вертикальне статичне $p_e^{(cm)}$, вітрове p_e , розпору насипного вантажу p_p , динамічне p_o та навантаження, які діють на кузов вагона через ланцюгові стяжки p_c [6]. Внаслідок просторового розміщення ланцюгової стяжки зусилля, яке буде передаватися на несучу конструкцію кузова напіввагона посередництвом неї, розкладалося на складові.



а) при $\chi = 0^0$ та 120^0 ; б) при $\chi = 30^0$ та 135^0 ;
в) при $\chi = 45^0$ та 150^0 ; з) при $\chi = 60^0$ та 180^0

Рис. 1. Прискорення, які діють на крайній від фальшборта кузов вагона, розміщений на верхній палубі залізничного порома

Реальні зони прикладення навантажень до вузлів закріплення ланцюгових стяжок моделювалися шляхом постановки спеціальних елементів – накладок, конфігурація яких ідентична геометрії контактної зони взаємодії гака. Це дозволило з максимальним наближенням промоделювати закріплення кузова напіввагона відносно палуби. При визначенні навантажень на кузов напіввагона враховано, що крен викликаний статичною дією вітру на надводну проекцію залізничного порома з кузовами вагонів, розміщеними відносно верхньої палуби. З урахуванням дійсних гідрометеорологічних

У зонах обпирання кузова напіввагона на під'ятники візків, ковзуни та упор-домкрати встановлювалися додаткові зв'язки. При створенні скінченно-елементної моделі використовувалися ізопараметричні тетраедри, оптимальна кількість яких визначена за графоаналітичним методом. Кількість елементів сітки складала 288951, вузлів – 94664, максимальний розмір елемента – 120 мм, мінімальний – 24 мм, максимальне співвідношення боків елементів – 571,21, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 16, більше 10 – 36,6.

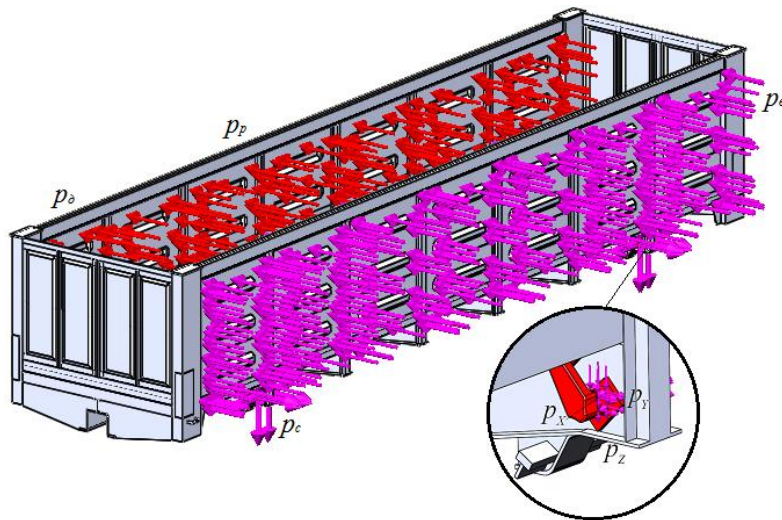
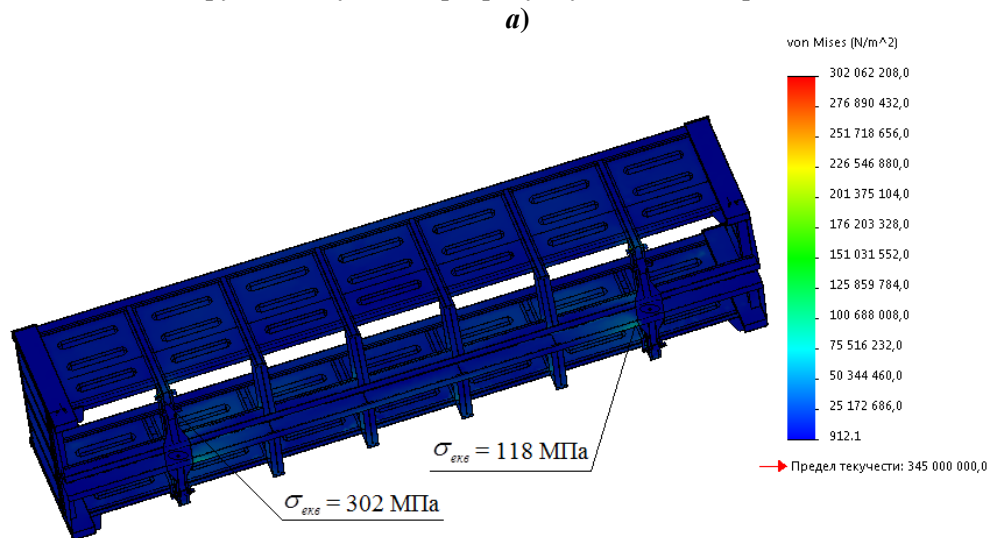


Рис. 2. Модель міцності кузова напіввагона

Розроблена скінченно-елементна модель кузова напіввагона дозволяє проводити розрахунки на міцність не тільки при експлуатації вагона відносно магістральних колій, а і при перевезенні на залізничному поромі, враховуючи різні умови навантажень конструкції. Результати розрахунку наведені на рис. 3.



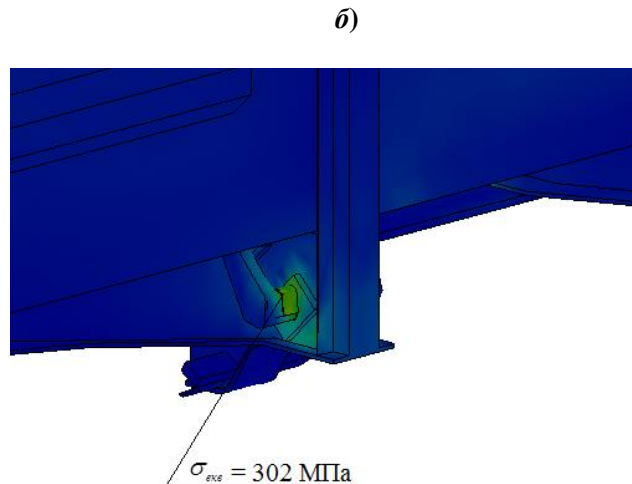


Рис. 3. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова напіввагона
а) напружений стан кузова; б) напруження в вузлі закріплення

З проведених досліджень можна зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження виникають у радіальній частині вузла для закріплення ланцюгових стяжок та складають близько 302 МПа, тобто не перевищують допустимих для марки сталі металоконструкції кузова [15]. Максимальні переміщення виникають у середній частині бокової стіни кузова напіввагона з боку його нахилу при крені та складають 5,6 мм.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Для забезпечення надійності закріплення вагонів відносно палуб залізничних поромів запропоновано встановлення на їх несучих конструкціях вузлів для закріплення ланцюгових стяжок.

2. З метою визначення динамічної навантаженості кузова вагона при перевезенні на залізничному поромі складено математичну модель, яка враховує кутові переміщення залізничного порома навколо повздовжньої осі, як випадок найбільшої навантаженості кузова та забезпечення його стійкості відносно палуби. При визначенні прискорень, як складових динамічного навантаження, які діють на кузов вагона при перевезенні на залізничному поромі, враховано дійсні гідрометеорологічні характеристики акваторії моря. Встановлено, що максимальна величина прискорення складає близько $0,11 \text{ м/с}^2$ (з урахуванням горизонтальної складової прискорення вільного падіння – $2,2 \text{ м/с}^2$ ($0,22 \text{ g}$)) та відповідає значенням курсових кутів хвилі $\chi = 45^\circ; 60^\circ; 150^\circ$ та 180° ;

3. Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції кузова напіввагона при перевезенні на залізничному поромі. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження виникають у радіальній частині вузла для закріплення ланцюгових стяжок та складають близько 302 МПа, що нижче за напруження плинності матеріалу конструкції на 12 %;

4. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності функціонування комбінованого транспорту в міжнародному сполученні, а також посиленню економічних позицій України на міжнародному ринку транспортних послуг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fomin O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – №1. – P. 45 – 48.
2. Kelrykh M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas / M. Kelrykh, O. Fomin // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2014. – №6. – P. 64 – 67.
3. Krason W. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards / W. Krason, T. Niezgodą // *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. – 2014. – Vol. 62. – Iss. 4. – P. 843–851.
4. Myamlin S. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie / S. Myamlin, L. P. Lingaitis, S. Dailydka, G. Vaičiūnas, M. Bogdevičius, G. Bureika // *Transport*. – 2015. – Vol. 30, Issue 1. – P. 88–92.
5. Равлюк В. Г. Дослідження кінематики відведення гальмівних колодок від коліс у візках вантажних вагонів / В. Г. Равлюк // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля. – 2017. – Вип. 4(234). – С. 195 – 198.
6. Lovska A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge / A. A. Lovska // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – №1. – P. 49 – 54.
7. Mirosław Nader. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczeł siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego / Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski // *Logistyka*. – 2014. – №4. – P. 2272 – 2279.
8. Mykola Gorbunov. New Principle Schemes of Freight Cars Bogies / Gorbunov M., Gerlici J., Kara S., Chernyak G., Nozhenko O., Kravchenko K., Lack T. // *Manufacturing Technology*. – 2018. – 18(2). – P. 233 – 238.
9. Dizo J. Structural Analysis of a Modified Freight Wagon Bogie Frame / Ján Dižo, Jozef Harušinec, Miroslav Blatnický // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 134: 18th Intern. Scientific Conference – LOGI 2017. – P. 00010.
10. Пат. 108214 Україна, МПК⁷ В63В25 / 00. Вузол несучої конструкції кузова вагона для його закріплення відносно палуби залізнично-поромного судна: Пат. 108214 Україна, МПК (2015.01) В60Р 7 / 08 (2006.01); В60Р 7/135 (2006.01); В60Р 3/06 (2006.01); В61F 1/12 (2006.01) Візник Р.І., Ловська А.О. (Україна); Заявл. 21.05.2012; Опубл. 10.04.2015. №7. – 4 с.
11. Ловська А. О. Дослідження випадкових коливальних процесів кузова напіввагона при перевезенні залізничним поромом в умовах хвилювання моря / А. О. Ловська // *Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ*. – 2014. – Вип. 149. – С. 67 – 71.
12. Ветер и волны в океанах и морях: справочные данные / под. ред. И.Н. Давидана. – Л.: Транспорт, 1974. – 360 с.
13. Кабатченко И. М. Моделирование ветрового волнения. Численные расчеты для исследования климата и проектирования гидротехнических сооружений: автореф. дис. на соискание ученой степени доктора географических наук: спец. 25.00.28 «Океанология» / И. М. Кабатченко. – Москва, 2006. – 41с.
14. Маков Ю. Л. Качка судов / Ю. Л. Маков. – Калининград, «КГТУ», 2007. – 321 с.
12. *Vagonyi gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam*. GOST 33211-2014. – [Deystvitelen ot 22.12.2014] – М.: Standartinform, 2016. – 54 s.

REFERENCES

1. Fomin, O. (2015). Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 45 – 48. (in English).
2. Kelrykh, M., Fomin, O. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Metallurgical and Mining Industry*, 6, 64 – 67. (in English).

3. Krason, W., Niezgodna, T. (2014). Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 62, 4, 843 – 851. (in English).
4. Myamlin, S., Lingaitis, L. P., Dailydka, S., Vaičiūnas, G., Bogdevičius, M., Bureika, G. (2015). Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie. *Transport*, 30, 1, 88–92. (in English).
5. Ravlyuk, V. G. (2017). Doslidzhennya kinematiki vidvedennya galmivnih kolodok vid kolis u vyzkakh vantazhnykh vagoniv [The research of the kinematics of the removal of brake pads from the wheels in the carriages of freight wagons]. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*, 4 (234), 195 – 198. (in Ukrainian).
6. Lovska, A. A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49 – 54. (in English).
7. Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski. (2014). Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczep siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego [Railway transport wagon as an innovative construction solution for the carriage of semi-trailers and road sets for intermodal transport]. *Logistyka*, 4, 2272 – 2279. (in Polish).
8. Gorbunov, M., Gerlici, J., Kara, S., Chernyak, G., Nozhenko, O., Kravchenko, K., Lack, T. (2018). New Principle Schemes of Freight Cars Bogies. *Manufacturing Technology*, 18(2), 233 – 238. (in English).
9. Jan Dizo, Jozef Harusinec, & Miroslav Blatnický (2017). Structural analysis of a modified freight wagon bogie frame. *MATEC Web of Conferences: 18th International Scientific Conference*, 134, 00010, 1 – 8. doi: 10.1051/mateconf/201713400010 (in English).
10. Viznyak, R.I., Lovska, A.O. (2015). UA Patent 108214. Ukrpatent. Retrieved from <http://www.uipv.org/>
11. Lovska, A. O. (2014). Doslidzhennya vipadkovykh kolivalnykh protsesiv kuzova napivvagonu pri perevezenni zaliznychnym poromom v umovakh hvilyuvannya moray [The research of random vibrational processes of the body of a gondola during transportation by a railway ferry in conditions of sea excitement]. *Zb. nauk. prats. Harkiv*. 149, 67 – 71. (in Ukrainian).
12. Davidan, I.N. (1974) Veter i volny v okeanakh i moryakh: spravochnyye dannyye [Wind and waves in the oceans and seas: reference data]. I.N. Davidan (Ed/). *Transport* (in Russian).
13. Kabatchenko, I. M. (2006) Modelirovaniye vetrovogo volneniya. Chislennyye raschety dlya issledovaniya klimata i proyektirovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (Simulation of wind waves. Numerical calculations for climate research and design of hydraulic structures). Moskva (in Russian).
14. Makov, Yu. L. (2007) Kachka sudov [Pitching ships]. Kaliningrad: “KGTU” (in Russian).
15. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam, 54 GOST 33211-2014 (2016). (in Russian).

Алена Ловская, к.т.н., доцент
(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПАРОМЕ

В статье приведены результаты исследований прочности усовершенствованной конструкции кузова полувагона при перевозке на железнодорожном пароме.

Определены динамические нагрузки, которые действуют на кузов полувагона и проведен расчет на прочность. Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения не превышают допустимые. Проведенные исследования будут

способствовать повышению эффективности функционирования комбинированных перевозок через международные транспортные коридоры.

Ключевые слова: полувагон, несущая конструкция, моделирование, динамическая нагруженность, прочность, железнодорожно-паромные перевозки.

***Alyona Lovska, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Wagons department, The Ukrainian State University
of Railway Transport)***

STRENGTH DETERMINATION OF SUPPORT STRUCTURES OF OPEN-TOP CAR WHEN TRANSPORTING BY TRAIN FERRY

The article presents the strength research results of the improved structure of the open-top car of bodywork during transportation on the railway ferry. The peculiarity of the car is the presence of nodes for fastening chain screeds in its supporting structure .

In order to determine the dynamic loads that effects the car body during transportation on the railway ferry, a mathematical model of displacements has been created. The model takes into account the angular movement of the railway ferry with cars in relation to the longitudinal axis (roll), as a case of the most unfavorable loading of the body structure, as well as ensuring its stability in relation to the deck. When determining the dynamic loading of the car body, the randomness of the parameters of the disturbing action (sea wave) was taken into account. The solution of the mathematical model was carried out in the software environment MATHCAD. For taking into account the variables of the disturbing influence, the theory of Fourier series was used.

The resulting accelerations, as components of the dynamic load effecting the body of the car, are taken into account in the research of strength. The calculation was carried out using the finite element method. It is established that the maximum equivalent voltage does not exceed the permissible voltage. The studies will contribute to improving the combined transport functioning efficiency through international transport corridors, as well as strengthening the economic position of Ukraine in the international market of transport services.

Keywords: open-top car, supporting structure, modeling, dynamic loading, strength, rail-ferry transportation.