

УДК 629.463.004.4:656.211.7

*А. О. Ловська, к.т.н.*

*(доцент кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ КУЗОВІВ ВАГОНІВ-ПЛАТФОРМ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ПОРОМАХ**

*У статті наведені результати досліджень міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі. Для забезпечення надійності закріплення вагона-платформи відносно палуби залізничного порома запропоновано встановлення на його несучій конструкції вузлів для закріплення ланцюгових стяжок.*

*З метою визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи, створено математичну модель переміщень вагона при основних видах коливань залізничного порома. При цьому враховано, що вагон-платформа жорстко закріплений відносно палуби та здійснює переміщення разом з нею. Отримані прискорення, як складові динамічного навантаження, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи, враховані при дослідженні його міцності. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-платформи не перевищують допустимі. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності функціонування комбінованих перевезень в напрямку міжнародних транспортних коридорів.*

*Ключові слова: вагон-платформа, прискорення, динаміка, напруження, міцність, залізнично-поромні перевезення.*

**Постановка проблеми.** Розвиток конкурентного середовища на ринку транспортних послуг зумовлює введення в експлуатацію комбінованих транспортних систем. Одним з найперспективніших симбіозів у даному напрямку є контейнерні перевезення та залізнично-поромні.

Можливість виходу України в міжнародне сполучення через акваторії Чорного та Азовського морів зумовили її участь у перевезеннях між євразійськими країнами. Важливим ланцюгом одного з останніх серед таких маршрутів, що почав експлуатуватися з початку минулого року та сполучив між собою країни Європи та Азії, є комбіновані перевезення.

Перевезення вагонів на залізничному поромі супроводжується дією на їхні несучі конструкції значних величин зусиль, чисельні значення яких перевищують ті, що діють при експлуатації відносно рейкових колій. Це може спричинити пошкодження конструкційних елементів вагонів, за які відбувається їх закріплення відносно палуб.

© *Ловська А. О., 2018*

Для забезпечення надійності закріплення вагонів на залізничних поромках необхідним є удосконалення їх несучих конструкцій, а також урахування на стадії проектування уточнених величин навантажень, що діють на них при перевезенні на залізничному поромі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання проектування рухомого складу для перевезення великовагових вантажів розглянуті у [1]. Дослідження динаміки та міцності здійснено за допомогою сучасних засобів програмного забезпечення ProMechanica та CosmosWorks. При проектуванні несучої конструкції транспортера проведено дослідження щодо можливості його виконання з різнотипних матеріалів.

Конструкційні особливості вагона для інтермодальних перевезень розглянуті у [2]. Вагон має понижену середню частину, а наявність оборотної частини дає можливість здійснювати завантаження/вивантаження автотехніки на/з нього самокатом.

Питання удосконалення комбінованих перевезень, зокрема контейнерних, розглянуті у [3], де проведений аналіз особливостей кріплення контейнерів на вагонах-платформах. З метою підвищення техніко-економічних показників вагонів при перевезенні контейнерів різного типорозміру проведено обґрунтування удосконалення конструкцій довгобазних вагонів-платформ та вагонів-платформ зчленованого типу для цих перевезень.

Аналіз конструкції вагона-платформи нового покоління наведений у [4]. Особливістю вагона-платформи є можливість регулювання корисної довжини залежно від габаритів вантажу, що перевозиться. Дослідження динаміки вагона-платформи з використанням методів мультитіла наведені у [5]. Розрахунок проведений стосовно вагона-платформи з обертовою середньою частиною в середовищі програмного забезпечення MSC Adams. Рівняння руху вагона-платформи сформульовані в абсолютних координатах з використанням метода Лагранжа I роду.

Поліпшення технічних характеристик секційного вагона-платформи шляхом удосконалення його конструкції наведені у [6]. У роботі приводяться математичні моделі, які дозволяють визначити динамічні і міцнісні характеристики вагона-платформи зчленованого типу. Отримані теоретичні розрахунки підтверджені шляхом експериментальних досліджень міцності вагона-платформи.

Нові технічні рішення при проектуванні рухомого складу нового покоління розглянуті у [7, 8]. Для зниження собівартості виготовлення та експлуатації вагонів пропонується виконання їх несучих конструкцій з круглих труб при дотриманні умов міцності та експлуатаційної надійності. Визначення оптимальних параметрів круглих труб, які пропонується використовувати як несучі елементи кузовів вагонів, здійснюється за резервом міцності типових елементів конструкції.

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

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для підвищення ефективності контейнерних перевезень знайшли використання вагони-платформи зчленованого типу. У зв'язку з незначним поповненням вагонного парку Укрзалізниці за останні роки виникає необхідність впровадження в експлуатацію нових технічних рішень щодо удосконалення існуючих несучих конструкцій кузовів вагонів. Тому запропоновано створення вагона-платформи зчленованого типу на базі моделі 13-401.

З метою можливості перевезення вагона-платформи зчленованого типу на залізничних поромках пропонується встановлення на його несучій конструкції вузлів для закріплення ланцюгових стяжок [9, 10] (рис. 1).

Для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі, складено математичну модель. При цьому враховано, що власні переміщення несучої конструкції вагона-платформи відносно палуби відсутні, оскільки ці переміщення будуть обмежені засобами закріплення відносно палуби.

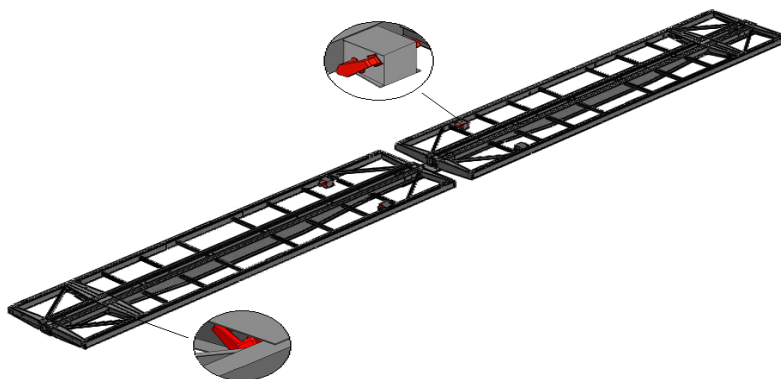


Рис. 1. Удосконалена несуча конструкція вагона-платформи зчленованого типу з вузлами для закріплення відносно палуби залізничного порома

До уваги прийняті основні види коливань залізничного порома з вагонами-платформами, розміщеними відносно його палуб (рис. 2):

- поступальні переміщення в вертикальному напрямку відносно осі  $Z$  (еквівалент коливань підстрибування в динаміці вагонів);
- кутові переміщення навколо поперечної осі  $Y$  на кут  $\varphi$  (еквівалент коливань галопування в динаміці вагонів);
- кутові переміщення навколо повздовжньої осі  $X$  на кут  $\theta$  (еквівалент коливань – бічна хитавиця в динаміці вагонів).

$$D' \cdot \ddot{q}_1 + \Lambda_z \cdot \dot{q}_1 = \Lambda_z \cdot \dot{F}(t); \quad (1)$$

$$\left( 0,07 \frac{0,8}{g} D \cdot L^2 \right) \ddot{q}_2 + \left( \Lambda_\varphi \cdot \frac{L}{2} \right) \dot{q}_2 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\varphi \cdot \frac{L}{2} \cdot \dot{F}(t); \quad (2)$$

$$\left( \frac{D}{12 \cdot g} (B^2 + 4z_g^2) \right) \ddot{q}_3 + \left( \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \right) \dot{q}_3 = p' \cdot \frac{h}{2} + \Lambda_\theta \cdot \frac{B}{2} \cdot \dot{F}(t), \quad (3)$$

де  $q_1 = z, q_2 = \varphi, q_3 = \theta$  – узагальнені координати, що відповідають:  $z$  – переміщенню кузова відносно вертикальної осі, яка проходить через його центр мас,  $\varphi$  – кутовому переміщенню навколо поперечної осі,  $\theta$  – кутовому переміщенню навколо повздовжньої осі. Початок системи координат розміщений в центрі мас залізничного порому.

$D'$  – масове водовитіснення;  $D$  – вагове водовитіснення;  $L, B$  – відповідно, довжина та ширина залізничного порома;  $h$  – висота борта залізничного порома;  $\Lambda_i$  – коефіцієнт опору коливанням;  $z_g$  – координата центру ваги залізничного порома;  $p'$

– вітрове навантаження;  $F(t)$  – закон дії зусилля, яке збуджує рух залізничного порома з кузовами вагонів, розміщеними на його палубах.

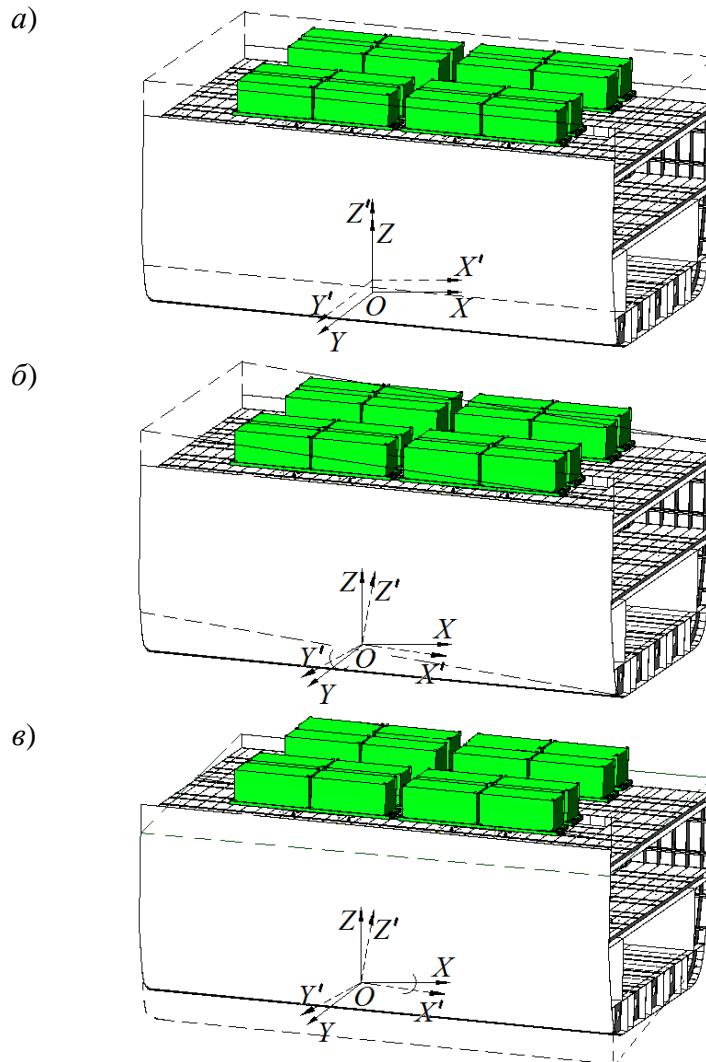
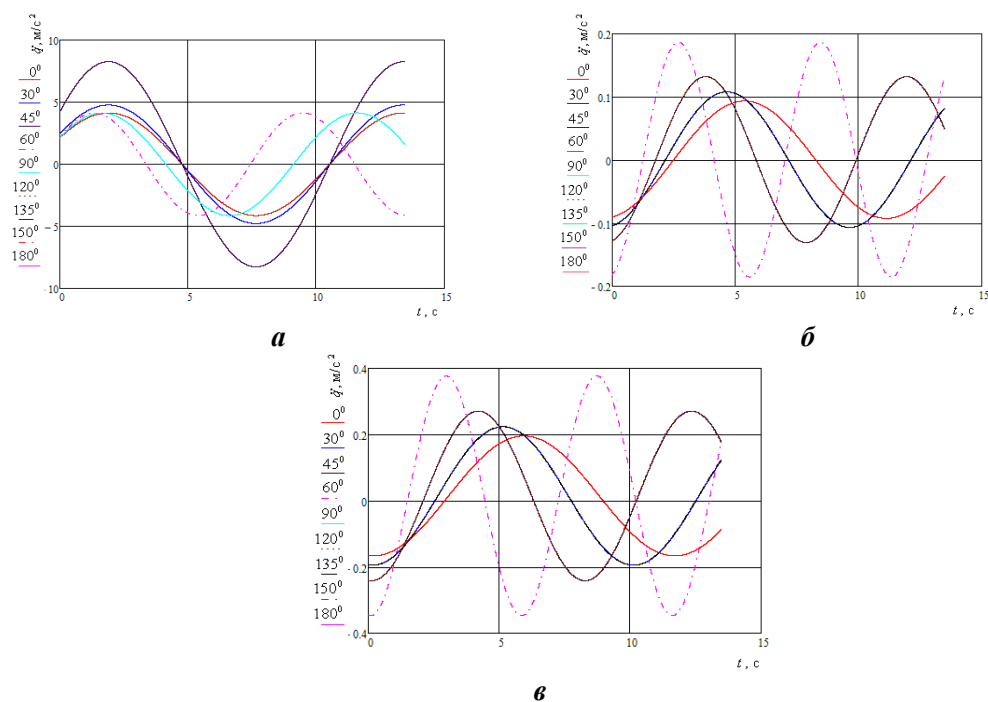


Рис. 2. Схеми переміщень вагона при основних видах коливань залізничного порома: а) у вертикальному напрямку; б) навколо поперечної осі; в) навколо повздовжньої осі

Ударна дія морських хвиль на корпус залізничного порома з вагонами, розміщеними на його борту, не враховувалася.

Вхідні параметри математичної моделі: геометричні характеристики залізничного порома [11], гідрометеорологічні характеристики акваторії Чорного моря [12], координати розміщення кузовів вагонів відносно центру коливань залізничного порома.

Для розв’язання диференціальних рівнянь руху кузова вагона складено програму розрахунку в середовищі пакета Mathcad [13, 14], для чого вони зводилися до нормальної форми Коші, після чого інтегрувалися за методом Рунге – Кутти. Отримані результати наведені на рис. 3.



**Рис. 3. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу при коливаннях залізничного порома: а) при поступальних переміщеннях відносно вертикальної осі; б) при кутових переміщеннях відносно поперечної осі; в) при кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі**

При цьому окремо розглянуто кожний вид коливального процесу, тривалість якого приймалася рівною періоду хвилі, характер збурювання – трохойдальним, амплітуда – рівною максимальній висоті хвилі для завданої акваторії моря, а частота визначалася курсовим кутом хвилі щодо корпусу залізничного порома.

На рис. 3,а) наведено прискорення кузова вагона при поступальних переміщеннях залізничного порома у вертикальному напрямку з урахуванням різних курсових кутів хвилі щодо корпусу ( $0^{\circ}$ ;  $30^{\circ}$ ;  $45^{\circ}$ ;  $60^{\circ}$ ;  $90^{\circ}$ ;  $120^{\circ}$ ;  $135^{\circ}$ ;  $150^{\circ}$ ;  $180^{\circ}$ ). Максимальне значення прискорення спостерігається при курсовому куті хвилі щодо корпусу залізничного порома  $\chi = 60^{\circ}$ , найменша періодичність прискорення спостерігається при  $\chi = 135^{\circ}$ .

Рис. 3, б) відображає прискорення крайніх від ахтерштевня (кормової частини) залізничного порома вагонів на головній палубі. Найбільшої величини прискорення досягає при курсовому куті хвилі по щодо корпусу залізничного порома  $\chi = 120^{\circ}$ .

Рис. 3, в) відображає прискорення вагонів, розміщених на крайній від фальшборта колії верхньої палуби залізничного порома при кутових переміщеннях навколо повздовжньої осі. Найбільша величина прискорення вагонів виникає при  $\chi = 120^{\circ}$ .

Отже, величина прискорень вагонів при поступальних переміщеннях залізничного порома у вертикальному напрямку не залежить від їх розміщення за палубою відносно діаметральної та міделевої площин, а залежить від розміщення вагонів за висотою залізничного порома, тобто з віддаленням від центру коливань величина прискорень, які діють на вагони, розміщені за палубами, збільшується.

Величина прискорень вагонів при кутових переміщеннях залізничного порома навколо поперечної осі залежить від їх розміщення відносно площини мідель-шпангоута. Величина прискорень, які діють на вагони при кутових переміщеннях залізничного порома навколо повздовжньої осі залежить від їх розміщення відносно діаметральної площини. Приведені величини прискорень не враховують складову прискорення вільного падіння.

Отримані результати використані в розрахунках на міцність несучої конструкції вагона-платформи зчленованого при перевезенні на залізничному поромі. Розрахунок проведений з використанням методу скінчених елементів в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. Враховано, що на несучу конструкцію вагона-платформи діють вертикальне навантаження у зонах обпирання контейнерів на фітингові упори  $P_{уп}^e$ , а також зусилля від ланцюгових стяжок на вузли для закріплення відносно палуби  $P_{лс}$  (рис. 4). У зв'язку з тим, що ланцюгова стяжка має просторове розміщення, то зусилля яке діє від неї на несучу конструкцію вагона-платформи розкладалося на три складові (табл. 1).

Таблиця 1. Зусилля, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу через ланцюгові стяжки

Вид переміщень	Значення зусилля, кН		
	$P_x$	$P_y$	$P_z$
Поступальні відносно вертикальної осі	49,05	67,01	84,96
Кутові відносно поперечної осі	59,92	81,3	103,08
Кутові відносно повздовжньої осі	92,94	129,96	160,98

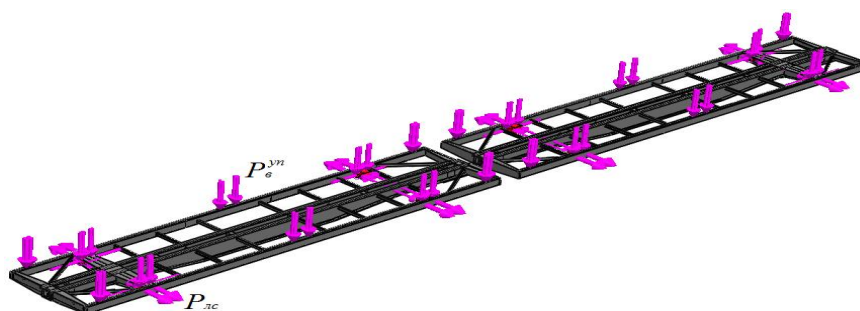


Рис. 4. Модель міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з вузлами для закріплення відносно палуби залізничного порома

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання несучої конструкції навізки. Для моделювання обпирання несучої конструкції на робочі поверхні механічних

упор-домкратів на ній встановлювалися накладки круглої форми, діаметр яких дорівнює діаметру робочої частини упор-домкрата.

Для визначення оптимальної кількості елементів сітки застосований графоаналітичний метод. Кількість вузлів сітки склала 148723, елементів – 462131. Максимальний розмір елементу дорівнює 200 мм, мінімальний – 40 мм. Мінімальна кількість елементів в колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. Максимальне співвідношення боків – 6182,6, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 13,4, більше 10 – 33,7.

Результати розрахунку несучої конструкції вагона-платформи наведені на рис. 5 – 7.

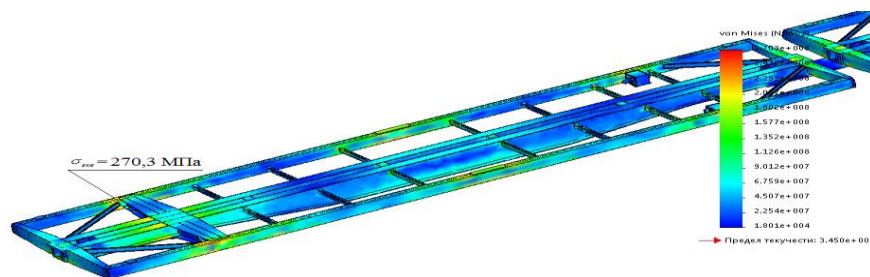


Рис. 5. Напружений стан удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при поступальних переміщеннях залізничного порома відносно вертикальної осі

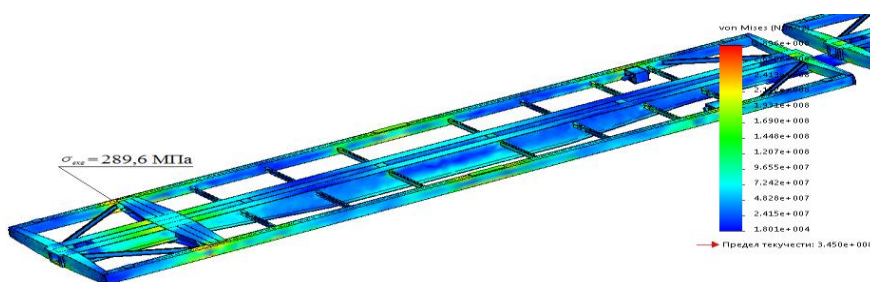


Рис. 6. Напружений стан удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при кутових переміщеннях залізничного порома відносно поперечної осі

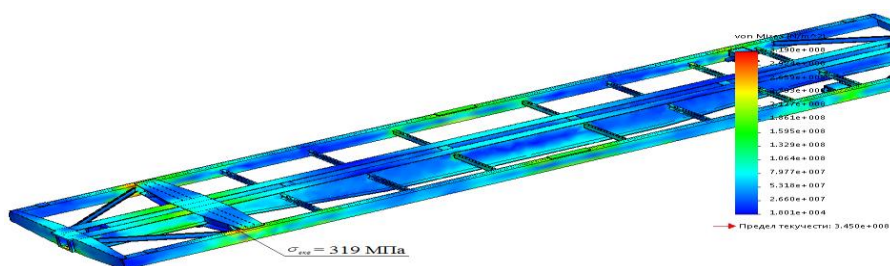


Рис. 7. Напружений стан удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при кутових переміщеннях залізничного порома відносно повздовжньої осі

Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі наведені в табл. 2.

*Таблиця 2. Показники міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі*

Показник міцності	Вид переміщень		
	поступальні відносно вертикальної осі	кутові відносно поперечної осі	кутові відносно повздовжньої осі
Напруження, МПа	270,3	289,6	319
Переміщення в вузлах, мм	28,5	34,1	33,4
Деформації	$3,17 \cdot 10^{-2}$	$3,73 \cdot 10^{-2}$	$3,78 \cdot 10^{-2}$

З проведених досліджень можна зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-платформи виникають при кутових переміщеннях залізничного порома відносно повздовжньої осі та зосереджені в зоні взаємодії шворневої балки з основною повздовжньою, але вони не перевищують допустимі для марки сталі металоконструкції [15, 16].

**Висновки та пропозиції:** За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Для підвищення надійності закріплення вагонів-платформ на залізничних поромах запропоновано встановлення на їх несучих конструкціях вузлів для закріплення ланцюгових стяжок;

2. З метою визначення чисельних значень прискорень, як складових динамічного навантаження, що діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі, складено математичну модель. Встановлено, що при відсутності власних переміщень вагона-платформи відносно палуби прискорення, що діє на його несучу конструкцію при поступальних переміщеннях залізничного порому відносно вертикальної осі, складають близько  $8,0 \text{ м/с}^2$ , при кутових переміщеннях відносно поперечної та повздовжньої осей, відповідно, близько  $0,2 \text{ м/с}^2$  та  $0,4 \text{ м/с}^2$  (без урахування горизонтальної складової прискорення вільного падіння);

3. Визначено величини зусиль, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу через засоби закріплення відносно палуб;

4. Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона не перевищують допустимі;

5. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Divya Priya G. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley / G. Divya Priya, A. Swarnakumari // Intern. J. of Innovative Technology and Research. – 2014. – Vol. 2, №. 6. – P. 1568–1580.
2. Krason W. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards / W. Krason, T. Niezgodna // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. – 2014. – Vol. 62. – Iss. 4. – P. 843–851. doi: 10.2478/bpasts-2014-0093.



3. Мямлин С. В. Подвижной состав для перевозки контейнеров железнодорожным транспортом / С. В. Мямлин, А. В. Шатунов, А. В. Сороколет // Сб. науч. трудов ДониЖТа. – Донецк, 2010. – Вып. 22. – С. 125–132.
4. WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons // Intern. Edition. – 2016. – № 1. – P. 46.
5. Multi-body Simulations of Railway Wagon Dynamics / K. Wójcik, J. Malachowski, P. Baranowski [et al.] // J. of KONES. Powertrain and Transport. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 3. – P. 499–506. doi.org/10.5604/12314005.1138164.
6. Гуржи Н. Л. Поліпшення технічних характеристик секційного вагона-платформи шляхом вдосконалення конструкції : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Гуржи Наталя Леонідівна; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – 20 с.
7. Фомін, О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів [Текст]/ О.В. Фомін// Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків. – 26'2012 С.29-33
8. Фомін, О.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів/ О.В Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕУТ, 2015. – Вип. 26-27. – С.137 – 147.
9. Візньак Р. І. Розширення функціональних особливостей універсальних вагонів-платформ з метою перевезення контейнерів у міжнародному залізнично-водному сполученні / Р. І. Візньак, А. О. Ловська // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун-ту залізн. трансп. – Харків, 2013. – Вип. 139. – С. 157–164.
10. Візньак Р. І. Розробка заходів щодо забезпечення збереження та адаптування конструкцій вагонів до їх надійної взаємодії з багатообертковими пристроями закріплення відносно палуб залізничних поромів / Р. І. Візньак, А. О. Ловська, Е. М. Кеба // Зб. наук. праць. Донецьк: ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 21 – с. 110 – 119.
11. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х «Герои Шипки». Cargo securing manual for m/v “Geroi Shipky» № 2512. 02. – Офиц. изд. – Одесса: Мин. транспорта Украины. Гос. департамент морского и речного транспорта. – 1997. – 51 с.
12. Ветер и волны в океанах и морях: справочные данные [под. ред. И.Н. Давидана] – Л.: Транспорт, 1974. – 360 с.
13. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб: Питер, 2000. – 592 с.
14. Кирьянов Д. В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 608 с.
15. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
16. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. ГОСТ 33211-2014. – [Действителен от 22.12.2014] – М.: Стандартинформ, 2016. – 54 с.

### REFERENCES

1. Divya Priya G. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley / G. Divya Priya, A. Swarnakumari // Intern. J. of Innovative Technology and Research. – 2014. – Vol. 2, №. 6. – P. 1568–1580.
2. Krason W. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards / W. Krason, T. Niezgodna // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. – 2014. – Vol. 62. – Iss. 4. – P. 843–851. doi: 10.2478/bpasts-2014-0093.
3. Myamlin S. V. Podvizhnoy sostav dlya perevozki konteynerov zheleznodorozhnyim transportom / S. V. Myamlin, A. V. Shatunov, A. V. Sorokolet // Sb. науч. trudov DonIZhTa. – Donetsk, 2010. – Vip. 22. – S. 125–132.
4. WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons // Intern. Edition. – 2016. – № 1. – P. 46.
5. Multi-body Simulations of Railway Wagon Dynamics / K. Wójcik, J. Malachowski, P. Baranowski [et al.] // J. of KONES. Powertrain and Transport. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 3. – P. 499–506. doi.org/10.5604/12314005.1138164.

6. Gurzhi N. L. Polipshennya tehnicnih karakteristik sektsiynogo vagonu-platformi shlyahom vdoskonalennya konstrukttsiyi : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.22.07 / Gurzhi Nataliya Leonidivna; Dnipropetr. nats. un-t zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana. – Dnipropetrovsk, 2010. – 20 s.

7. Fomin, O.V. Rozrobka metodiki vprovadgennja riznih profiliv v jacosti skladovih elementiv nesuchih system vantagnih vagoniv / O.V. Fomin // Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI». – Kharkiv. – 26'2012 P.29-33

8. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport systems and technologies.» – Kyiv: DETUT, 2015. – Vyp.26-27. – S.137-147.

9. Viznyak R. I. Rozshirennja funktsionalnih osoblivostey universalnih vagoniv-platform z metoyu perevezennya konteyneriv u mizhnarodnomu zaliznichno-vodnomu spoluchenni / R. I. Viznyak, A. O. Lovska // Zb. nauk. pr. Ukr. derzh. un-tu zalizn. transp. – Harkiv, 2013. – Vip. 139. – S. 157–164.

10. Viznyak R. I. Rozrobka zahodiv schodo zabezpechennya zberezhennta ta adaptuvannya konstrukttsiy vagoniv do yih nadiynoyi vzaemodiyi z bagatoobertovimi pristroyami zakriplennya vidnosno palub zaliznichnih poromiv / R. I. Viznyak, A. O. Lovska, E. M. Keba // Zb. nauk. prats. Donetsk: DonIZT. – 2010. – Vip. 21 – s. 110 – 119.

11. Nastavlenie po krepleniyu generalnyih gruzov pri morskoy perevozke dlya t/h «Geroi Shipki». Cargo securing manual for m/v «Geroi Shipki» № 2512. 02. – Ofits. izd. – Odessa: Min. transporta Ukrainyi. Gos. departament morskogo i rechnogo transporta. 1997. – 51 s.

12. Veter i volnyi v okeanah i moryah: spravochnyie dannyye [pod. red. I.N. Davidana]. – L.: Transport, 1974. – 360 s.

13. Dyakonov V. MATHCAD 8/2000: spetsialnyiy spravochnik / V. Dyakonov. – SPb: Piter, 2000. – 592 s.

14. Kiryanov D. V. Mathcad 13 / D.V. Kiryanov. – SPb.: BHV – Peterburg, 2006. – 608 s.

15. Normyi dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyih) / M.: GosNIIV – VNIIZhT, 1996. – 319 s.

16. Vagonyi gruzovyie. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam. GOST 33211-2014. – [Deystvitelen ot 22.12.2014] – M.: Standartinform, 2016. – 54 s.

**A. O. Ловская, к.т.н.**

*(доцент кафедры вагонов, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)*

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВОВ ВАГОНОВ-ПЛАТФОРМ СОЧЛЕНЕННОГО ТИПА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАРОМАХ**

*В статье приведены результаты исследований прочности усовершенствованной несущей конструкции вагона-платформы сочлененного типа при перевозке на железнодорожном пароме. Для обеспечения надежности закрепления вагона-платформы относительно палубы железнодорожного парома предложена постановка на его несущей конструкции узлов для закрепления ценных стяжек.*

*С целью определения динамических нагрузок, действующих на несущую конструкцию вагона-платформы, создана математическая модель перемещений вагона при основных видах колебаний железнодорожного парома. При этом учтено, что вагон-платформа жестко закреплен относительно палубы и осуществляет перемещение вместе с ней.*

*Полученные ускорения, как составляющие динамической нагрузки, действующие на несущую конструкцию вагона-платформы, учтены при исследовании его прочности. Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения в несущей кон-*

*струкции вагона-платформы не превышают допустимые. Проведенные исследования будут способствовать повышению эффективности функционирования комбинированных перевозок в направлении международных транспортных коридоров.*

*Ключевые слова: вагон-платформа, ускорения, динамика, напряжение, прочность, железнодорожно-паромные перевозки.*

*Alyona O. Lovskaya, PhD (Technical Sciences)*

*(Associate Professor of Wagons Chair, The Ukrainian State University of Railway Transport)*

**DETERMINATION OF THE SUPPORT STRUCTURE CAPACITY OF  
ARTICULATED FLAT WAGONS WHEN TRANSFERRING BY TRAIN FERRIES**

*The article presents results of the research into the support structure capacity of articulated flat wagons when transferring by train ferries. In order to ensure stable fixation of flat wagons on the train ferry deck the article proposes to locate the fixation units of chain binders on the support structure.*

*So that to determine dynamic loads influencing the flat wagon support structure a mathematical model of flat wagon movements for major vibration modes of a train ferry was designed. The flat wagon was considered to be tightly fixed on the deck.*

*The accelerations obtained, being the constituent components of dynamic loads influencing the support structure, were taken into account in the research into the support structure capacity. It is determined that the maximum equivalent loads in the flat wagon support structure do not exceed the admissible loads. The research conducted enhances the higher efficiency of combined transportation along international transport corridors.*

*Keywords: flat wagons, acceleration, dynamics, stress, strength, rail-ferry transport.*

**Стаття надійшла до редакції 24.10.2017 р.**