

**Ловська А.О.**

Український державний університет залізничного транспорту

**Рибін А.В.**

Український державний університет залізничного транспорту

## МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОРОМІ

*У статті наведено результати визначення частот і форм коливань несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі. Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації комбінованого транспорту в спектрі міжнародних транспортних перевезень.*

**Ключові слова:** вагон-платформа, коливання, частоти, форми коливань, залізнично-поромні перевезення.

**Постановка проблеми.** Розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних послуг, а також підвищення ефективності його функціонування вимагає введення в експлуатацію рухомого складу нового покоління, а також комбінованих транспортних систем. Одними з найбільш перспективних серед таких систем є залізнично-поромні перевезення. Цей вид перевезень характеризується можливістю слідування вагонів морем на спеціально обладнаних для цього судах – залізничних поромах.

Натепер залізнично-поромні маршрути сполучають Україну з Болгарією, Грузією та Туреччиною. А з 2016 р. ще із Китаєм через транспортний коридор новий «Шовковий шлях», складовою частиною якого є залізнично-поромний маршрут через акваторію Чорного моря.

У майбутньому прогнозується розширення географії залізнично-поромних сполучень через акваторію Чорного моря, що пояснюється прискореними темпами інтеграції країн чорноморського басейну в систему міжнародних транспортних коридорів.

Перевезення рухомого складу, зокрема вагонів-платформ, на залізничному поромі супроводжується дією на їх несучі конструкції значних величин навантажень, чисельні значення яких перевищують ті, що діють при експлуатації відносно рейкових колій. Це може спричинити пошкодження конструкційних елементів вагонів, за яких відбувається їх закріплення відносно палуб (рис. 1).

У зв'язку з цим необхідним є удосконалення несучих конструкцій вагонів для забезпечення надійності їх закріплення відносно палуб, а також урахування на стадії проектування уточнених величин динамічних навантажень, що діють на них при перевезенні на залізничному поромі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання удосконалення комбінованих перевезень, зокрема контейнерних, розглянуті у [1], де проведений аналіз особливостей кріплення контейнерів на вагонах-платформах. Із 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.

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.

Аналіз конструкції вагона-платформи нового покоління наведений у [3]. Особливістю вагона-платформи є можливість регулювання корисної довжини залежно від габаритів вантажу.

Питання щодо створення ідеальних несучих конструкцій залізничних транспортних засобів та вимоги, яким вони повинні відповідати на сучасному етапі розвитку висвітлені у [4; 5].

Особливості дослідження динамічних якостей зчленованого вагона-платформи на математичних моделях розглядаються у [6]. У статті наведено оцінку власних форм коливань та стійкості незбуреного руху, дослідження динамічних якостей на нелінійній моделі зчленованого вагона-платформи.

Поліпшення технічних характеристик секційного вагона-платформи шляхом удосконалення його конструкції наведені у [7]. У роботі наводяться математичні моделі, які дозволяють визначити динамічні характеристики вагона-платформи зчленованого типу. Отримані теоретичні розрахунки підтверджені шляхом експериментальних досліджень міцності вагона-платформи.

Методологія визначення характеристик власних тонів коливань конструкцій, що є сукупністю окремих складових частин, за результатами динамічних випробувань цих складових частин наведені у [8].

У розглянутих працях не проводяться дослідження щодо можливості експлуатації запропонованих конструкцій вагонів у міжнародному залізнично-водному сполученні, а також їх модальний аналіз.

**Постановка завдання.** Модальний аналіз несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному поромі за допомогою засобів комп'ютерного моделювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Недостатній рівень поповнення вагонного парку

Українській залізниці зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових технічних рішень щодо удосконалення існуючих несучих конструкцій вагонів для підвищення ефективності функціонування комбінованого транспорту. Тому запропоновано створення вагона-платформи зчленованого типу на базі моделі 13-401 [9; 10].

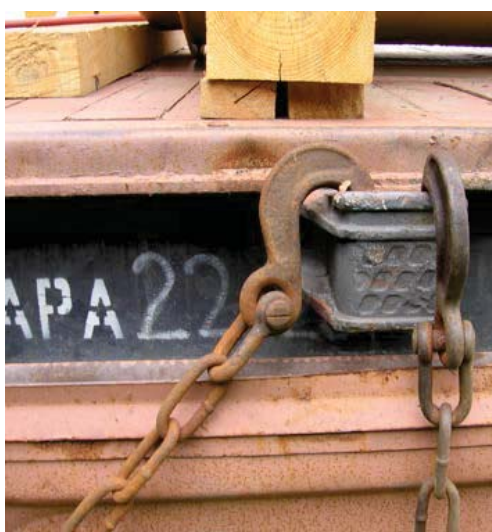
Із метою можливості перевезення вагона-платформи зчленованого типу на залізничному поромі пропонується встановлення на його несучій конструкції вузлів для закріплення ланцюгових стяжок [11] (рис. 2).

Розміщення вузлів закріплення пропонується здійснювати на шворневих балках вагона-платформи, що дозволить забезпечити просторове розміщення ланцюгової стяжки та відповідність кутів її нахилу у просторі нормативним документам [12]. Із боку зон обпирання секцій на середній візок розміщення вузлів здійснюється на надбудовах коробчастого перетину [9].

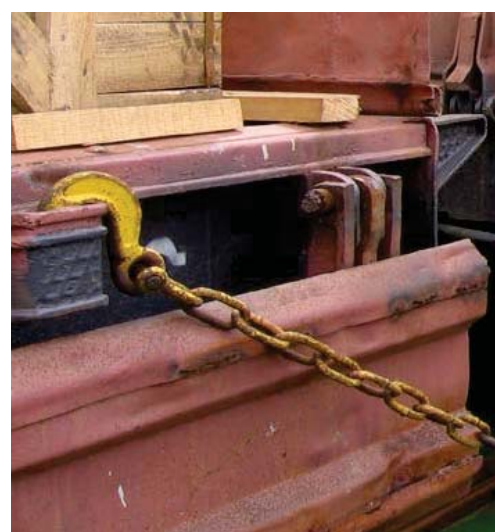
Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі дозволив зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження не перевищують допустимі.

Для визначення частот та форм коливань несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі проведений модальний аналіз у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks [13].

Розрахунок проведений за методом скінчених елементів.



а)



б)

Рис. 1. Закріплення вагона-платформи відносно палуби залізничного порому  
а) закріплення двох ланцюгових стяжок за проміжну скобу лісової стійки;  
б) закріплення однієї ланцюгової стяжки за крайню від консолі скобу лісової стійки

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання несучої конструкції на візки та робочі поверхні механічних упор-домкратів. Для цього на рамі вагона-платформи встановлювалися накладки круглої форми, діаметр яких дорівнює діаметру робочої частини упор-домкрата.

Матеріалом конструкції є сталь марки 09Г2С зі значенням межі плинності 345 МПа та межі міцності 490 МПа [14].

Враховано, що на кожній секції вагона-платформи розміщується по два контейнери типорозміру 1СС (рис. 3).

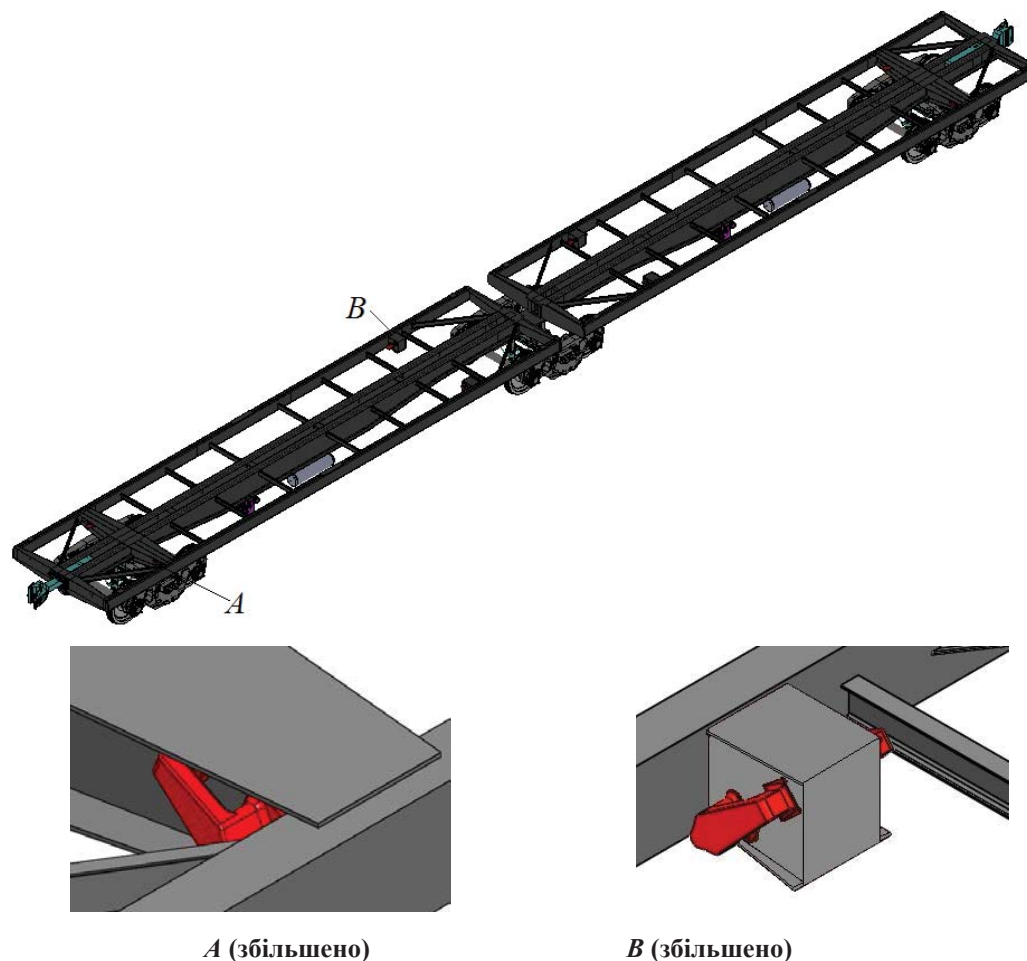


Рис. 2. Удосконалена несуча конструкція вагона-платформи зчленованого типу з вузлами для закріплення відносно палуби залізничного порому

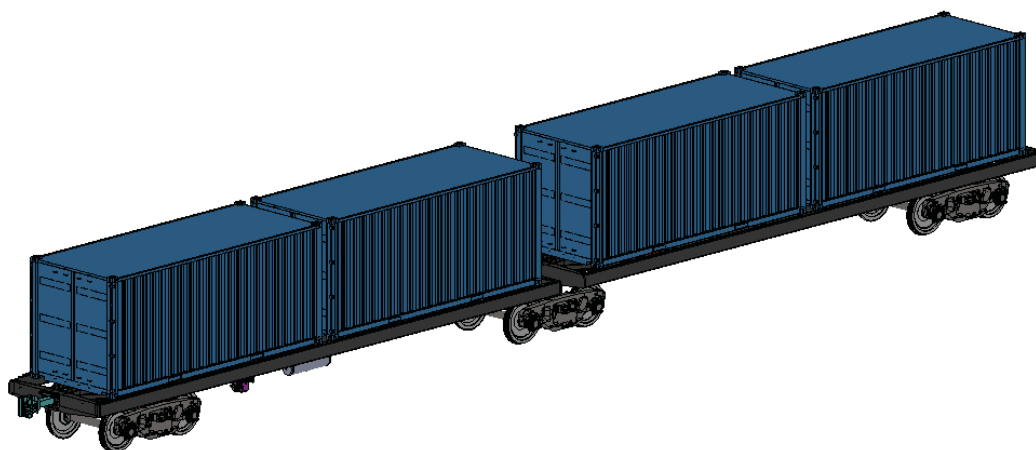


Рис. 3. Розміщення контейнерів типорозміру 1СС на удосконаленій несучій конструкції вагона-платформи

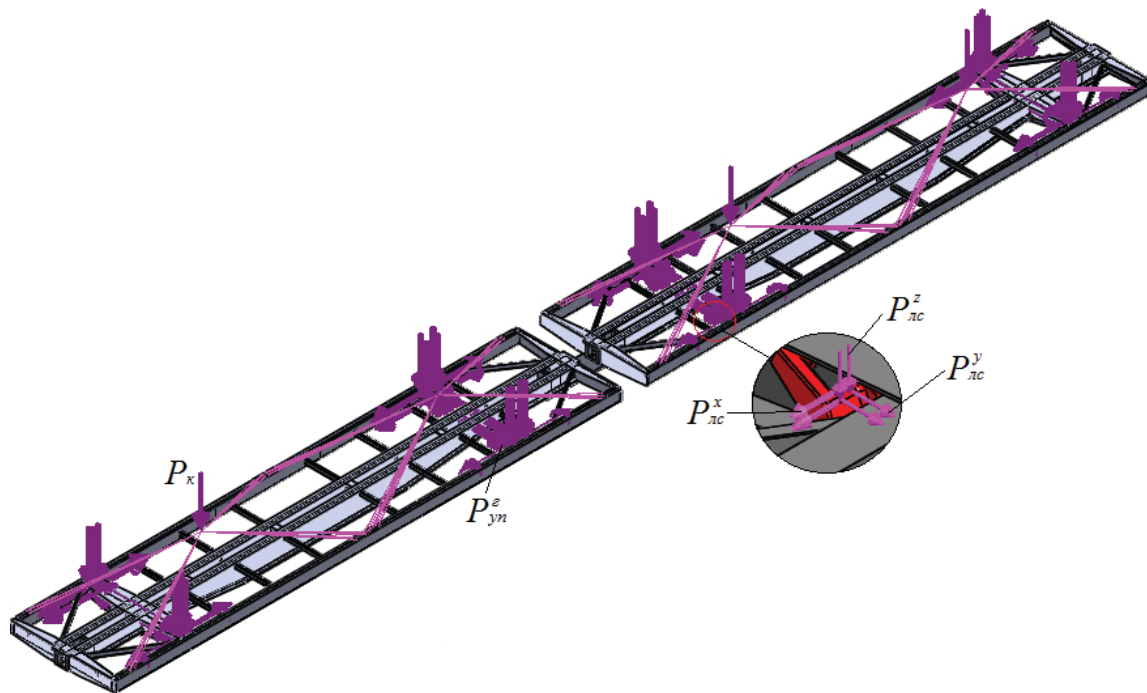


Рис. 4. Модель міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з вузлами для закріплення відносно палуби залізничного порому

При складанні моделі міцності несучої конструкції вагона-платформи до уваги прийнято вертикальне навантаження у зонах обпирання контейнерів на фітингові упори  $P_k$ , що розглянуто у вигляді дистанційного, рівнодіюча якого знаходиться у центрі ваги контейнера та розподілене на чотири фітингові упори; горизонтальне, яке діє на фітинговий упор вагона-платформи від фітинга контейнера при його кутових переміщеннях відносно повздовжньої осі  $P_y^z$ ; зусилля від ланцюгових стяжок на вузли для закріплення відносно палуби  $P_x^z$ . Оскільки ланцюгова стяжка має просторове розміщення, то зусилля, що діє на вузол закріплення від неї розкладалося на три складові (рис. 4).

Для визначення оптимальної кількості елементів сітки застосований графоаналітичний метод. Кількість вузлів сітки склала 148 723, елементів – 462 131. 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 – 6 182,6, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 13,4, більше 10 – 33,7. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7.

Схеми непарних форм коливань несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при перевезенні на залізничному порому зображені на

Таблиця 1

Чисельні значення критичних частот коливань несучої конструкції вагона-платформи

Форма коливань	Частота, рад/с	Частота, Гц
1	93,22	14,83
2	93,27	14,84
3	125,45	19,97
4	126,1	20,07
5	147,96	23,55
6	149,42	23,78
7	221,4	35,24
8	223,77	35,61

Таблиця 2

Чисельні значення переміщень несучої конструкції вагона-платформи відносно основних осей координат (масова участь)

Форма коливань	Напрямок переміщень відносно осі		
	X	Y	Z
1	$4,55 \cdot 10^{-8}$	0,24	$5,79 \cdot 10^{-6}$
2	$4,93 \cdot 10^{-10}$	0,24	$2,16 \cdot 10^{-6}$
3	$1,96 \cdot 10^{-4}$	$2,84 \cdot 10^{-6}$	0,21
4	$1,94 \cdot 10^{-4}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$	0,21
5	$5,73 \cdot 10^{-8}$	$1,98 \cdot 10^{-3}$	$7,88 \cdot 10^{-5}$
6	$6,89 \cdot 10^{-7}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$6,08 \cdot 10^{-4}$
7	$2,24 \cdot 10^{-4}$	$2,38 \cdot 10^{-6}$	$1,81 \cdot 10^{-3}$
8	$2,32 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$1,38 \cdot 10^{-3}$

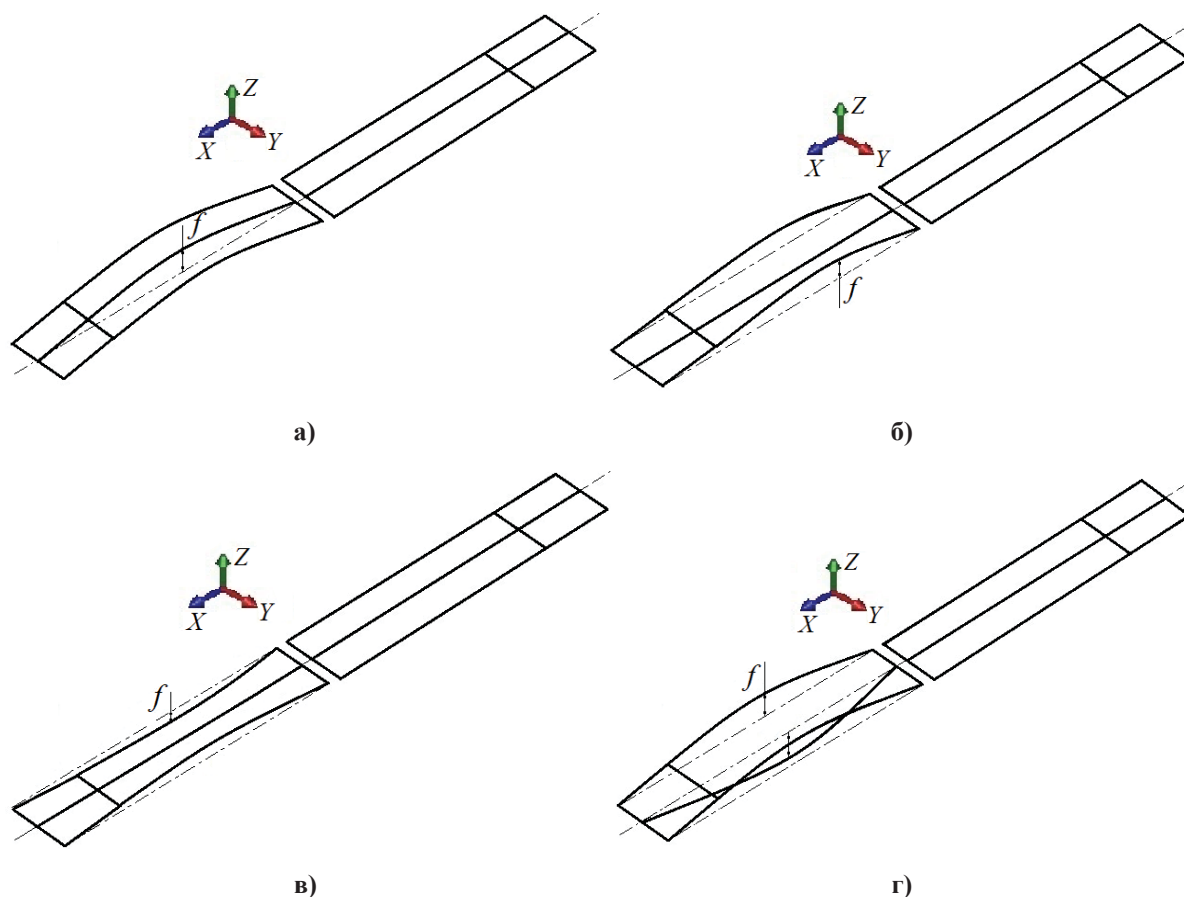


Рис. 5. Схеми форм коливань несучої конструкції вагона-платформи а) для першої частоти; б) для третьої частоти; в) для п'ятої частоти; г) для сьомої частоти

рис. 5. Чисельні значення критичних частот коливань наведені у табл. 1, а чисельні значення переміщень у несучій конструкції вагона-платформи в табл. 2.

Парні частоти коливань відповідають переміщенням другої секції вагона-платформи, тобто віддзеркалюють форми коливань першої секції.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що значення частот коливань знаходяться в межах допустимих [14].

**Висновки.** На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1) для підвищення ефективності комбінованих перевезень запропоновано виготовлення

зчленованого вагона-платформи на базі існуючої конструкції. Особливістю несучої конструкції вагона-платформи є розміщення на ній вузлів для закріплення ланцюгових стяжок із метою можливості перевезення на залізничних поромках морем;

2) результати досліджень частот та форм коливань несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі показали, що значення критичних частот коливань знаходяться в межах допустимих;

3) проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

## Список літератури:

1. Мямлин С., Шатунов А., Сороколет А. Подвижной состав для перевозки контейнеров железнодорожным транспортом. Сб. науч. трудов ДонИЖТ. 2010. Вып. 22. С. 125–132.
2. Krason W., Niezgodna T. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. 2014. Vol. 62, Iss. 4. P. 843–851.
3. WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons. Intern. Edition. 2016. № 1. P. 46.
4. Fomin O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal “Metallurgical and Mining Industry”. 2015. № 1. P.45–48.
5. Kelrykh M., Fomin O. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal “Metallurgical and Mining Industry”. 2014. № 6. P. 64–67.
6. Рудакова Е., Орлова А. Исследование динамических качеств сочлененного вагона-платформы на математических моделях. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2008. Вип. 23. С. 85–88.
7. Гуржи Н. Поліпшення технічних характеристик секційного вагону-платформи шляхом вдосконалення конструкції: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Дніпропетровськ, 2010. 20 с.
8. Бернс В., Долгополов А., Маринин А. Модальный анализ конструкций по результатам испытаний их составных частей. Доклады АН ВШ РФ. 2014. № 1 (22). С. 34–42.
9. Ловська А. О. Удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для підвищення ефективності контейнерних перевезень. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2017. Вип. 1 (67). С. 168–183.
10. Ловська А. Особливості моделювання динамічної завантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами. Зб. наук. праць. СХУ ім. В. Даля. 2017. С. 138–145.
11. Візник Р., Ловська А., Кеба Е. Розробка заходів щодо забезпечення збереження та адаптування конструкцій вагонів до їх надійної взаємодії з багатообертовими пристроями закріплення відносно палуб залізничних поромів. Зб. наук. праць ДонІЗТ. 2010. Вип. 21. С. 110–119.
12. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х «Герои Шипки». № 2512. 02. Одесса, 1997. 51 с.
13. Алямовский А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. М., 2007. 784 с.
14. ГОСТ 33211:2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М. 2016. 54 с. ГОСТ 33211-2014.

### МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ СОЧЛЕНЕННОГО ТИПА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ПАРОМЕ

*В статье представлены результаты определения частот и форм колебаний несущей конструкции вагона-платформы сочлененного типа при перевозке на железнодорожном пароме. Проведенные исследования будут способствовать повышению эффективности эксплуатации комбинированного транспорта в спектре международных транспортных коридоров.*

**Ключевые слова:** вагон-платформа, колебание, частоты, формы колебаний, железнодорожно-паромные перевозки.

### THE MODAL ANALYSIS OF THE CARRYING STRUCTURE OF AN ARTICULATED FLAT WAGON IN RAIL FERRY TRANSPORTATION

*The article presents results of the research into the frequencies and modes of articulated flat wagons when transferring by train ferries. The research conducted enhances the higher efficiency of combined transportation along international transport corridors.*

**Key words:** wagon-platform, oscillation, frequencies, vibration modes, railway-ferry transportations.