

Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЗДОВЖНЬОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З НАПОВНЮВАЧЕМ В НЕСУЧІЙ КОНСТРУКЦІЇ

Проведено визначення навантаженості несучої конструкції вагона-платформи при основних експлуатаційних режимах. Особливістю несучої конструкції вагона-платформи є використання замкнених профілів хребтової та основних повздовжніх балок рами, заповнених наповнювачем. Для визначення повздовжньої навантаженості несучої конструкції вагона-платформи проведено математичне моделювання. Для цього використано математичну модель, розроблену проф. Богомазом Г. І. з урахуванням її доопрацювання шляхом урахування переміщень несучої конструкції вагону-платформи, завантаженого суховантажними контейнерами. Крім того, при доопрацюванні моделі враховано силу тертя, яка виникає між п'ятниками та підп'ятниками та зумовлену дією повздовжньої сили на задній упор автотягача. Розв'язок диференціальних рівнянь руху здійснений за методом Рунге-Кутти в програмному комплексі MathCad. Встановлено, що використання наповнювача в елементах несучої конструкції вагона-платформи сприяє зменшенню прискорень на 3,5% у порівнянні з несучою конструкцією без наповнювача. При цьому коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнена хребтова балка, повинен мати значення близько 118 кН·с/м, а жорсткість – близько 80 кН/м.

Визначено основні показники міцності несучої конструкції вагона-платформи. Розрахунок здійснений за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation. При складанні скінчено-елементної моделі використані ізопараметричні тетраедри. Визначення оптимальної кількості тетраедрів здійснено за графоаналітичним методом. Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С.

Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають в зонах взаємодії шворневих балок з хребтовою та складають 285,6 МПа, що на 17% нижче за допустимі. Максимальні переміщення виникають у середній частині вагона-платформи та дорівнюють 4,5 мм.

Проведені дослідження сприятимуть зменшенню динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів-платформ, покращенню їх втомної міцності, ресурсу експлуатації та зменшенню витрат на утримання. Також результати проведених досліджень сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-платформа, несуча конструкція, динамічна навантаженість, міцність.

Актуальність дослідження. Забезпечення конкурентоспроможності залізничної галузі на сучасному етапі її розвитку зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію принципово нових конструкцій рухомого складу. При створенні такого рухомого складу повинні враховуватися особливі вимоги, пов'язані з забезпеченням його міцності та надійності при експлуатаційних режимах навантаження. Досягти цього можливо шляхом врахування принципів мультифункціональності при його створенні. Це сприятиме зменшенню навантаженості складових несучих конструкцій, підвищенню ресурсу експлуатації, а як наслідок, зменшенню витрат на утримання.

Постановка проблеми. Відомо, що одним з найбільш затребуваних типів вагонів в міжнародному сполученні є вагони-платформи. Основним несучим елементом вагону є рама. Під дією експлуатаційних навантажень вона випробовує значні напруження, які викликають появу тріщин в складових конструкції та необхідність здійснення позапланових видів ремонту або, взагалі, виключення вагона з інвентарного парку. Тому з метою забезпечення міцності несучих конструкцій вагонів-платформ важливим є проведення досліджень щодо можливості зменшення їх навантаженості в експлуатації шляхом урахування принципів мультифункціональності при проектуванні.

Теоретичний аналіз дослідження. Визначення показників міцності довгобазної конструкції вагона-платформи проводиться у роботі [1]. Розрахунок здійснений для двох варіантів завантаження, при яких було отримано найбільші згинальні моменти. Визначення максимальних еквівалентних напружень у основних несучих елементах рами здійснено за методом скінчених елементів.

Питання щодо можливості застосування методів теоретичних і експериментальних досліджень міцності основних несучих елементів конструкцій довгобазних вагонів-платформ розглянуті у публікації [2]. Наведено результати розрахунку несучих елементів конструкції вагона-платформи на втому.

Важливо сказати, що заходи щодо покращення показників міцності несучих конструкцій вагонів-платформ в зазначених роботах не запропоновані.

Аналіз конструкції інноваційного вагону для інтермодальних перевезень проводиться у роботі [3]. Вагон призначений для перевезення вантажних автомобілів залізницею. Перевантаження автомобілів може здійснюватися за допомогою спеціальної обертової платформи з використанням сидельного тягача.

Конструкційні особливості вагона для перевезення великовагових вантажів розглянуті у роботі [4]. Наведені результати розрахунку на міцність несучої конструкції вагона. Обґрунтовано прийняті технічні рішення, які запропоновані при проектуванні вагона.

Однак при цьому в даних роботах не приділяється уваги визначенню можливості зменшення динамічної навантаженості вагона-платформи при найбільш несприятливих режимах навантаження.

Особливості проведення ходових міцнісних та динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-9975 наведені у роботі [5]. Враховано, що вагон-платформа завантажений 20-ти та 40-футовими контейнерами. Визначені основні показники динаміки вагона-платформи. Важливо сказати, що при проведенні досліджень авторами не ставилася задача зменшення динамічної навантаженості вагона-платформи в експлуатації.

В роботі [6] проведено визначення основних показників динаміки несучої конструкції вагона-платформи з труб круглого перерізу. Встановлено, що запропоновані при проектуванні рішення є доцільними.

Обґрунтування використання концепту упряжного пристрою автозчепу в несучих конструкціях вагонів з труб круглого перерізу проведено в роботі [7]. Наведені математичні моделі, які дозволяють визначити динамічні навантаження, що діють на несучі конструкції вагонів. Однак при цьому авторами не проводилися дослідження щодо можливості використання наповнювача в складових несучої конструкції вагона-платформи для зменшення динамічної навантаженості.

Мета статті. Метою статті є висвітлення результатів дослідження повздовжньої навантаженості вагона-платформи з наповнювачем в несучій конструкції при основних експлуатаційних режимах.

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети визначені такі задачі:

- запропонувати заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи в експлуатації;
- провести математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи;
- провести визначення основних показників міцності несучої конструкції вагона-платформи.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для зменшення навантаженості несучої конструкції вагона-платформи запропоновано її удосконалення. При цьому основні несучі елементи рами мають замкнений переріз (рис. 1) та заповнені наповнювачем з пружно-в'язкими властивостями. Таке рішення сприятиме перетворенню кінетичної енергії удару (ривка, розтягнення, стискання), яка діє на несучу конструкцію в роботу сил тертя.

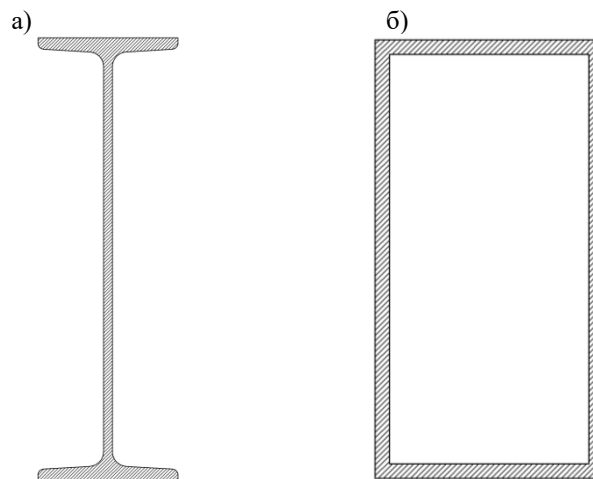


Рисунок 1 – Переріз хребтової балки рами вагона-платформи

а) типова конструкція; б) удосконалена конструкція

Дослідження проведені стосовно несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401.

Оптимальні параметри замкнутого профілю визначені методом оптимізації за резервами міцності. Несуча конструкція вагона-платформи з урахуванням запропонованих рішень наведена на рис. 2.



Рисунок 2 – Несуча конструкція вагона-платформи

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи проведено математичне моделювання. Розрахункова схема вагона-платформи наведена на рис. 3.

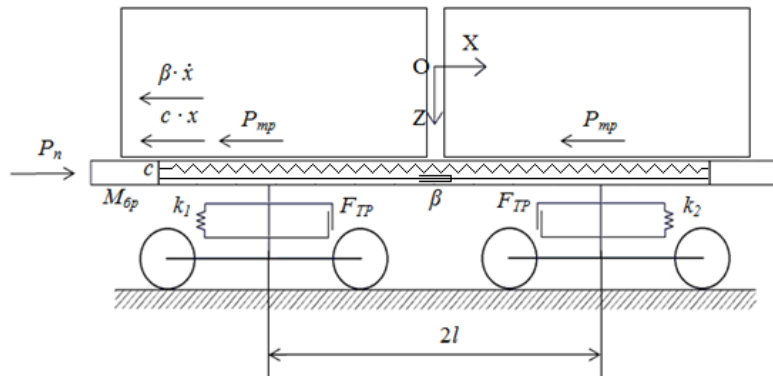


Рисунок 3 – Розрахункова схема вагона-платформи

При цьому використано математичну модель, розроблену проф. Богомазом Г. І. [8]. Зазначена модель описує динамічну навантаженість несучої конструкції довгобазного вагона-платформи, завантаженого контейнерами-цистернами з урахуванням переміщень наливного вантажу у котлах. Тому дану модель було доопрацьовано шляхом урахування переміщень несучої конструкції вагону-платформи, завантаженого суховантажними контейнерами. Крім того, при доопрацюванні моделі враховано силу тертя, яка виникає між п'ятниками та підп'ятниками та зумовлену дією повздовжньої сили на задній упор автотяги [9, 10].

Рівняння руху вагона-платформи мають вигляд:

$$M_{бп} \cdot \ddot{x} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{\varphi} = P_n - 2P_{мп} - \beta \cdot \dot{x} - c \cdot x, \quad (1)$$

$$I_B \cdot \ddot{\varphi} + (M_B \cdot h) \cdot \ddot{x} - g \cdot \varphi \cdot (M_B \cdot h) = F_{ТП} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2) + l(k_1 \cdot \Delta_1 - k_2 \cdot \Delta_2), \quad (2)$$

$$M_B \cdot \ddot{z} = k_1 \cdot \Delta_1 + k_2 \cdot \Delta_2 - F_{ТП} (\text{sign} \dot{\Delta}_1 - \text{sign} \dot{\Delta}_2), \quad (3)$$

при цьому

$$\Delta_1 = z - l \cdot \varphi; \quad \Delta_2 = z + l \cdot \varphi,$$

де $M_{бп}$ – маса брутто вагона-платформи;

M_B – маса несучої конструкції вагона-платформи;

I_B – момент інерції вагона-платформи;

P_n – величина повздовжньої сили на задній упор автотяги, яка прийнята рівною 3,5 МН;

$P_{мп}$ – сили тертя, які виникають між п'ятниками рами та підп'ятниками візків;

c – жорсткість матеріалу, яким заповнена хребтова балка;

β – коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнена хребтова балка;

l – половина бази вагона-платформи;

$F_{ТП}$ – значення сили сухого тертя у ресорному комплекті (візок моделі 18-100);

k_1, k_2 – жорсткість пружин ресорного підвішування візків вагона-платформи;

x, φ, z – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому, кутовому навколо поперечної осі та вертикальному переміщенню вагона-платформи.

Розв'язок рівнянь (1) – (3) здійснений за методом Рунге-Кутта в програмному комплексі MathCad [11, 12]. Стартові умови прийняті рівними нулю. Результати розрахунку наведені на рис. 4.

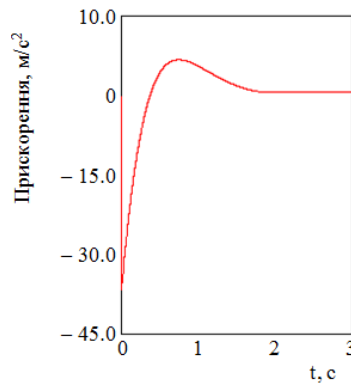


Рисунок 4 – Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи

Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи склали $36,2 \text{ м/с}^2$. Дана величина прискорення на $3,5\%$ нижча за ту, що отримана для несучої конструкції без наповнювача. При цьому коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнена хребтова балка повинен мати значення близько $118 \text{ кН}\cdot\text{с/м}$, а жорсткість – близько 80 кН/м .

Отримана величина прискорення врахована при розрахунках на міцність несучої конструкції вагона-платформи. Розрахунок на міцність реалізований за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation (CosmosWorks) [13, 14]. При складанні скінчено-елементної моделі використані ізопараметричні тетраедри. Визначення оптимальної кількості тетраедрів здійснено за графоаналітичним методом [15, 16]. Кількість елементів сітки склала 396083, вузлів – 131626. Максимальний розмір елементу сітки дорівнює 100 мм , мінімальний – 20 мм , максимальне співвідношення боків елементів – $482,55$, відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – $10,3$, більше десяти – $42,6$. Мінімальна кількість елементів в колі – 8 , співвідношення збільшення розміру елементу – $1,9$. Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С.

Розрахункова схема наведена на рис. 5. Враховано, що несуча конструкція вагона-платформи завантажена двома контейнерами типорозміру 1СС. Вертикальне навантаження P_{ϵ}^{cm} на фітингові упори вагона-платформи прикладалося у вигляді дистанційного з урахуванням висоти центру ваги контейнера. При цьому враховано, що використовується повна вантажопідйомність контейнера, завантаженого умовним вантажем. Переміщення вантажу в контейнері не враховувалося. До фітингових упорів вагона-платформи також прикладалося повздовжнє навантаження P_k , зумовлене дією повздовжньої сили P_n , на задній упор автотягача. Наявність матеріалу з пружно-в'язкими властивостями в рамі моделювалася постановкою зв'язків "пружина-демпфер" за допомогою опцій програмного комплексу SolidWorks Simulation. Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання на ходові частини. Результати розрахунку наведені на рис. 6, 7.

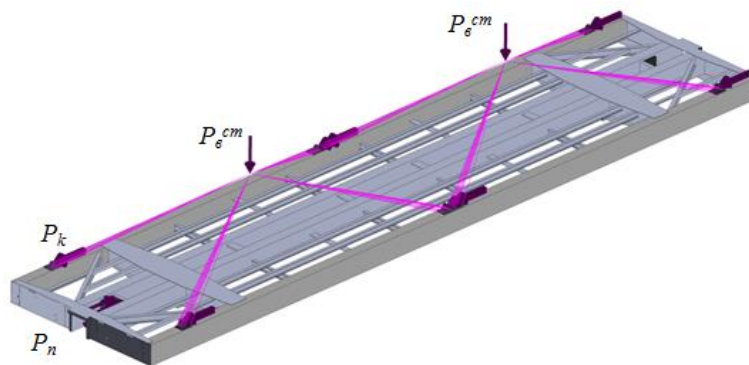


Рисунок 5 – Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи

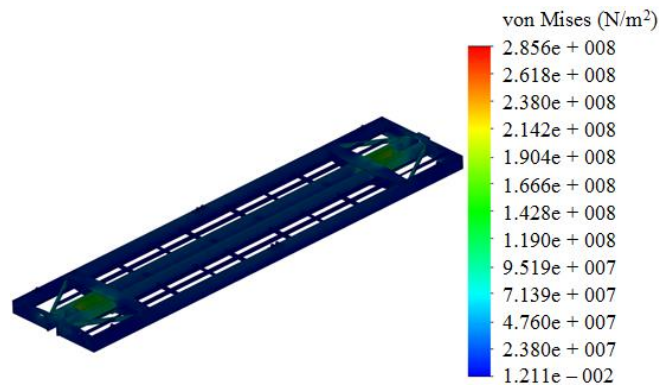


Рисунок 6 – Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи (вид збоку)

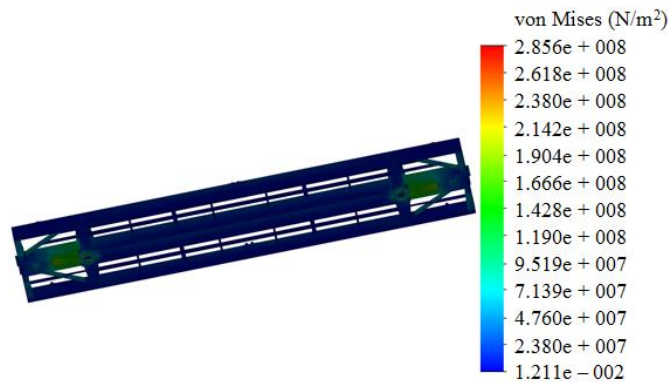


Рисунок 7 – Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи (вид знизу)

Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають в зонах взаємодії шворневих балок з хребтовою та складають 285,6 МПа, що на 17% нижче за допустимі. Максимальні переміщення виникають у середній частині вагона-платформи та дорівнюють 4,5 мм.

Розрахунок здійснений для основних розрахункових режимів. Результати розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні показники міцності несучої конструкції вагона-платформи

Показник міцності	Режим навантаження				
	І режим			ІІІ режим	
	удар	стиснення	ривок-розтягнення	удар-стиснення	ривок-розтягнення
Напруження, МПа	285,6	273,5	262,4	256,1	245,2
Переміщення в вузлах, мм	4,5	4,5	4,4	4,3	4,3

Проведені розрахунки показали, що міцність несучої конструкції вагона-платформи при основних експлуатаційних режимах забезпечується.

Висновки:

1. Запропоновано заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи в експлуатації шляхом впровадження замкнених профілів хребтової та основних повздовжніх балок рами і заповнення їх наповнювачем з пружно-в'язкими властивостями. Це сприятиме перетворенню кінетичної енергії удару (ривка, розтягнення, стиснення), яка діє на несучу конструкцію в роботу сил тертя.

2. Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи. Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи склали 36,2 м/с². Дана величина прискорення на 3,5% нижча за ту, що отримана для несучої конструкції без наповнювача. При цьому коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, яким заповнена хребтова балка повинен мати значення близько 118 кН·с/м, а жорсткість – близько 80 кН/м.

3. Проведено визначення основних показників міцності несучої конструкції вагона-платформи. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають при ударі в зонах взаємодії шворневих балок з хребтовою та складають 285,6 МПа, що на 17% нижче за допустимі. Максимальні переміщення виникають у середній частині рами вагона-платформи та дорівнюють 4,5 мм.

Проведені дослідження сприятимуть зменшенню динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів-платформ, покращенню їх втомної міцності, ресурсу експлуатації та зменшенню витрат на утримання. Також

результати проведених досліджень сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу.

Література

1. Кельріх М. Б. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. М. Б. Кельріх, Д. В. Федосов-Ніконов. Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля. 2016. № 1 (225). С. 90 – 94.
2. Донченко А. В. Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. А. В. Донченко, Д. В. Федосов-Ніконов. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія : Транспортні системи і технології. 2016. Вип. 28. С. 53 – 60.
3. Krasoń Wiesław. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. Wiesław Krasoń, Tadeusz Niezgodą, Michał Stankiewicz. Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. P. 615 – 624.
4. 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. Issue 6. P. 1568– 1580.
5. Chepurnoy A. D. Hodovyie prochnostnyie i dinamicheskie ispytaniya vagona-platfomyi. A. D. Chepurnoy, A. V. Litvinenko, R. I. Sheychenko, R. V. Graborov, M. A. Chuban. Visnik NTU "HPI". 2015. № 31(1140). P. 111–128.
6. Фомін О. В. Дослідження доцільності застосування круглих труб в якості елементів несучих систем залізничних вагонів-платформ. О. В. Фомін, А. О. Ловська. Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. 2015. №1(218). С. 38 – 45.
7. Lovska Alyona. Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts. Alyona Lovska, Oleskij Fomin, Václav Píštěk, Pavel Kučera. Applied Sciences. 2020. Vol. 10, 7441. DOI:10.3390/app10217441
8. Богомаз, Г. И. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку. Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномашенцева. Зб. наук. праць “Динаміка та керування рухом механічних систем” Київ: АНУ, Інститут технічної механіки. 1992. С. 87 – 95.
9. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).
10. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам.
11. Кирьянов Д. В. Mathcad 13 / Д. В. Кирьянов. – Петербург: СПб.: БХВ, 2006. – 608 с.
12. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник / В. Дьяконов. – Питер: СПб, 2000. – 592 с.
13. Fomin Oleskij. Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. Oleskij Fomin, Alyona Lovska. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6, No. 7 (108). P. 21 – 29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217162
14. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – Москва: ДМК, 2007. – 784 с.
15. Vatulia G. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. G. Vatulia, A. Falendysh, Y. Orel, M. Pavliuchenko. Procedia Engineering. 2017. Vol. 187. P. 301–307.
16. Kitov Y. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. Y. Kitov, M. Verevicheva, G. Vatulia, Y. Orel, S. Deryzemlia. MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 133(1–3). 03001.

References

1. Kelrih, M. B. (2016). Doslidzhennya na micnist' konstrukcii dovgobaznoї platformi / M. B. Kelrih, D. V. Fedosov-Nikonov // Visnik Skhidnoukrainskogo Nacionalnogo universitetu imeni Volodimira Dallya. – № 1(225). S. 90 – 94.
2. Donchenko, A. V. (2016). Metodika rozrahunkovo-eksperymentalnih doslidzhen konstrukcii dovgobaznoї platformi / A. V. Donchenko, D. V. Fedosov-Nikonov // Zbirnik naukovih prac Derzhavnogo ekonomiko-tekhnologichnogo universitetu transportu. Seriya: Transportni sistemi i tekhnologii. – Vip. 28. S. 53 – 60.
3. Krasoń, Wiesław. (2016). Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System / Wiesław Krasoń, Tadeusz Niezgodą, Michał Stankiewicz // Transportation Research Procedia. – Vol. 14. P. 615 – 624.
4. Divya Priya, G. (2014). Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley / G. Divya Priya, A. Swarnakumari // Intern. J. of Innovative Technology and Research. – Vol. 2, Issue 6. P. 1568– 1580.
5. Chepurnoy, A. D. (2015). Hodovyie prochnostnyie i dinamicheskie ispytaniya vagona-platfomyi / A. D. Chepurnoy, A. V. Litvinenko, R. I. Sheychenko, R. V. Graborov, M. A. Chuban // Visnik NTU "HPI". – № 31(1140). P. 111–128.
6. Fomin, O. V. Doslidzhennya docilnosti zastosuvannya kruglyh trub v yakosti elementiv nesuchih sistem zali-znichnih vagoniv-platfom / O. V. Fomin, A. O. Lovska // Visnik Skhidnoukrains'kogo nacional'nogo universitetu imeni V. Dallya. – №1(218). S. 38 – 45.
7. Lovska, Alyona. (2020). Calculation of loads on carrying structures of articulated circular-tube wagons equipped with new draft gear concepts / Alyona Lovska, Oleskij Fomin, Václav Píštěk, Pavel Kučera // Applied Sciences. – Vol. 10, 7441. DOI:10.3390/app10217441
8. Bogomaz, G. I., Mehov, D. D., Pilipchenko, O. P., Chernomashentseva, Yu. G. (1992). Nagruzhennost konteynerovtsistern, raspolozhennyih na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepk. Zb. nauk. prats “Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sistem”. P. 87 – 95.
9. DSTU 7598:2014. Vagoni vantazhni. Zagal'ni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv kolii 1520 mm (nesamohidnih).
10. GOST 33211-2014. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam.
11. Kiryanov D. V. Mathcad 13. – Peterburg: SPb.: BHV, 2006. – 608 c.
12. Dyakonov V. MATHCAD 8/2000: specialnyj spravochnik. – Piter: SPb., 2000. – 592 c.
13. Fomin, Oleskij. (2020). Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource / Oleskij Fomin, Alyona Lovska. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 6, No. 7 (108). P. 21 – 29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217162

- 14 Alyamovskij A. A. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Inzhenernyj analiz metodom konechnyh elementov. – Moskva: DMK, 2007. – 784 s.
- 15 Vatulia G. (2017). Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages / G. Vatulia, A. Falendysh, Y. Orel, M. Pavliuchenkov // Procedia Engineering. – Vol. 187. P. 301–307.
- 16 Kitov Y. (2017). Design solutions for structures with optimal internal stress distribution / Y. Kitov, M. Verevicheva, G. Vatulia, Y. Orel, S. Deryzemlia // MATEC Web of Conferences. – Vol. 133(1–3). 03001.

Проведено определение нагруженности несущей конструкции вагона-платформы при основных эксплуатационных режимах. Особенностью несущей конструкции вагона-платформы является использование замкнутых профилей хребтовой и основных продольных балок рамы, заполненных наполнителем. Для определения продольной нагруженности несущей конструкции вагона-платформы осуществлено математическое моделирование. Для этого использовано математическую модель, разработанную проф. Богомазом Г. И. с учетом ее доработки путем учета перемещений несущей конструкции вагона-платформы, загруженного сухогрузными контейнерами. Кроме того, при доработке модели учтено силу трения, которая возникает между пятниками и подпятниками и обусловленную действием продольной силы на задний упор автоцепки. Решение дифференциальных уравнений движения осуществлено по методу Рунге-Кутты в программном комплексе MathCad. Установлено, что использование наполнителя в элементах несущей конструкции вагона-платформы способствует уменьшению ускорений на 3,5% по сравнению с несущей конструкцией без наполнителя. При этом коэффициент вязкого сопротивления материала, которым заполнена хребтовая балка, должен иметь значение около 118 кН·с/м, а жесткость – около 80 кН/м.

Определены основные показатели прочности несущей конструкции вагона-платформы. Расчет осуществлен по методу конечных элементов в программном комплексе SolidWorks Simulation. При составлении конечно-элементной модели использованы изопараметрические тетраэдры. Определение оптимального количества тетраэдров осуществлено по графоаналитическому методу. Материал конструкции – сталь марки 09Г2С.

Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения при этом возникают в зонах взаимодействия шкворневых балок с хребтовой и составляют 285,6 МПа, что на 17% ниже допустимых. Максимальные перемещения возникают в средней части вагона-платформы и равны 4,5 мм.

Проведенные исследования будут способствовать уменьшению динамической нагруженности несущих конструкций вагонов-платформ, улучшению их усталостной прочности, ресурса эксплуатации и уменьшению затрат на содержание. Также результаты проведенных исследований будут способствовать созданию наработок по проектированию инновационных конструкций подвижного состава.

Ключевые слова: транспортная механика, вагон-платформа, несущая конструкция, динамическая нагруженность, прочность.

The load-bearing capacity of flat wagon load-bearing structure under main operational modes was determined. The peculiarity of the load-bearing structure of the flat wagon is the use of closed profiles of the back and main overhead beams of the frame, filled with a weighting agent. Mathematical modeling was carried out in order to determine the load-bearing capacity of the flat wagon load-bearing structure. For this, a mathematical model developed by prof. Bogomaz G.I., taking into account its revision by taking into account the movements of the supporting structure of a flat car loaded with dry cargo containers. In addition, the model was revised to take into account the force of rubbing that occurs between the dummies and bunkers and is caused by the driving force on the rear thrust of the car. The differential equations of motion were calculated by the Runge-Kutta method in the MathCad software package. It was found out that the use of the load-carrier in the elements of the load-carrying structure reduces the acceleration by 3,5% in comparison with the load-carrying structure without the load-carrier. The coefficient of isolated support of the material, which reinforced the backbone beam, should have a value about 118 kN·s/m, and stiffness – about 80 kN/m.

The main indicators of strength of the load-bearing structure of the flat wagon are determined. Calculation was carried out by the method of joined elements in the SolidWorks Simulation program complex. When constructing the bonded-element model, the isoparametric tetrahedrons were used. The optimal number of tetrahedrons was determined by the graphoanalytical method. The material of the structure is 09G2S steel.

It was found that the maximum equivalent loads with this occur in areas of interaction between the kingpin beams with a backbone and amount to 285.6 MPa, which is 17% lower than the allowable. The maximum displacement occurs in the middle part of the flat wagon of 4.5 mm.

The conducted investigations will contribute to the change of dynamic loading of bearing structures of flat wagon, improvement of their fatigue strength, service life and maintenance costs. Also the results of the conducted research will contribute to the creation of guidelines for the design of innovative structures of rolling stock.

Keywords: transport mechanics, flat wagon, load-bearing structure, dynamic load, strength.

Фомін О. В. – д.т.н., професор кафедри “Вагони та вагонне господарство” Державного університету інфраструктури та технологій.

Ловська А. О. – д.т.н., доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту.

Рибін А. В. – старший викладач кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту.