

УДК 629.463.001.18

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.203245

## Визначення особливостей навантаженості удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи для перевезення військової техніки

А. О. Ловська, О. В. Фомін, А. М. Чечет, О. В. Соловійова

*Проведено удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для перевезення військової техніки та ведення вогняної дії. Особливістю вагона-платформи є наявність поворотних секторів з композитного матеріалу з в'язкими або пружно-в'язким зв'язками, що дозволяє поглинати кінетичну енергію, яка передається на раму при веденні вогню з вагону, а також дає можливість здійснювати бокове завантаження/вивантаження військової техніки.*

*Досліджено динамічну навантаженість несучої конструкції вагона-платформи для перевезення військової техніки та ведення бойової дії. Складено математичну модель, яка враховує переміщення несучої конструкції вагона-платформи при веденні з нього вогняної дії. Враховано, що вагон-платформа завантажений двома зенітними установками. Розв'язок математичної моделі здійснений в програмному середовищі MathCad.*

*Дослідження проведені у плоскій системі координат. Визначено прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи. Максимальна величина прискорення при цьому складає близько  $3,6 \text{ м/с}^2$  при коливаннях підсакування та  $4,0 \text{ м/с}^2$  при коливаннях галопування. Тобто з урахуванням запропонованих технічних рішень динамічна навантаженість несучої конструкції вагона-платформи у вертикальній площині при пострілі зменшується майже на 30 %. При цьому величина прискорення майже не залежить від кута пострілу.*

*Отримані величини прискорень враховані при визначенні показників міцності несучої конструкції вагона-платформи. Розрахунок проведено за методом скінчених елементів в програмному середовищі CosmosWorks. Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-платформи склали близько 285 МПа та зосереджені у зоні обпирання несучої конструкції на візки. Отже міцність несучої конструкції вагона-платформи забезпечується.*

*Проведений модальний аналіз несучої конструкції вагона-платформи. При цьому значення власних частот коливань знаходяться в межах допустимих.*

*Проведені дослідження сприятимуть створення інноваційних конструкцій вагонів-платформ*

*Ключові слова: вагон-платформа, несуча конструкція, динамічна навантаженість, модальний аналіз, комбіновані перевезення*

### 1. Вступ

Залізничний транспорт є стратегічною складовою транспортної галузі, який забезпечує не тільки перевізний процес, а і може сприяти підвищенню цивільної оборони країни. Відомо, що під час другої світової війни залізничний транспорт відіграв важливу роль у здійсненні військових стратегічних операціях.

Найбільш поширеним типом вагону, який використовується для перевезення військової техніки, є вагони-платформи. Здебільшого використовуються універсальні вагони-платформи, які оснащуються засобами для закріплення військової техніки під час перевезень залізницею.

Для дотримання цивільної оборони країни на сучасному етапі розвитку важливим є впровадження в експлуатацію інноваційного рухомого складу. Конструкція такого рухомого складу повинна забезпечувати можливість не тільки перевезення військової техніки, а і можливість здійснювати з нього вогняну дію при виникненні такої необхідності.

Важливим є при проектуванні такого рухомого складу урахування динамічної навантаженості несучих конструкцій при переміщенні рейковою колією, а також веденні вогняної дії. Нормативна база у відповідності з якою здійснюється проектування рухомого складу, не висвітлює таких питань. Тому комплексний підхід до створення спеціалізованого рухомого складу сприятиме підвищенню ефективності його функціонування та цивільної оборони країни.

## **2. Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Заходи щодо модернізації рухомого складу для підвищення ефективності використання розглянуті у [1]. Проведено аналіз конструкцій спеціалізованого та універсального рухомого складу. Розглянуто питання модернізації універсальних вагонів. Виконано оцінку міцності несучої конструкції платформи на підставі комплексу розрахункових і експериментальних досліджень. Однак при цьому не розглянуті питання модернізації вагонів з метою можливості перевезення військової техніки.

Визначення показників міцності довгобазної конструкції вагона-платформи проводиться у [2]. 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. Визначення показників міцності довгобазної несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні військової техніки та ведення вогняної дії авторами не проводиться.

Питання щодо можливості застосування методів теоретичних і експериментальних досліджень міцності основних несучих елементів конструкцій довгобазних вагонів-платформ розглянуті у [3]. Наведено результати розрахунку несучих елементів конструкції на втому з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінчених елементів стандарту IBM-PC. Задача дослідження можливості перевезення військової техніки на вагоні-платформі авторами не ставиться.

Особливості проектування залізничного вагона для інтермодальних перевезень з адаптованою завантажувальною платформою розглянуті у [4]. Прийняті конструкційні рішення обґрунтовані статичними та динамічними дослідженнями в програмних комплексах ANSYS та ADAMS/Rail. Однак в статті не висвітлюються питання можливості перевезення військової техніки на розробленій конструкції вагона-платформи.

Аналіз конструкції інноваційного вагону для інтермодальних перевезень проводиться у [5]. Вагон призначений для перевезення вантажних автомобілів залізницею. Перевантаження автомобілів може здійснюватися за допомогою спеціальної обертової платформи з використанням сідельного тягача. Однак в роботі не оговорюється, чи є можливість здійснювати перевезення військової техніки на вагоні-платформі та проводити вогняну дію з нього.

Дослідження динаміки рухомого складу з використанням експериментального вагона-лабораторії при русі по складним дільницям колії висвітлюється у [6]. Запропоновані заходи щодо безпечної експлуатації рухомого складу. Досліджений вплив нерівностей колії на показники динаміки рухомого складу. Однак вплив військової техніки, яка перевозиться на вагоні-платформі, на динамічну навантаженість несучої конструкції в роботі не висвітлюється.

Конструкційні особливості вагона для перевезення великовагових вантажів розглянуті у [7]. Наведені результати розрахунка на міцність несучої конструкції вагона. Обґрунтовано прийняті технічні рішення, які запропоновані при проектуванні даного вагона. При цьому в роботі не приділяється уваги дослідженню динаміки несучої конструкції вагона, при перевезенні військової техніки.

Особливості проведення ходових міцнісних та динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-9975 наведені у [8]. Враховано, що вагон-платформа завантажений 20-ти та 40-футовими контейнерами. Визначені основні показники динаміки вагона-платформи. При проведенні досліджень авторами не ставилася задача визначення показників динаміки вагона-платформи при перевезенні військової техніки.

Важливо зазначити, що процес перевезення військової техніки та ведення вогню при русі супроводжується дією на несучу конструкцію додаткових динамічних навантажень. Нормативна база, у відповідності з якою проектуються вагони, не висвітлює питань динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів при веденні вогняної дії. Тому при проектуванні вагонів-платформ ці навантаження не приймаються до уваги. Використання типових вагонів-платформ для здійснення вогняної дії може спричинити пошкодження їх несучих конструкцій, оскільки вони не розраховані для сприйняття таких навантажень. Це обмежує можливість використання залізничного транспорту у військово-стратегічних питаннях.

Аналіз літературних джерел [1–8] дозволяє зробити висновок, що питання навантаженості несучих конструкцій вагонів при перевезенні військової техніки та веденні вогняної дії при русі раніше не розглядалися. Тому для підвищення ефективності використання вагонів у військово-стратегічних питаннях важливим є проведення відповідних досліджень у цьому напрямку.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою дослідження є визначення особливостей визначення навантаженості несучої конструкції вагона-платформи для перевезення військової техніки, а також можливості ведення з нього вогняної дії. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- створити несучу конструкцію вагона-платформи для перевезення військової техніки та ведення вогняної дії при русі;
- дослідити динаміку вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього;
- визначити основні показники міцності несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього.

#### 4 Створення несучої конструкції вагона-платформи для перевезення військової техніки та ведення вогняної дії при русі

Для забезпечення міцності вагона-платформи при здійсненні вогняної дії з нього пропонується удосконалення несучої конструкції. При цьому в якості прототипу обрано вагон-платформу моделі 13-401 побудови Дніпродзержинського вагонобудівного заводу (Україна), (рис. 1).

Пропонується встановлення на несучу конструкцію вагону-платформи поворотних секторів з композитного матеріалу з в'язким або пружно-в'язким зв'язками, що дозволяє поглинати кінетичну енергію, яка передається на раму при веденні вогню з вагону (рис. 2).

Також наявність поворотних секторів дає можливість здійснювати бокове завантаження/вивантаження військової техніки, як за системою ACTS.

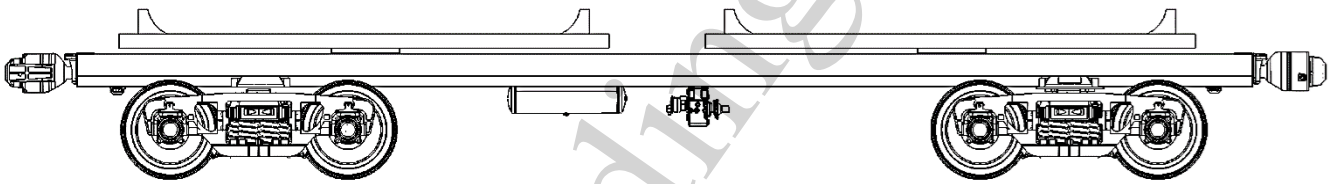
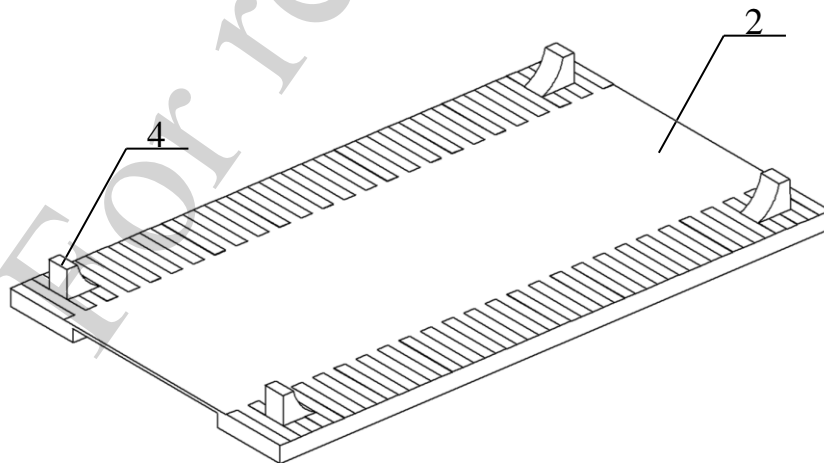


Рис. 1. Вагон-платформа для перевезення військової техніки та ведення вогняної дії



a

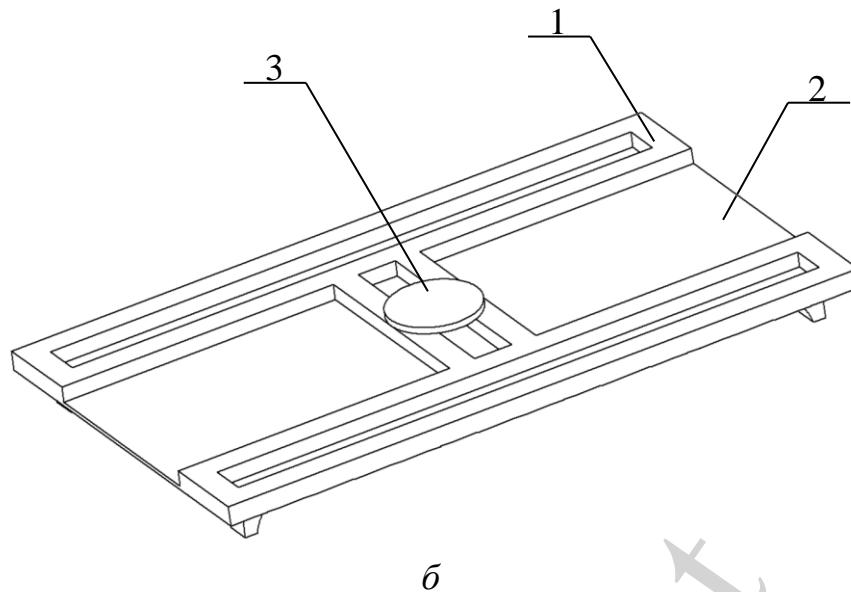


Рис. 2. Поворотний сектор вагона-платформи: *а* – вид збоку; *б* – вид знизу; 1 – каркас; 2 – металевий настил; 3 – поворотний елемент; 4 – зйомні колісні упори

### 5. Дослідження динаміки вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням запропонованих технічних рішень проведено математичне моделювання.

Для цього використано математичну модель, наведену у [9]. Дана модель доопрацьована шляхом урахування додаткового ступеня вільності – коливань посмикування.

Враховано, що вагон-платформа завантажений двома зенітними установками з дульною енергією 89 кДж кожна. При цьому прийнято припущення, що переміщення зенітних установок при пострілі відсутнє.

Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого двома зенітними установками, наведена на рис. 3.

Дослідження проведені у плоскій системі координат. Враховано, що постріл здійснюється при проходженні вагона через стикову нерівність. При цьому здійснюється повздовжнє навантаження автозчепного пристрою (ривок-розтягнення). Постріли одночасно здійснюються з двох зенітних установок.

Рівняння руху розрахункової моделі мають вигляд:

$$M_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_1 + M' \cdot \frac{d}{dt} q_3 = P_{\text{п}} + P'_{\text{в}}, \quad (1)$$

$$M_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_2 + C_{2,2} \cdot q_2 + C_{2,5} \cdot q_5 + C_{2,8} \cdot q_8 = P_z - \beta \cdot \dot{q}_2, \quad (2)$$

$$M_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_3 + C_{3,3} \cdot q_3 + C_{3,5} \cdot q_5 + C_{3,8} \cdot q_8 = P_\varphi - \beta \cdot q_3, \quad (3)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_4 = 0, \quad (4)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_5 + C_{5,2} \cdot q_2 + C_{5,3} \cdot q_3 + C_{5,5} \cdot q_5 + B_{5,5} \cdot \frac{d}{dt} q_5 = P_z^{T_1}, \quad (5)$$

$$M_4 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_6 + C_{6,6} \cdot q_6 + B_{6,6} \cdot \frac{d}{dt} q_6 = P_\varphi^{T_1}, \quad (6)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_7 = 0, \quad (7)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_8 + C_{8,2} \cdot q_2 + C_{8,3} \cdot q_3 + C_{8,8} \cdot q_8 + B_{8,8} \cdot \frac{d}{dt} q_8 = P_z^{T_2}, \quad (8)$$

$$M_6 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_9 + C_{9,9} \cdot q_9 + B_{9,9} \cdot \frac{d}{dt} q_9 = P_\varphi^{T_2}, \quad (9)$$

$$P_z = -F_{TP} \cdot \left( \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_1 \right) + \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_2 \right) \right) + P'_\pi, \quad (10)$$

$$P_\varphi = F_{TP} \cdot l \cdot \left( \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_1 \right) + \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_2 \right) \right) + M'_B, \quad (11)$$

$$P_z^{T_1} = F_{TP} \cdot \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_1 \right) + k_1 (\eta_1 + \eta_2) + \beta_1 \left( \frac{d}{dt} \eta_1 + \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \quad (12)$$

$$P_\varphi^{T_1} = -k_1 (\eta_1 - \eta_2) - \beta_1 \cdot a \cdot \left( \frac{d}{dt} \eta_1 - \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \quad (13)$$

$$P_z^{T_2} = F_{TP} \cdot \text{sign} \left( \frac{d}{dt} \delta_2 \right) + k_1 (\eta_3 + \eta_4) + \beta_1 \left( \frac{d}{dt} \eta_3 + \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \quad (14)$$

$$P_\varphi^{T_2} = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_3 - \eta_4) - \beta_1 \cdot a \cdot \left( \frac{d}{dt} \eta_3 - \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \quad (15)$$

де  $M_i$  – інерційні коефіцієнти елементів коливальної системи;  $C_i$  – характеристика пружності елементів коливальної системи;  $B_i$  – функція розсіювання;  $a$  – половина бази візка;  $q_i$  – узагальнені координати, що відповідають поступальному переміщенню відносно повздовжньої та вертикальної осей та кутовому переміщенню навколо вертикальної осі;  $k_i$  – жорсткість ресорного підвішування;  $\beta_i$  – коефіцієнт демпфірування;  $F_{TP}$  – сила абсолютного тертя у ресорному комплекті;  $P_n$  – повздовжнє навантаження, яке діє на упори автозчепу;  $P'_b$ ,  $P'_n$  – відповідно, навантаження, яке передається на несучу конструкцію при пострілі у горизонтальній та вертикальній площинах;  $M'_b$  – момент, який діє на несучу конструкцію вагона-платформи при пострілі;  $\beta$  – коефіцієнт в'язкого

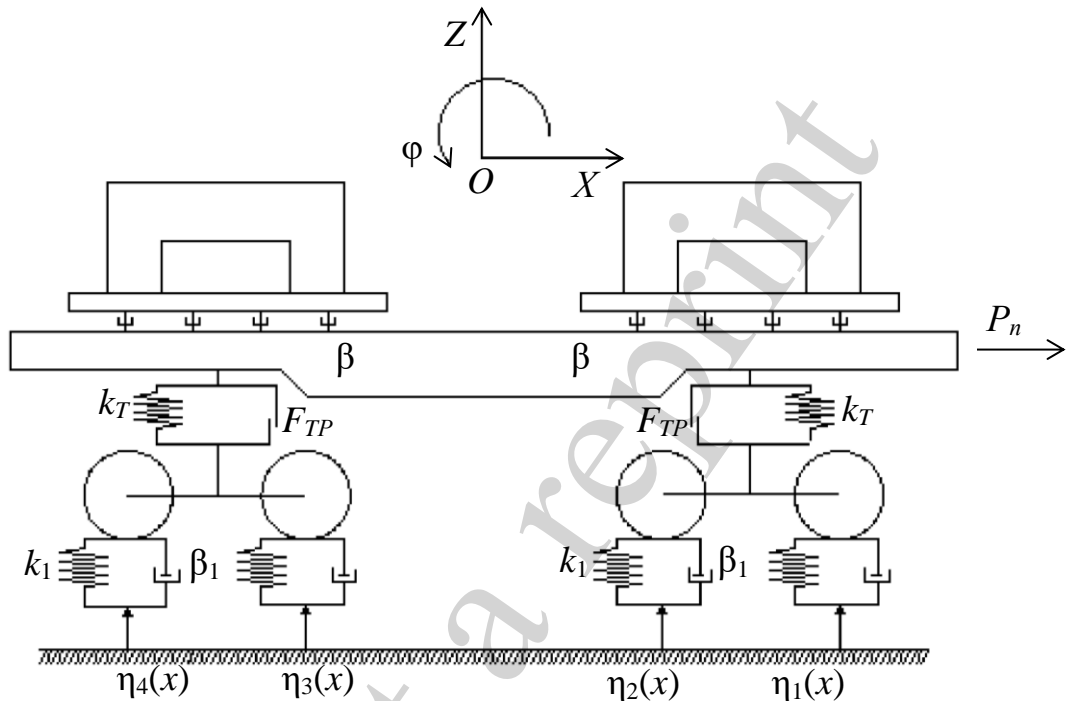


Рис. 3. Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого двома зенітними установками

опору між поворотним сектором та несучою конструкцією вагона-платформи.

Вхідними параметрами моделі є технічні характеристики несучої конструкції вагона-платформи, ресорного підвішування візків (візок моделі 18-100), збурюючої дії, а також технічні характеристики зенітних установок.

Для розв'язання диференціальних рівнянь (1)–(9) проводилося зведення їх до нормальної форми Коші. Після цього вони інтегрування за методом Рунге–Кутта [10, 11].

При цьому використано стандартну функцію  $rkfixed(Y0, tn, tk, n', Q)$ . Вектор  $Y0$  містить початкові умови (16). Величини  $tn$  і  $tk$  визначають початкову та кінцеву змінну інтегрування,  $n'$  – фіксоване число кроків,  $Q$  – символічний вектор.

$$Y_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Тобто початкове переміщення та швидкість прийняті рівними нулю [12–14].

Результати розв'язку диференціальних рівнянь дозволили отримати прискорення, які діють на вагон-платформу при веденні вогню з зенітних установок при різних кутах пострілу.

Максимальна величина прискорення складає при цьому близько  $3,6 \text{ м/с}^2$  при коливаннях підскакування (рис. 4) та  $4,0 \text{ м/с}^2$  при коливаннях галопування (рис. 5). При цьому величина прискорення майже не залежить від кута пострілу.

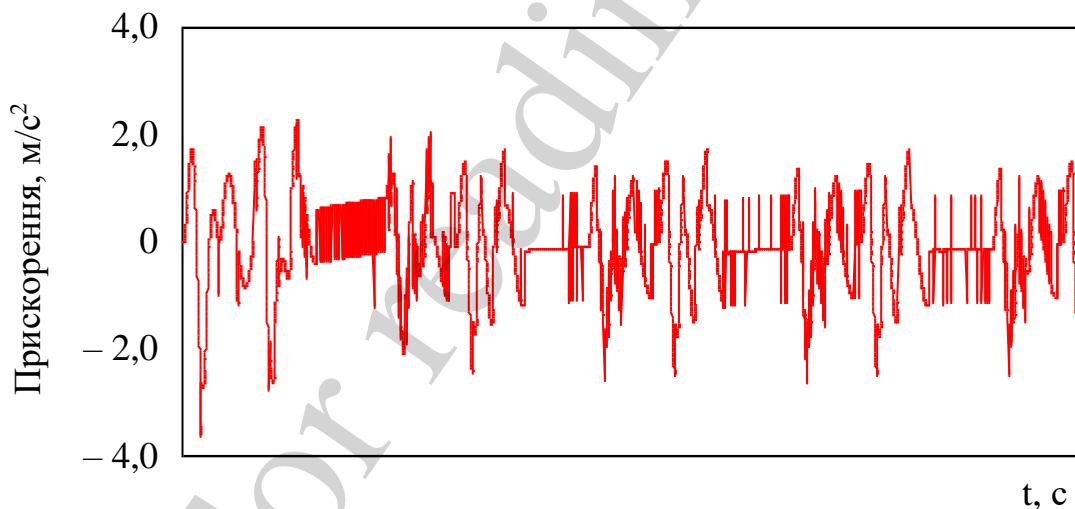


Рис. 4. Прискорення, які діють в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи (пушка спрямована під кутом  $30^0$  до повздовжньої осі вагона) при коливаннях підскакування

Враховано, що коефіцієнт в'язкого опору між поворотним сектором та несучою конструкцією вагона-платформи складає  $150 \text{ кН}\cdot\text{с/м}$ .

Отже з урахуванням встановлення в'язкого зв'язку між поворотним сектором та несучою конструкцією вагона-платформи стає можливим знизити динамічну навантаженість при пострілі з зенітних установок у вертикальній площині майже на 30 % у порівнянні з типовою конструкцією.



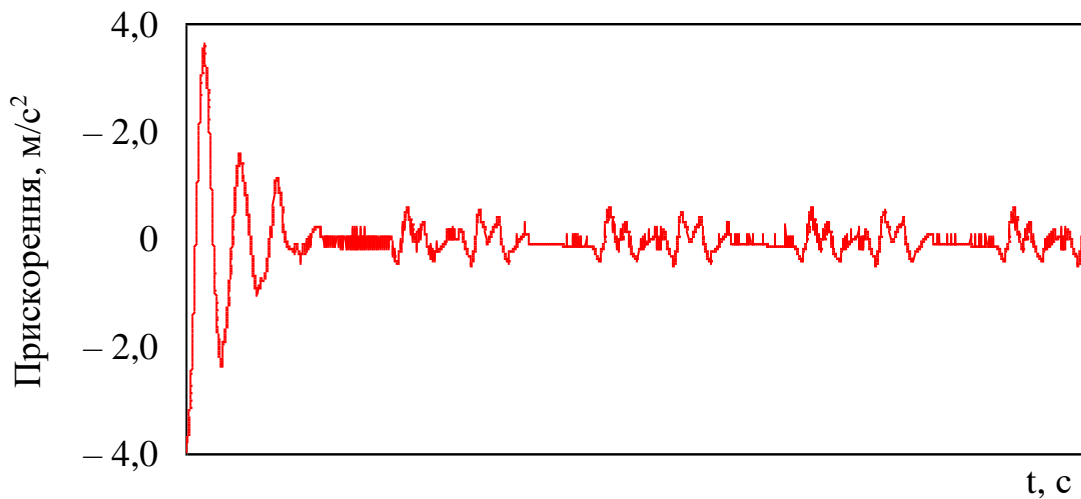


Рис. 5. Прискорення, які діють в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи (пушка спрямована під кутом  $30^\circ$  до повздовжньої осі вагона) при коливаннях галопування

#### **6. Визначення основних показників міцності несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього**

Для дослідження міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи проведений розрахунок. Побудовано просторову модель несучої конструкції вагона-платформи в програмному середовищі SolidWorks (рис. 6).

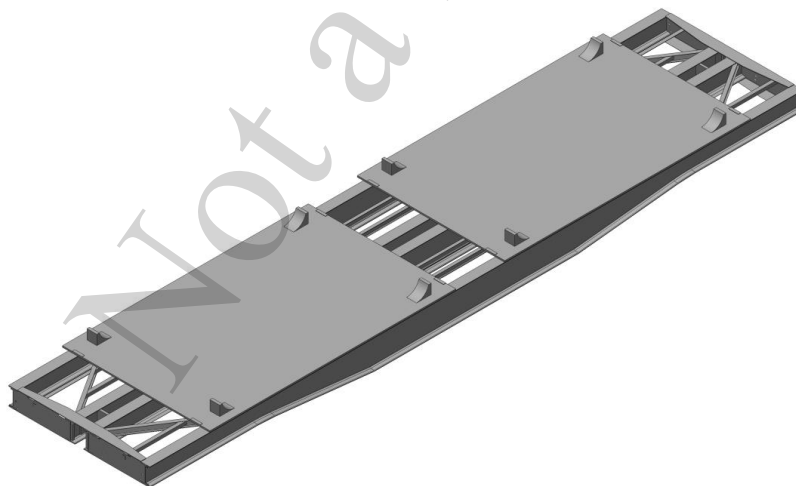


Рис. 6. Просторова модель несучої конструкції вагона-платформи

Розрахунок на міцність реалізований в програмному середовищі Cosmos-Works [15–18] за методом скінчених елементів. Скінчено-елементну модель несучої конструкції вагона-платформи наведено на рис. 7.

В якості скінчених елементів використовувалися просторові тетраедри. Для визначення оптимальної кількості елементів застосований графоаналітичний метод.

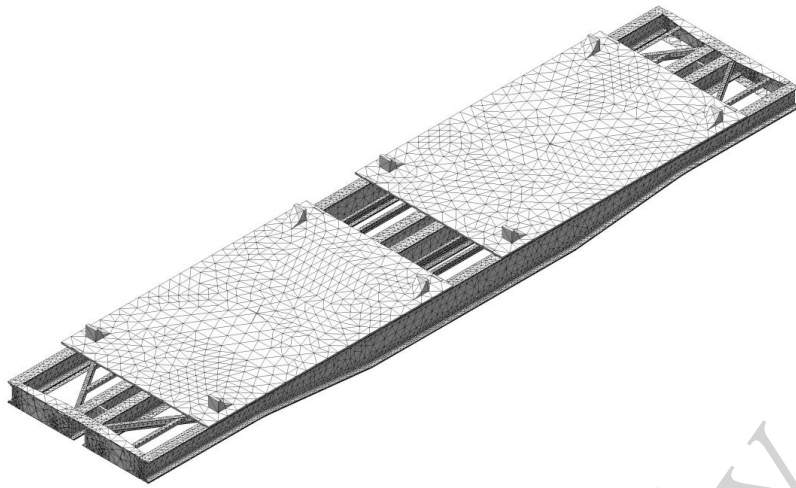


Рис. 7. Скінчено-елементна модель несучої конструкції вагона-платформи

Кількість вузлів моделі склала 122715, елементів – 381831. Максимальний розмір елемента склав 200 мм, а мінімальний – 40 мм. Відсоток елементів з співвідношенням боків менше трьох – 12,5, більше десяти – 30,4. Мінімальна кількість елементів в колі склала 10, співвідношення збільшення розміру елементів – 1,9. Матеріал несучої конструкції вагона-платформи – сталь марки 09Г2С зі значенням межі міцності  $\sigma_B = 490$  МПа та межі плинності  $\sigma_{II} = 345$  МПа [19, 20].

Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи наведена на рис. 8.

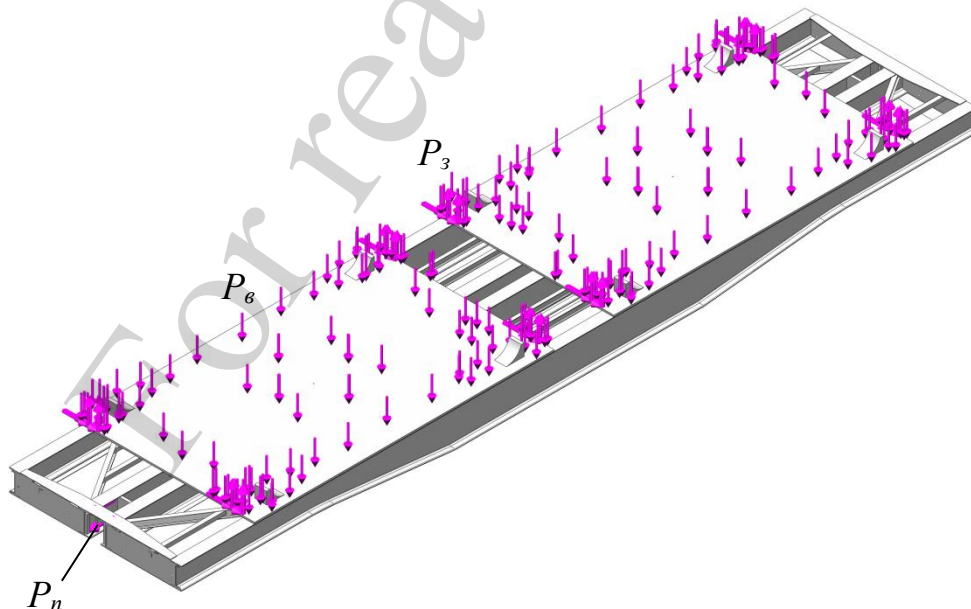


Рис. 8. Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи

При складанні розрахункової схеми враховано, що на передні упори автозчепного пристрою діє повздовжнє навантаження  $P_n$ , яке дорівнює

2,5 МН [19, 20]. На несучу конструкцію вагона-платформи діє вертикальне навантаження  $P_e$  від ваги-брутто зенітних установок, а також навантаження, які виникають в зонах закріплення установок  $P_z$ . Внаслідок кутового розміщення засобів закріплення навантаження  $P_z$  розкладалося на складові. Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання на ходові частини.

Між опорними секторами та несучою конструкцією вагона-платформи встановлений в'язкий зв'язок.

Результати розрахунку наведені на рис. 9, 10.

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-платформи складають близько 285 МПа та виникають у зоні обпирання несучої конструкції на візки. У основних повздовжніх балках рами максимальні еквівалентні напруження склали 165 МПа (верхня полка двутавра). У нижній полці двутавра основної повздовжньої балки рами напруження складають 130 МПа. У середній частині хребтової балки напруження дорівнюють 205 МПа, а в зонах обпирання на візок – близько 260 МПа.

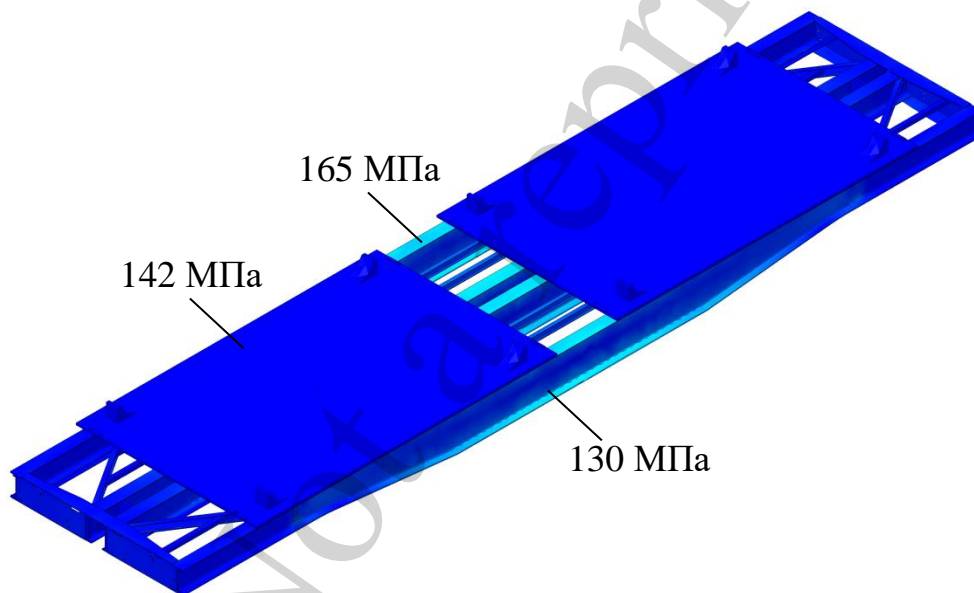


Рис. 9. Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи (вид збоку)

Для визначення власних частот коливань несучої конструкції вагона-платформи проведений модальний аналіз в програмному середовищі Cosmos-Works. Результати розрахунку наведені в табл. 1.

Деякі форми коливань несучої конструкції вагона-платформи наведені на рис. 11.

Проведені розрахунки показують, що значення власних частот коливань знаходяться в межах допустимих [19–21], тобто є не меншими за 8 Гц.

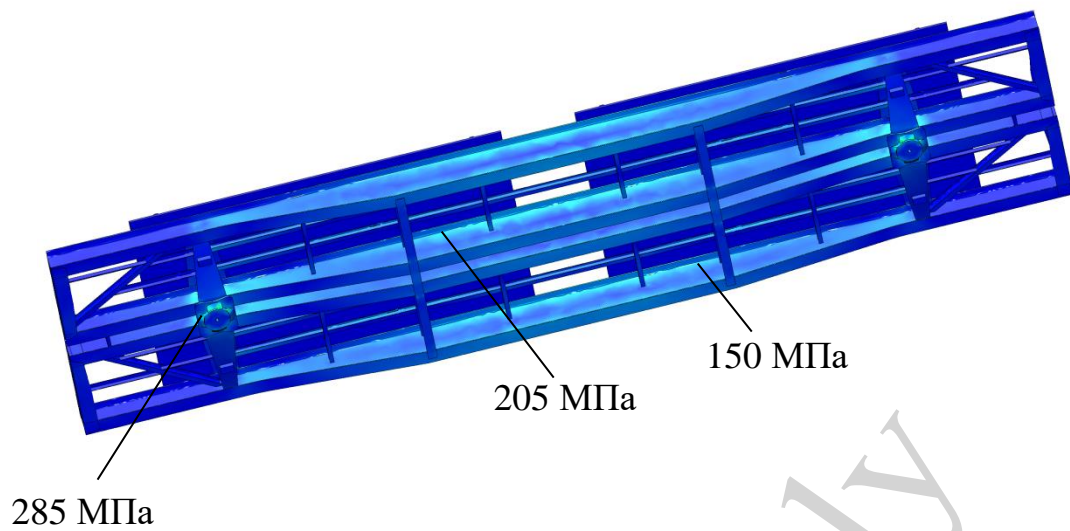
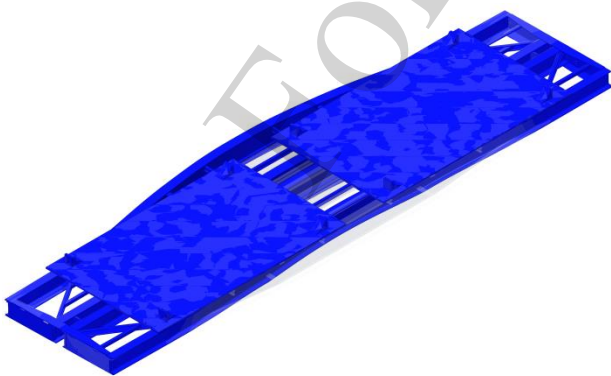


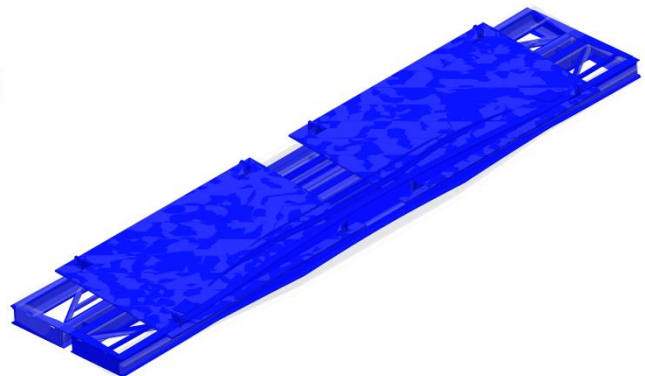
Рис. 10. Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи (вид знизу)

Таблиця 1  
Власні частоти коливань несучої конструкції вагона-платформи

Форма коливань	Частота, Гц	Період, с
1	19,52	0,051
2	23,95	0,041
3	25,8	0,038
4	30,27	0,034
5	30,63	0,033
6	31,1	0,032
7	31,18	0,031
8	31,44	0,030
9	37,3	0,027
10	39,36	0,025



*a*



*б*

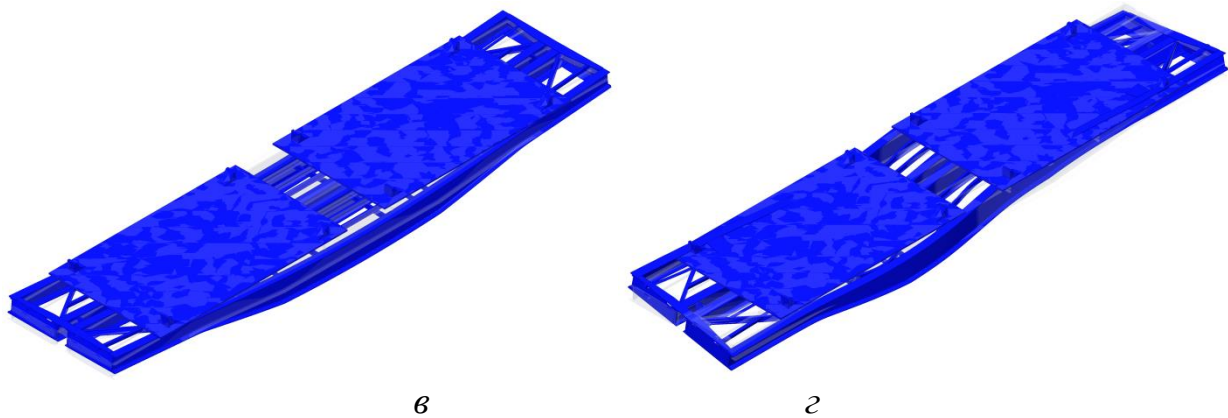


Рис. 11. Форми коливань несучої конструкції вагона-платформи: *a* – перша власна частота (масштаб деформації 25:1); *б* – друга власна частота (масштаб деформації 15:1); *в* – третя власна частота (масштаб деформації 15:1); *г* – дев'ята власна частота (масштаб деформації 15:1)

## 7. Обговорення результатів визначення особливостей навантаженості удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи для перевезення військової техніки

Особливістю вагона-платформи, яка запропонована в даній роботі, є наявність поворотних секторів для можливості здійснення бокового завантаження/вивантаження військової техніки. Поворотні сектори виготовлені з композитного матеріалу з в'язкими або пружно-в'язким зв'язками, що дозволяє поглинати кінетичну енергію, яка передається на раму при веденні вогню з вагону (рис. 1).

Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогню з нього. При цьому прийнято припущення, що вогняна дія ведеться з двох зенітних установок одночасно.

Встановлено, що наявність в'язкого зв'язку між поворотними секторами та вагоном-платформою зменшує динамічну навантаженість несучої конструкції майже на 30 % у вертикальній площині в порівнянні з жорстким зв'язком (рис. 4, 5).

Запропоновані технічні рішення сприятимуть зменшенню динамічної навантаженості вагонів-платформ при веденні вогняної дії з них. Також результати досліджень сприятимуть створенню інноваційних конструкцій вагонів-платформ.

Для забезпечення міцності несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії проведений розрахунок на міцність. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несучих елементах рами не перевищують допустимі для сталі 09Г2С (рис. 9, 10).

Обмеженням даного дослідження є те, що на даному етапі не розглянуті питання можливості здійснення вогняної дії з військової техніки, яка має більшу дульну енергію за зенітні установки. Також не враховано вплив стахостичності пострілів з зенітних установок на динамічну навантаженість несучої конструкції вагона.



Важливо зазначити, що при подальших дослідженнях необхідним є урахування випадковості коливального процесу, обумовленого нерівністю колії. Також необхідним є дослідження впливу перехідних процесів руху вагона-платформи на динамічну навантаженість.

## **8. Висновки**

1. Створено несучу конструкцію вагона-платформи для перевезення військової техніки та ведення вогняної дії при русі. Особливістю несучої конструкції вагона-платформи є наявність поворотних секторів з композитного матеріалу з в'язким або пружно-в'язким зв'язками, що дозволяє поглинати кінетичну енергію, яка передається на раму при веденні вогню з вагону, а також дає можливість здійснювати бокове завантаження/вивантаження військової техніки.

2. Досліджено динаміку вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього. Враховано, що вагон-платформа завантажений двома зенітними установками з дульною енергією 89 кДж кожна.

Дослідження проведені у плоскій системі координат. Враховано, що постріл здійснюється при проходженні вагона через стикову нерівність. При цьому здійснюється повздовжнє навантаження автозцепного пристрою. Прийнято, що коефіцієнт в'язкого опору між поворотним сектором та несучою конструкцією вагона-платформи складає 150 кН·с/м.

Прискорення, які діють в центрі мас несучої конструкції вагона-платформи при коливаннях підсакування склали  $3,6 \text{ м/с}^2$ , при коливаннях галопування –  $4,0 \text{ м/с}^2$ .

Отже з урахуванням встановлення в'язкого зв'язку між поворотним сектором та несучою конструкцією вагона-платформи стає можливим знизити динамічну навантаженість при пострілі з зенітних установок у вертикальній площині майже на 30 % у порівнянні з типовою конструкцією.

3. Визначено основні показники міцності несучої конструкції вагона-платформи при веденні вогняної дії з нього. Максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції вагона-платформи складають близько 285 МПа та виникають у зоні обпирання несучої конструкції на візки. Тобто міцність несучої конструкції вагона-платформи забезпечується.

Визначено власні частоти коливань несучої конструкції вагона-платформи. Встановлено, що значення власних частот коливань знаходяться в межах допустимих.

Проведені дослідження сприятимуть створення інноваційних конструкцій вагонів-платформ.

## **Подяка**

Дані дослідження проведені в рамках наукової теми молодих вчених “Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів”, яка виконується за рахунок коштів державного бюджету України з 2020 р.

## Література

1. Reidemeister, O. H., Kalashnyk, V. O., Shykunov, O. A. (2016). Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2 (62), 148–156. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2016/67334>
2. Кельріх, М. Б., Федосов-Ніконов, Д. В. (2016). Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*, 1 (225), 90–94.
3. Донченко, А. В., Федосов-Ніконов, Д. В. (2016). Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології*, 28, 53–60.
4. Šťastniak, P., Kurčík, P., Pavlík, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235, 00030. doi: <https://doi.org/10.1051/mateccconf/201823500030>
5. Wiesław, K., Tadeusz, N., Michał, S. (2016). Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. *Transportation Research Procedia*, 14, 615–624. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.307>
6. Ермоленко, И. Ю., Железняк, В. Н. (2016). Исследование динамики подвижного состава с использованием экспериментального вагона-лаборатории при движении по сложным участкам дороги ВСЖД. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*, 4 (52), 199–203.
7. Divya Priya, G., Swarnakumari, A. (2014). Modeling and analysis of twenty tonnes heavy duty trolley. *International Journal of Innovative Technology and Research*, 2 (6), 1568–1580.
8. Чепурной, А. Д., Литвиненко, А. В., Шейченко, Р. И., Граборов, Р. В., Чубань, М. А. (2015). Ходовые прочностные и динамические испытания вагона-платформы. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Машинознавство та САПР*, 31 (1140), 111–128.
9. Дьомін, Ю. В., Черняк, Г. Ю. (2003). *Основи динаміки вагонів*. Київ: КУЕТТ, 269.
10. Fomin, O., Lovska, A., Masliyev, V., Tymbaliuk, A., Burlutski, O. (2019). Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 33–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154282>
11. Fomin, O. (2015). Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 45–48.
12. Lovskaya, A., Ryibin, A. (2016). The study of dynamic load on a wagon–platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (81)), 4–8. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054>
13. Fomin, O. V., Burlutsky, O. V., Fomina, Yu. V. (2015). Development and application of cataloging in structural design of freight car building. *Metallurgical and Mining Industry*, 2, 250–256.

14. Kučera, P., Píštěk, V. (2017). Testing of the mechatronic robotic system of the differential lock control on a truck. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14 (5), 172988141773689. doi: <https://doi.org/10.1177/1729881417736897>
15. Алямовский, А. А. (2007). *SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов*. Москва, 784.
16. Алямовский, А. А. (2010). *COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks*. Москва, 785.
17. Lovska, A. (2018). Simulation of Loads on the Carrying Structure of an Articulated Flat Car in Combined Transportation. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 140–146. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19724>
18. Fomin, O., Gerlici, J., Lovska, A., Kravchenko, K., Prokopenko, P., Fomina, A., Hauser, V. (2019). Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry. *Communications-Scientific Letters of the University of Zilina*, 21 (1), 28–34.
19. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) (2015). Київ, 162.
20. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам (2016). Москва, 54.
21. BS EN 12663-2. Railway applications. Structural requirements of railway vehicle bodies. Freight wagons (2010). British Standards Document. doi: <https://doi.org/10.3403/30152552u>