

УДК [629.463.62:656.073.235]-047.58

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ЗЧЛЕНОВАНОГО ТИПУ З КОНТЕЙНЕРАМИ

Ловська А.О.

THE FEATURES MODELING OF DYNAMIC LOADS AT A FLAT WAGON WITH CONTAINERS

Lovskaya A.

В статті наведені результати досліджень динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами при експлуатаційних режимах навантаження. Визначено максимальні величини прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами шляхом математичного та комп'ютерного моделювання їх переміщень при дії поєднаної сили на передній упор автотягача пристрою. Адекватність розроблених моделей перевірено за критерієм Фішера. Проведені розрахунки дозволили зробити висновок про адекватність отриманих результатів.

Ключові слова: вагон-платформа зчленованого типу; несуча конструкція; динаміка; моделювання; прискорення; навантаженість конструкції; комбіновані перевезення.

Вступ. Розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних послуг, а також підвищення ефективності його функціонування вимагає створення рухомого складу нового покоління з підвищеними техніко-економічними показниками, а також комбінованих транспортних систем.

Недостатній рівень поповнення вагонного парку Укрзалізниці за останні роки зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових технічних рішень щодо удосконалення несучих конструкцій кузовів вагонів для здійснення потреб у перевезеннях завданої номенклатури вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості розробки швидкісного зчленованого вагона-платформи для перевезення контейнерів наведені у [1]. Прийняті технічні рішення при проектуванні вагона-платформи дозволяють здійснювати одночасне перевезення на ньому двох 40- або 45-футових контейнерів чи чотирьох 20-футових.

Моделювання міцності рами вагона-платформи з урахуванням розміщення на ній автомобільного напівприцепу проводиться у [2]. У роботі запропоновано розрахункову схему, яка дозволяє отримати уточнені значення напружень у несучій конструкції вагона-платформи.

Дослідження міцності вагона-платформи при статичній та динамічній навантаженості його конструкції наведені у [4], при цьому використані експериментальні методи, зокрема – електричного тензометрування.

В розглянутих роботах не приділяється уваги дослідженню динаміки вагона-платформи при експлуатації відносно рейкової колії.

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

Дослідження динаміки вагона-платформи з використанням методів мульти-тіла 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.

Дослідження динаміки залізничного вагона з відкритою завантажувальною платформою наведені в [6]. Розрахунок проведений у середовищі програмного забезпечення MSC Adams. При цьому дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося при його вписуванні у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху.

Питання моделювання міцності несучої конструкції вагона-платформи в зазначених роботах не розглянуті.

Мета статті. Висвітлення особливостей моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для підвищення ефективності контейнерних перевезень на кафедрі вагонів УкрДУЗТ (м. Харків) розроблено несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу на базі типового вагона-платформи моделі 13-401, побудови Дніпродзержинського вагонобудівного заводу (рис. 1).

Для дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу використано математичну модель, наведену у [7], де проводиться визначення прискорень контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при дії на нього по-вздожньої сили від вагона-бойка.

При цьому для визначення прискорень несучої конструкції вагона-платформи, як складової її динамічного навантаження, дана модель доопрацьована шляхом урахування переміщень двох секцій вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження. Також в ній скасовані пружні зв'язки між контейнерами та несучою конструкцією вагона-платформи, що обумовлено меншою довжиною секції, створеної на базі типового вагона-платформи моделі 13-401 у порівнянні з довгобазним вагоном-платформою, динаміка якого досліджувалася у [7].

У якості досліджуваної моделі контейнера обраний універсальний контейнер типорозміру 1СС. Контейнер розглянутий як прикріплена маса віднос-

но рами вагона-платформи. Тобто, контейнер повністю повторює траєкторію переміщення вагона-платформи. Зв'язок між рамою вагона-платформи та фітінгами контейнера імітувався як жорсткий.

Дослідження коливань вагона-платформи з контейнерами здійснювалося у поєднаній поєднаній площині. Вагон-платформа з контейнерами розглянутий у вигляді плоскої розрахункової схеми.

При складанні математичної моделі враховано, що кожна секція вагона-платформи має власну ступінь вільності, оскільки конструкційні особливості пристрою зчленування дозволяють здійснювати їх переміщення у просторі [8, 9].

Схема дії поєднаній сили на вагон-платформу зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при відсутності можливих переміщень фітінгів відносно фітінгових упорів наведен на рис. 2.

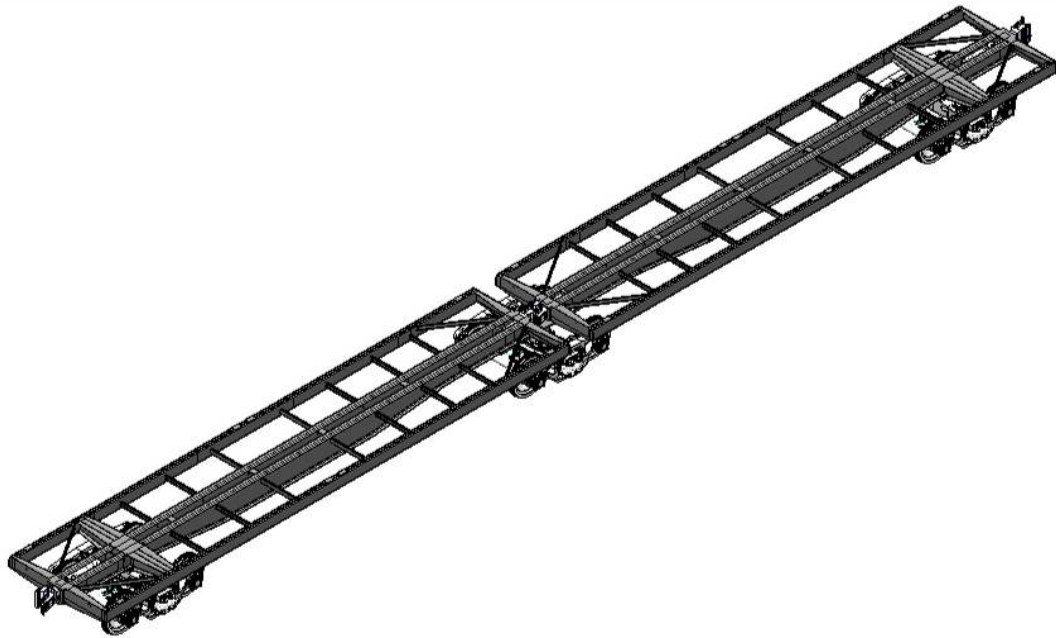


Рис. 1. Вагон-платформа зчленованого типу

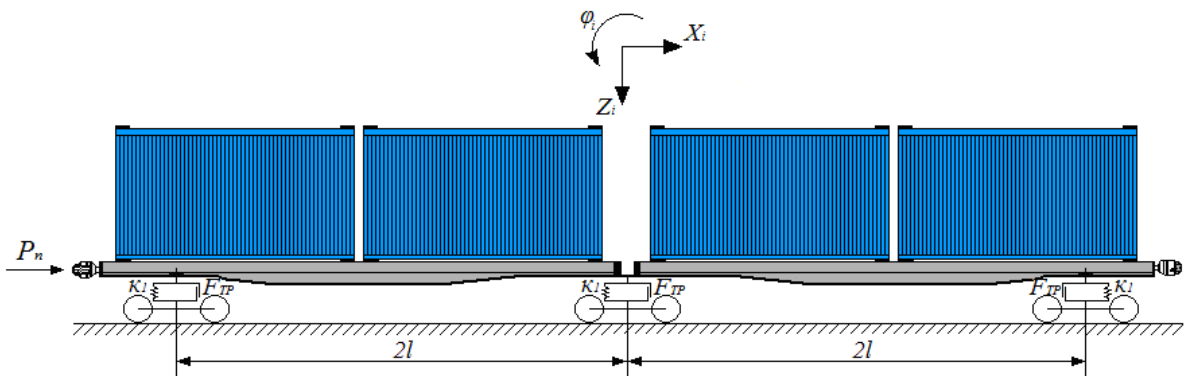


Рис. 2. Схема дії поєднаній сили на вагон-платформу зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому

$$M'_{\Pi L_1} \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) + M_{\Pi L_1} \cdot h \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_1} = P_n, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} I_{\Pi L_1} \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_1} + M_{\Pi L_1} \cdot h \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) - \\ - g \cdot \varphi_{\Pi L_1} \cdot M_{\Pi L_1} \cdot h = \\ = l \cdot F_{TP} \left(\text{sign} \dot{\Delta}_1^{\Pi L_1} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{\Pi L_1} \right) + \\ + l \left(k_1 \cdot \dot{\Delta}_1^{\Pi L_1} - k_2 \cdot \dot{\Delta}_2^{\Pi L_1} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} M_{\Pi L_1} \cdot \ddot{z}_{\Pi L_1} = k_1 \cdot \Delta_1^{\Pi L_1} + k_2 \cdot \Delta_2^{\Pi L_1} - \\ - F_{TP} \left(\text{sign} \dot{\Delta}_1^{\Pi L_1} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{\Pi L_1} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

$$m_i \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_1} = 0, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} I_i \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_1} + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) - \\ - g \cdot (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \varphi_{\Pi L_1} = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$m_i \cdot \ddot{z}_{\Pi L_1} = 0 \quad (6)$$

$$M'_{\Pi L_2} \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) + M_{\Pi L_2} \cdot h \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_2} = 0, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} I_{\Pi L_2} \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_2} + M_{\Pi L_2} \cdot h \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) - \\ - g \cdot \varphi_{\Pi L_2} \cdot M_{\Pi L_2} \cdot h = \\ = l \cdot F_{TP} \left(\text{sign} \dot{\Delta}_1^{\Pi L_2} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{\Pi L_2} \right) + \\ + l \left(k_1 \cdot \dot{\Delta}_1^{\Pi L_2} - k_2 \cdot \dot{\Delta}_2^{\Pi L_2} \right), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} M_{\Pi L_2} \cdot \ddot{z}_{\Pi L_2} = k_1 \cdot \Delta_1^{\Pi L_2} + k_2 \cdot \Delta_2^{\Pi L_2} - \\ - F_{TP} \left(\text{sign} \dot{\Delta}_1^{\Pi L_2} - \text{sign} \dot{\Delta}_2^{\Pi L_2} \right), \end{aligned} \quad (9)$$

$$m_i \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_2} = 0, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} I_i \cdot \ddot{\varphi}_{\Pi L_2} + (m_i \cdot z_{ci}) \cdot (\ddot{x}_{\Pi L_1} - \ddot{x}_{\Pi L_2}) - \\ - g \cdot (m_i \cdot z_{ci}) \cdot \varphi_{\Pi L_2} = 0, \end{aligned} \quad (11)$$

$$m_i \cdot \ddot{z}_{\Pi L_2} = 0 \quad (12)$$

де

$$\Delta_1^i = z_{\Pi L_i} - l \cdot \varphi_{\Pi L_i}; \quad \Delta_2^i = z_{\Pi L_i} + l \cdot \varphi_{\Pi L_i}$$

$M'_{\Pi L_i}$ – маса-брутто i -ої секції вагона-платформи; $M_{\Pi L_i}$ – маса несучої конструкції i -ої секції вагона-платформи; $I_{\Pi L_i}$ – момент інерції i -ої секції вагона-платформи; P_n – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп; l – половина бази секції вагона-платформи; F_{TP} – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті; k_1, k_2 –

жорсткість пружин ресорних комплектів візків вагона-платформи (візок моделі 18-100); m_i – маса контейнера; z_{ci} – висота центру ваги контейнера; I_i – момент інерції i -го контейнера; x_i, φ_i, z_i – координати, що визначають переміщення секцій вагона-платформи відносно відповідних вісей.

Величина повздовжньої сили, що діє на несучу конструкцію вагона-платформи, прийнята рівною 2,5 МН [10]. Розв'язання диференціальних рівнянь здійснено за допомогою метода Рунге-Кутта в середовищі програмного забезпечення MathCad [11, 12].

Результати досліджень дозволили зробити висновок, що прискорення, які приходяться на несучу конструкцію першої з боку дії сили секції вагона-платформи складають 36,4 м/с², а другої – близько 37 м/с² (рис. 3).

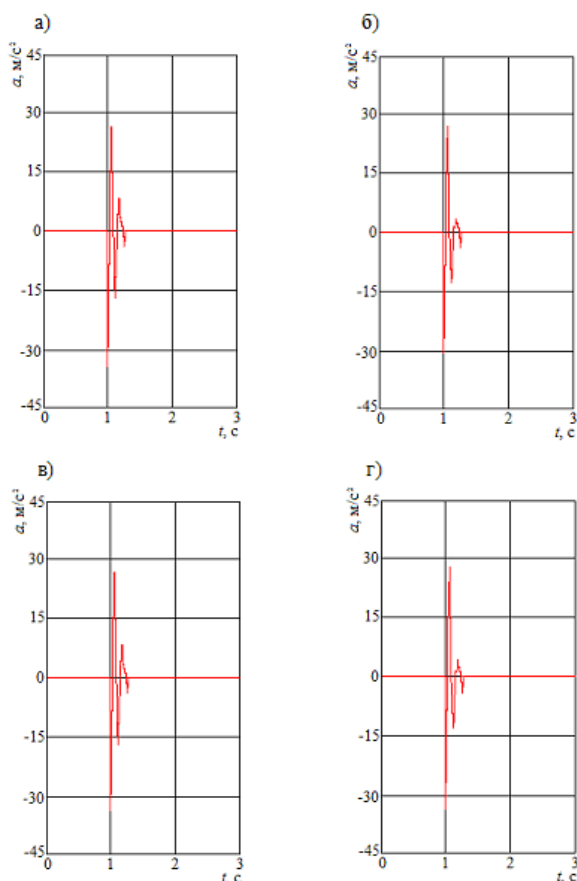


Рис. 3. Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при I розрахунковому режимі (розтягнення-ривок):

а – перша з боку дії повздовжньої сили секція вагона-платформа; б – контейнер, розміщений на першій з боку дії повздовжньої сили секції вагона-платформи;

в – друга з боку дії повздовжньої сили секція вагона-платформа; г – контейнер, розміщений на другій з боку дії повздовжньої сили секції вагона-платформи

Чисельні значення прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при

експлуатаційних режимах навантаження використані при дослідженні міцності несучої конструкції, як складові динамічного навантаження, що діють на неї.

З метою апробації теоретичних величин прискорень, які діють на удосконалену несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу проведено комп'ютерне моделювання в середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. При цьому до уваги прийняті основні види навантажень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зчленованого типу в експлуатації [10].

Розрахунок виконано за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ).

При складанні скінченно-елементної моделі (СЕМ) використані просторові ізопараметричні тетраедри. Оптимальна кількість елементів сітки визначена за графоаналітичним методом. При цьому кількість вузлів сітки склала 159742, елементів – 479776. 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 – 37510, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 10,5, більше 10 – 41,5.

При складанні моделі міцності враховано, що на несучу конструкцію вагона-платформи окрім повздовжньої сили P_n діють вертикальні зусилля у зонах обпирання контейнерів на фітингові упори P_{yn}^e (рис. 4). Враховано, що на контейнер діє вертикальна реакція у зоні обпирання фітинга на фітинговий упор P_{yn}^e . При складанні комп'ютерної моделі не враховано дію вантажу, розміщеного у контейнері на його стіни, а також повздовжнє переміщення контейнера відносно плити фітингового упору вагона-платформи, обумовленого наявністю технологічного зазору.

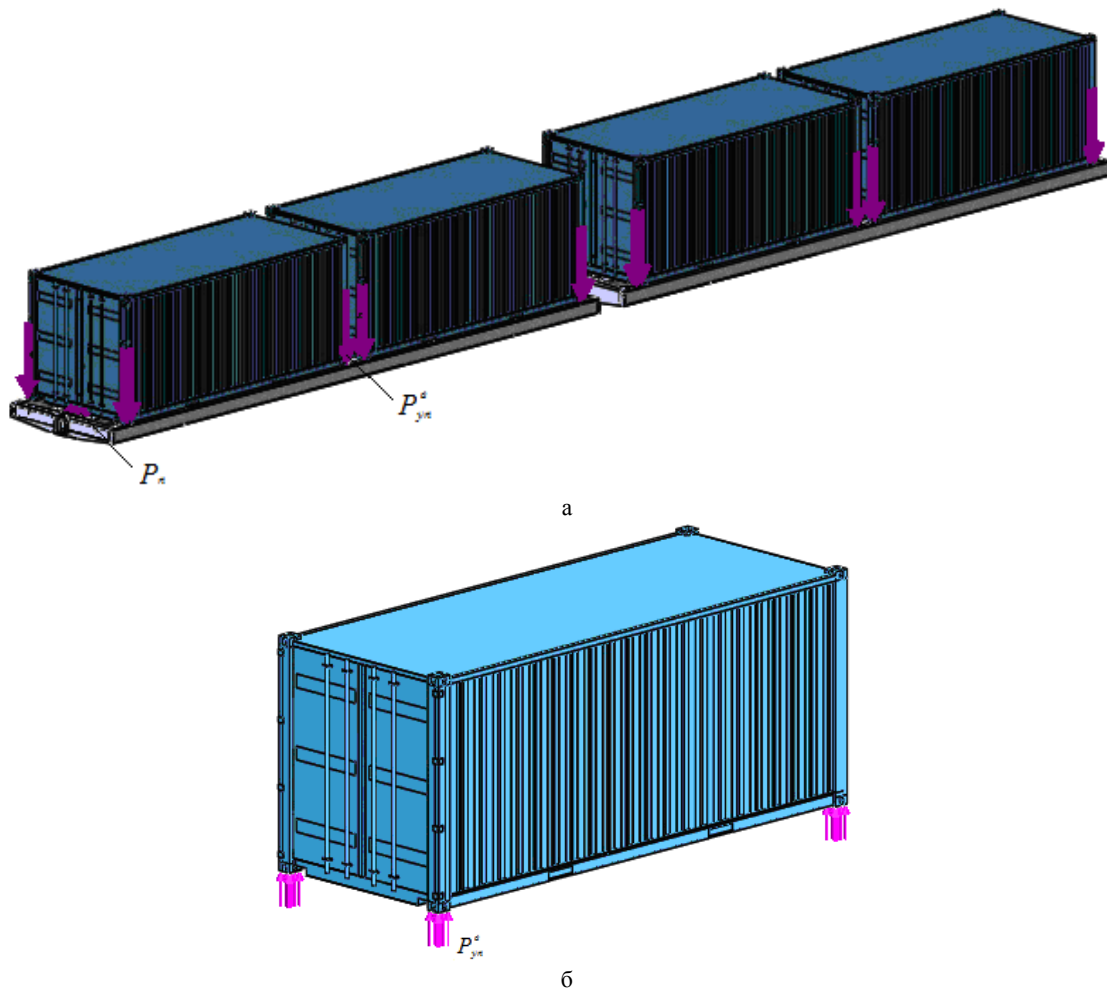


Рис. 4. Модель міцності удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при дії повздовжньої сили на передній упор автозчепу:
а – загальний вид; б – дія вертикальної реакції на фітинг контейнера від опорної площини фітингового упору

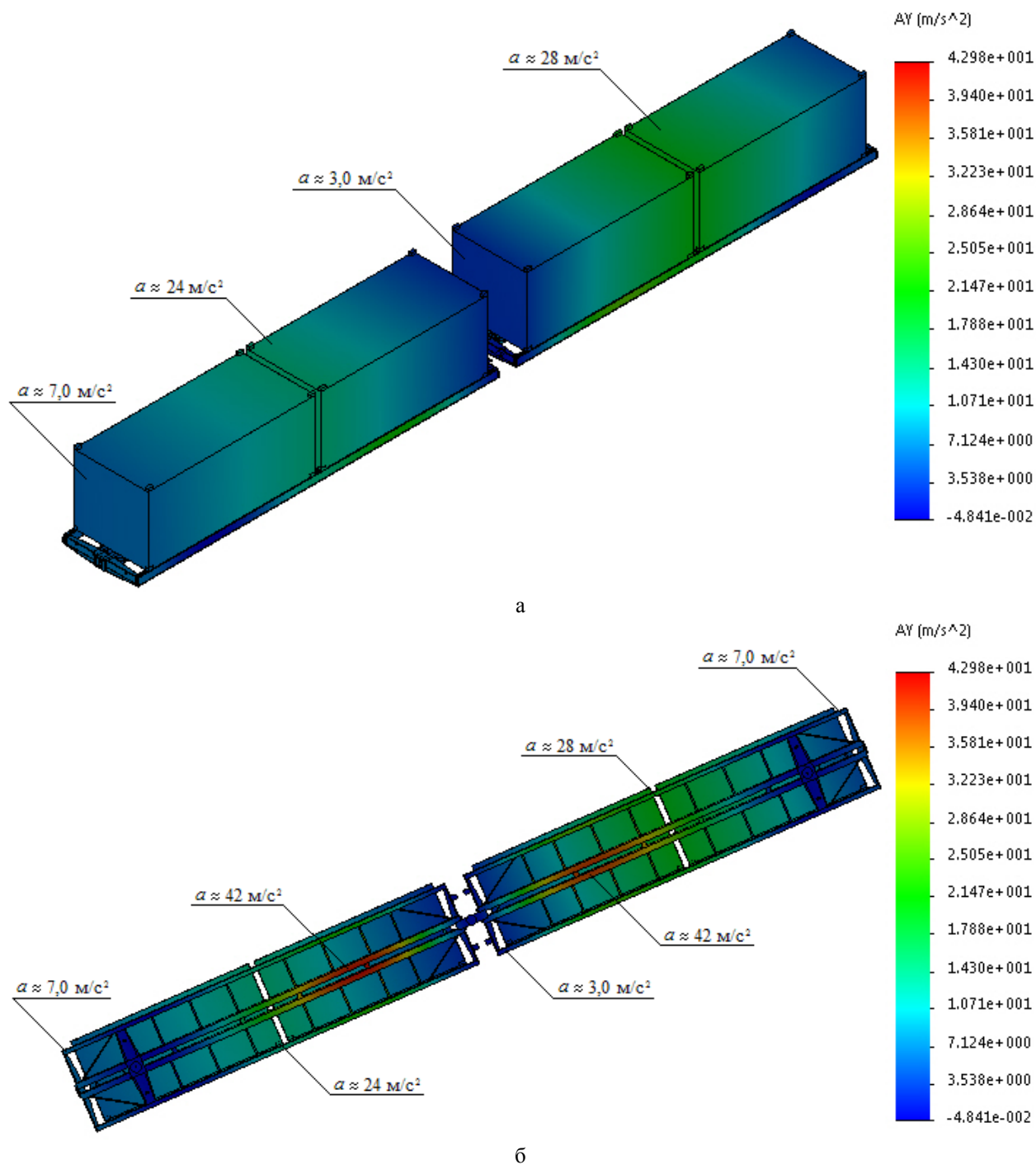


Рис. 5. Прискорення удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами, розміщеними на ньому при дії поєздовжньої сили на передній упор автозчепу:
а – загальний вид; б – вид знизу

Закріплення моделі здійснювалося у зонах обпирання несучої конструкції вагона-платформи на візки. В якості матеріалу несучої конструкції вагона-платформи та контейнерів застосована сталь марки 09Г2С зі значенням межі міцності $\sigma_b = 490$ МПа та межі плинності $\sigma_r = 345$ МПа.

Результати комп'ютерного моделювання наведені на рис. 5.

З проведених досліджень можна зробити ви-

сновок, що максимальні прискорення, які діють на вагон-платформу зчленованого типу складають близько 45 м/с^2 , для контейнера значення прискорень склали близько 30 м/с^2 .

З метою перевірки адекватності розробленої моделі використаний критерій Фішера.

Встановлено, що модель, яка розглядається, є лінійною та характеризує зміну прискорень вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому від поєздовжньої сили, що діє на передній упор ав-

тозчепу. При цьому кількість ступенів вільності при $N = 5$ буде складати $f_1 = 3$.

При визначенні адекватності моделі встановлено, що при дисперсії відтворюваності $S_y^2 = 1,15$ та дисперсії адекватності $S_{ad}^2 = 2,17$, фактичне значення критерію Фішера $F_p = 1,88$, що менше табличного значення критерію $F_t = 5,41$. Отже гіпотеза про адекватність розробленої моделі не заперечується. Похибка апроксимації при цьому склала 4,85 %.

Отримані величини динамічних навантажень враховані при дослідженні міцності несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу. Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження при дії повздовжньої сили у 2,5 МН на передній упор автозчепного пристрою зосереджені в зоні взаємодії шворневої балки з хребтовою та складають близько 330 МПа, що не перевищує допустиме значення [10], максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині основних повздовжніх балок рами та складають 64,5 мм, деформації в конструкції становлять $2,026 \cdot 10^{-2}$.

Для визначення коефіцієнту запасу опору втоми удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах її навантаження проведені відповідні розрахунки.

Коефіцієнт запасу опору втоми несучої конструкції вагону-платформи

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\varepsilon}}, \quad (13)$$

де $\sigma_{a,N}$ – межа витривалості за амплітудою несучої конструкції при базовому числі циклів $N = 10^7$, МПа;

$\sigma_{a,\varepsilon}$ – приведена амплітуда динамічного напруження, еквівалентна за пошкоджуючою дією розподілення амплітуд напружень за розрахунковий ресурс несучої конструкції, МПа.

Межа витривалості за амплітудою несучої конструкції при базовому числі циклів розраховується:

$$\sigma_{a,N} = \frac{\bar{\sigma}_M}{K_\sigma}, \quad (14)$$

де $\bar{\sigma}_M$ – середнє значення межі витривалості базового матеріалу при базовому числі циклів $N = 10^7$ (для сталі $\bar{\sigma}_M = 47$ МПа);

K_σ – коефіцієнт зниження межі витривалості.

Приведена амплітуда динамічного напруження, еквівалентна за пошкоджуючою дією розподілення амплітуд напружень за розрахунковий ресурс несучої конструкції визначається:

$$\sigma_{a,\varepsilon} = m_1 \sqrt{\frac{1}{N_0} \left(\sum n_i \cdot \sigma_{a,i}^{m_1} + \sigma_{a,N}^{(m_1-m_2)} \cdot \sum n_j \cdot \sigma_{a,j}^{m_2} \right)}, \quad (15)$$

де $\sigma_{a,N}$ – межа витривалості за амплітудою (точка перелому кривої витривалості для великих та малих амплітуд напружень) при базовому числі циклів $N = 10^7$, МПа;

m_1 – показник ступеня першої гілки кривої втоми (для зварювальних з'єднань $m_1 = 3$);

m_2 – показник ступеня другої гілки кривої втоми (для зварювальних з'єднань $m_2 = 5$);

$\sigma_{a,i}$ – амплітуда динамічного напруження, $\sigma_{a,i} \geq \sigma_{a,N}$, МПа;

n_i – кількість циклів амплітуд динамічного напруження $\sigma_{a,i}$;

$\sigma_{a,j}$ – амплітуда динамічного напруження, $\sigma_{a,j} < \sigma_{a,N}$, МПа;

n_j – кількість циклів амплітуд динамічного напруження $\sigma_{a,j}$.

Кількість циклів амплітуд динамічного напруження визначається:

$$n_k = T_p \cdot M_{1,k}, \quad (16)$$

де T_p – розрахунковий ресурс несучої конструкції вагона, роки;

k – лічильник номерів рівнів значення сили;

$M_{1,k}$ – кількість прикладень сили рівня k в рік.

На підставі проведених розрахунків при $N = 10^7$, $\sigma_{a,N} = 47$ МПа та $\sigma_{a,\varepsilon} = 23,7$ МПа отримано $n = 1,98$, що вище $[n] = 1,5$, отже коефіцієнт запасу опору втоми забезпечується.

Проведені дослідження можуть сприяти підвищенню ефективності експлуатації контейнерних перевезень у міжнародному сполученні шляхом впровадження вагонів-платформ зчленованого типу, створених на базі існуючих конструкцій.

Висновки:

1. Визначено максимальні величини прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому при експлуатаційних режимах навантаження;

2. Визначено коефіцієнт запасу опору втоми удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах її навантаження. Проведені розрахунки показали, що розрахункове значення коефіцієнту запасу опору втоми перевищує допустиме;

3. Проведені дослідження сприятимуть створенню вагонів-платформ зчленованого типу для перевезення контейнерів та підвищенню ефективності

комбінованого транспорту в напрямку міжнародних транспортних коридорів.

Література

1. Кожокар, К. В. Особенности разработки скоротного сочлененного вагона-платформы для перевозки контейнеров / К. В. Кожокар // Трансп. Рос. Федерации. – 2013. – № 3. – С. 21–24.
2. Бондарь, А. И. Теоретическая и экспериментальная оценка прочности вагона-платформы для перевозки автомобильных полуприцепов / А. И. Бондарь, А. Ю. Панин // Трансп. Рос. Федерации. – 2014. – № 3. – С. 33–35.
3. WBN Waggonbau Niesky GmbH: Developing a flexible platform of freight wagons // Intern. Edition. – 2016. – № 1. – P. 46.
4. Sandu, N. Static and dynamic tests performed on a flat wagon / N. Sandu, N. L. Zaharia // Problemy koleynictwa. – 2014. – Z. 163 (2014). – P. 67–77.
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. Niezgoda, T. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software / T. Niezgoda, W. Krasoń, M. Stankiewicz // J. of KONES. Powertrain and Transport. – 2015. – Vol. 19. – Iss. 4. – P. 495–502. doi: 10.5604/12314005.1138622.
7. Nagruzhennost konteynerov-tsistern, raspolozhennykh na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarah v avtostsepku / G. I. Bogomaz, D. D. Mehov, O. P. Pilipchenko, Yu. G. Chernomashentseva // Zb. nauk. prats “Dinamika ta keruvannya ruhom mehanichnih sis-tem” – KiYiv: ANU, Institut tehnichnoyi mehaniki, 1992. – S. 87–95.
8. Boronenko Yu. P. Vybor konstruktivnykh resheniy sochlenennykh gruzovykh vagonov dlya kolei 1520 mm / Yu. P. Boronenko, T. M. Belgorodtseva, N. A. Kukushina // Transport Rossiyskoy Federatsii. – №3(46), 2013. – S. 3–9.
9. Innovatsionnoe reshenie – 120-futovaya platforma sochlenennogo tipa dlya perevozki trekh 40-futovykh krupnotonnazhnykh konteynerov / Yu. P. Boronenko, T. M. Belgorodtseva, S. G. Vasilev, N. V. Smirnov // Transport Rossiyskoy Federatsii. – №5 (24), 2009. – S. 56–59.
10. Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesa-mohodnykh). – M.: GosNIIV – VNIIZhT, 1996. – 319 s.
11. Dyakonov V. MATHCAD 8/2000: spetsialnyiy spravochnik / V. Dyakonov. – SPb: Piter, 2000. – 592 s.
12. Kiryanov D. V. Mathcad 13 / D.V. Kiryanov. – SPb.: BHV – Peterburg, 2006. – 608 s.

Ловская А. А. Особенности моделирования динамической нагруженности вагона-платформы с контейнерами.

В статье представлены результаты исследований динамической нагруженности вагона-платформы сочлененного типа с контейнерами при эксплуатационных режимах нагружения. Определены максимальные величины ускорений, которые действуют на несущую конструкцию вагона-платформы с контейнерами путем математического и компьютерного моделирования их перемещений при действии продольной нагрузки на передний упор автосцепного устройства. Адекватность разработанных моделей проверена по критерию Фишера. Проведенные расчеты позволили сделать вывод о адекватности полученных результатов.

Ключевые слова: вагон-платформа сочлененного типа; несущая конструкция; динамика; моделирование; ускорения; нагружение конструкции; комбинированные перевозки.

Lovskaya A. The features modeling of dynamic loads at a flat wagon with containers.

Increased rates of Ukraine's integration into the system of international transport corridors suggest the need to create combined transport systems, among which one of the most successful is container transportation. In order to improve container transportation efficiency along international transport corridors running through Ukraine, a coupled flat

wagon has been designed on the base of an improved flat wagon structure. The mathematical simulation of dynamic loads of a flat wagon with containers (two ICC containers) at operational loading modes has been carried out, the maximum accelerations influencing the support structure have been defined, and the multiple values have been considered in computer simulation of the coupled tank wagon capacity. Results of the research can be used in designing coupled flat wagons to provide their capacity at mixed transportation.

Keywords: a coupled flat wagon, support structure, dynamics, modeling, acceleration, structure loading, *combined* transportation.

Ловська А. О. – к.т.н., доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, e-mail: alyonalovskaya.vagons@gmail.com.

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 15.03.2017