

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

УДК 629.463.62

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА, РОЗМІЩЕНОГО НА ВАГОНІ-ПЛАТФОРМІ ПРИ ПРУЖНО-В'ЯЗКІЙ ВЗАЄМОДІЇ ФІТИНГІВ З ФІТИНГОВИМИ УПОРАМИ

Канд. техн. наук А. О. Ловська

DETERMINATION OF LOADING FOR A CONTAINER LOCATED ON A FLAT WAGON UNDER VISCO-ELASTIC INTERACTION BETWEEN FITTINGS AND FITTING STOPS

PhD (Tech.) A. O. Lovska

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.184.2019.171446>

У статті наведені результати визначення навантаженості несучої конструкції контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні. Для забезпечення міцності контейнера при експлуатаційних режимах навантаження запропоновано постановку у фітинги пружно-в'язкого зв'язку. Доцільність запропонованих рішень підтверджено математичним моделюванням динамічної навантаженості контейнера з подальшим визначенням показників міцності його конструкції. Проведені дослідження сприятимуть створенню контейнерів нового покоління з покращеними техніко-економічними та екологічними показниками.

Ключові слова: контейнер, динамічна навантаженість, міцність, маневрове співударяння, контейнерні перевезення.

The article deals with determination of the dynamic loading of a universal dry cargo container located on a flat wagon under shunting impacts. In order to decrease the impact loads between the fittings of a container and the fitting stops of a flat wagon under shunting impacts when the impact loads exceed the friction force between the horizontal planes of the fittings and fitting stops, the author proposed to install elastic or viscous elements in the fittings of the container.

The mathematical modelling was conducted for determination of the dynamic loads on a container considering the improvements. A ICC type container located on a 13-4012 flat wagon was chosen as a prototype container. The mathematical model considered displacements of the container located on the flat-wagon at shunting impacts, i.e. displacements of the fittings of the container relative to the fitting stops of the flat-wagon. The modelling was conducted for visco-elastic interaction in the fittings of the container. The solution to the differential equations of motion was made in Mathcad by reducing them to the Cauchy form with subsequent integration by the Runge–Kutta method. The optimal parameters of visco-elastic interaction together with their conformity with the dynamic loads to the container were determined. The strength calculation for the container with consideration of measures regarding improvement and determination of dynamic loads were made. The finite-element method in CosmosWorks was used as a calculation method. It was established that the container capacity at shunting impacts was ensured.

The research conducted encourages the development of new generation containers of enhanced performance and better ecological characteristics, and also promotes a higher efficiency of combined transportation.

Keywords: *container, dynamic loading, capacity, shunting impacts, container transportation.*

Вступ. Розвиток зовнішньоекономічної діяльності України з Євразійськими країнами багато в чому залежить від злагодженого функціонування транспортної галузі, однією з найбільш важливих складових якої є залізничний транспорт. Необхідність підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту у міжнародному сполученні викликала створення та введення в експлуатацію контейнерних перевезень.

За даними останніх років простежується постійне підвищення об'ємів перевезень контейнерів в Україні. Так, у 2018 р. АТ «Укрзалізниця» здійснила перевезення 334,963 тис. контейнерів у двадцятифутовому еквіваленті (TEU), що на 13 % більше, ніж у 2017 р. (295,479 тис. TEU) [1].

Водночас підвищується і рівень пошкоджень контейнерів, а також вагонів-платформ, на яких здійснюється їх перевезення. Згідно із зібраним статистичним матеріалом пошкоджень контейнерів у Одеському відділенні філії Центру транспортного сервісу “Ліски” АТ “Укрзалізниця” у 2018 р. близько 12 % від загальної кількості контейнерів мали пошкодження фітінгів, що вище ніж у 2017 р. на 3 %. Стосовно вагонів-платформ – у 2018 р. зафіксовано близько 16 % пошкоджень їх фітінгових упорів, що на 4 % вище ніж у 2017 р.

Тому при створенні контейнерів нового покоління з покращеними техніко-економічними та екологічними показниками необхідним є урахування уточнених величин навантажень, які діють на них, а також прийняття нових інноваційних рішень, спрямованих на зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій як контейнерів, так і вагонів-платформ в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості використання спрощених методів виміру напружено-деформованого стану кузова-контейнера змінного об'єму наведені у [2]. У роботі запропонована схема навантаження та методика випробувань кузовів-контейнерів на поперечний на повздовжній перекосях.

Визначення напружено-деформованого стану кузова-контейнера змінного об'єму проводиться у [3]. Розрахунок здійснений у середовищі програмного забезпечення Ansys. Для перевірки адекватності отриманих результатів проводилися експериментальні дослідження на поперечний перекис контейнера при незначних величинах навантажень.

Заходи щодо удосконалення несучої конструкції контейнера для зменшення його динамічної навантаженості при експлуатаційних режимах у зазначених роботах не наводяться.

Дослідження напружено-деформованого стану кузова-контейнера при підйманні краном та переміщенні волоком проводиться у [4]. Теоретичне визначення показників міцності здійснено у пакеті програмного забезпечення APM WinMachine. Експериментальне дослідження міцності проводилося за допомогою методу електричного тензометрування.

Особливості створення контейнера для перевезення плодоовочевої продукції висвітлені у [5]. У статті наведені вимоги до кузова-контейнера, запропонована його конструкція та проведений розрахунок на міцність за методом скінченних елементів.

Важливо зазначити, що дослідження динамічної навантаженості контейнерів у цих роботах не проводиться, а визначення показників міцності здійснюється з урахуванням нормативних величин навантажень.

Дослідження динамічної навантаженості контейнерів, розміщених на вагоні-платформі, при маневровому співударянні шляхом математичного та комп'ютерного моделювання проводиться у [6]. У статті наведені результати визначення прискорень як складових динамічних навантажень для випадку відсутності зазорів між фітинговими упорами вагона-платформи та контейнерів, а також при їх наявності.

Завдання удосконалення несучої конструкції контейнера для забезпечення його міцності при експлуатаційних режимах навантаження в розглянутій роботі не ставиться.

Дослідження динамічних навантажень, що діють на контейнер-цистерну, розміщену на вагоні-платформі, при маневровому співударянні наведені в [7]. Взаємодія контейнера-цистерни з вагоном-платформою імітувалася пружно-дисипативним зв'язком при повздовжньому навантаженні від вагона-бойка 2200–2800 кН. Вибір параметрів амортизуючого пристрою проводився для випадку коли зазори між фітингами та фітинговими упорами максимальні, а рух наливного вантажу відсутній. Наведена модель ураховує наявність трьох ступенів вільності контейнера.

Максимальна величина повздовжньої сили удару, яка може діяти на вагон-платформу з розміщеним на ньому вантажем, у тому числі контейнерами, при маневровому співударянні становить 3,5 МН [8, 9].

Тому з метою отримання уточненого значення прискорень, які діють на контейнер в експлуатації, необхідним є проведення додаткових досліджень.

Визначення динамічної навантаженості контейнера при експлуатаційних режимах навантаження проведено у [10]. Отримані величини динамічних навантажень ураховано при розрахунках на міцність контейнера в середовищі програмного забезпечення Ansys.

Особливості розрахунку на міцність підлоги 40-футового контейнера у програмному комплексі Abaqus/CAE v 6.1 наведені в [11]. Запропоновані рекомендації щодо безпечної експлуатації цього типу контейнера.

Заходи щодо удосконалення несучих конструкцій контейнерів з метою зменшення їх динамічної навантаженості при маневровому співударянні в розглянутих роботах не запропоновані.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є визначення навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі, при пружно-в'язкій взаємодії фітингів з фітинговими упорами. Для досягнення зазначеної мети поставлені такі завдання:

1. Удосконалення несучої конструкції контейнера з метою зменшення динамічної навантаженості при найбільш несприятливих експлуатаційних режимах.

2. Визначення динамічної навантаженості контейнера з урахуванням заходів щодо удосконалення шляхом математичного моделювання.

3. Визначення показників міцності несучої конструкції контейнера з урахуванням заходів щодо удосконалення.

4. Визначення динамічної навантаженості контейнера з урахуванням заходів щодо удосконалення шляхом комп'ютерного моделювання.

5. Верифікація розроблених моделей.

6. Визначення критичних частот коливань контейнера удосконаленої конструкції, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні.

Основна частина дослідження. Для зменшення ударних навантажень між фітингами контейнера та фітинговими упорами вагона-платформи при маневровому співударянні, якщо динамічне навантаження P_0 перевищує силу тертя між горизонтальними площинами фітингів та фітингових упорів, пропонується постановка у фітинги контейнера пружних елементів (рис. 1).

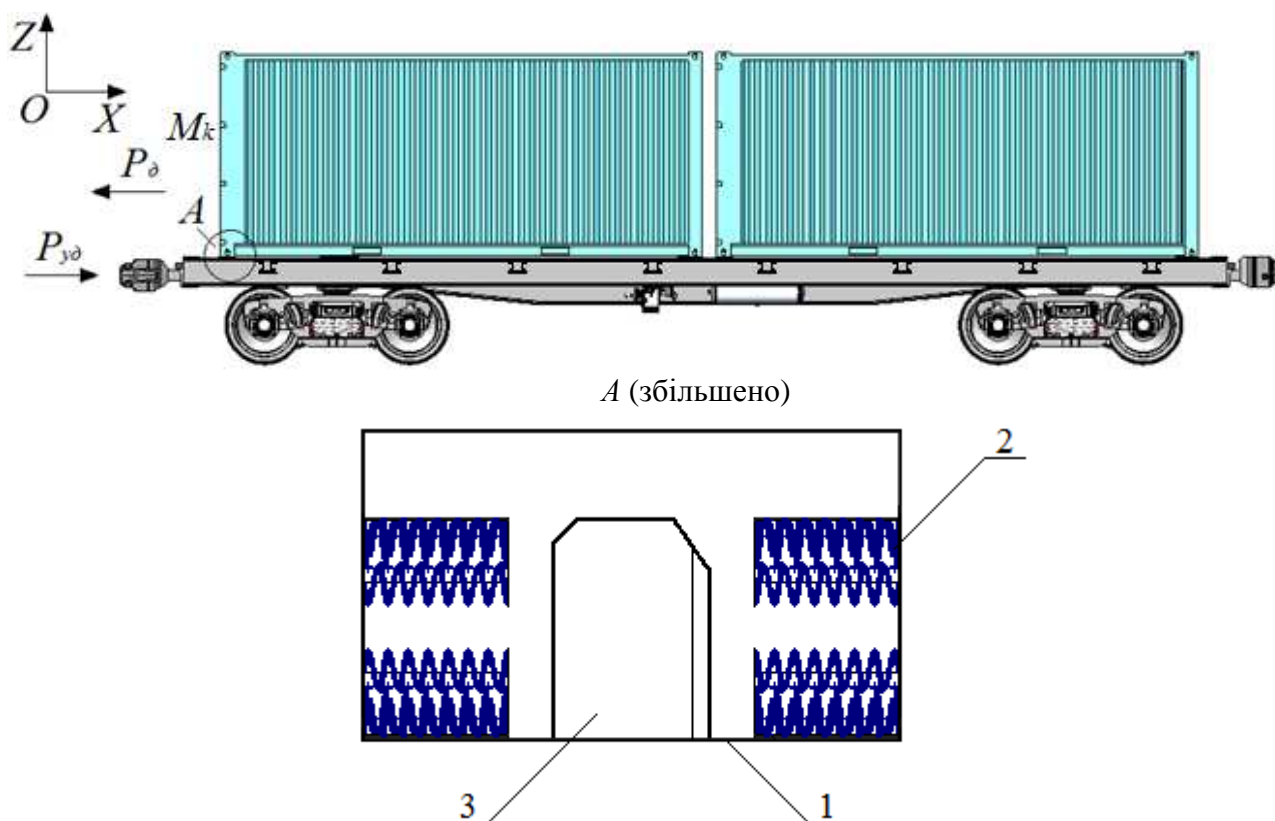


Рис. 1. Схема дії повздовжньої сили на вагон-платформу з контейнерами, розміщеними на ньому: 1 – фітинг; 2 – пружний елемент; 3 – фітинговий упор

Для визначення динамічної навантаженості контейнера при маневровому співударянні з урахуванням заходів щодо удосконалення складено математичну модель (1), яка враховує переміщення контейнера, розміщеного на вагоні-платформі.

Як вагон-прототип обрано вагон-платформу моделі 13-4012М. Дослідження проведені стосовно контейнера типорозміру 1СС.

Схема дії сил між фітингом контейнера та фітинговим упором вагон-платформи при маневровому співударянні з урахуванням заходів щодо удосконалення наведена на рис. 2.

У моделі враховано силу сухого тертя, яка виникає при переміщенні фітингів контейнерів відносно горизонтальних площин фітингових упорів та пружний зв'язок між фітинговими упорами та фітингами [7]. Дослідження

динамічної навантаженості контейнера проводилося у плоскій системі координат.

При складанні моделі прийнято припущення, що контейнер завантажений умовним вантажем з використанням максимально допустимої вантажопідйомності. Тобто в розрахунках ураховано повну вагу бруто контейнера.

Оскільки ударне навантаження, яке дорівнює 3,5 МН, відповідно до [8, 9] прикладається до опорної поверхні заднього упора автозчепу з одного боку вагона та врівноважується повздовжніми силами інерції мас кузова вагона, візків, автозчепів та вантажу, то в моделі не враховано наявність поглинального апарату.

Розв'язання математичної моделі (1) здійснено в середовищі програмного забезпечення MathCad [12, 13]. При цьому вона зводилася до нормальної форми Коші $\dot{y}(t) = Q(t, y)$ [13], де $q_1 = y_1$; $q_2 = y_2$; $\dot{q}_1 = y_3$; $\dot{q}_2 = y_4$.

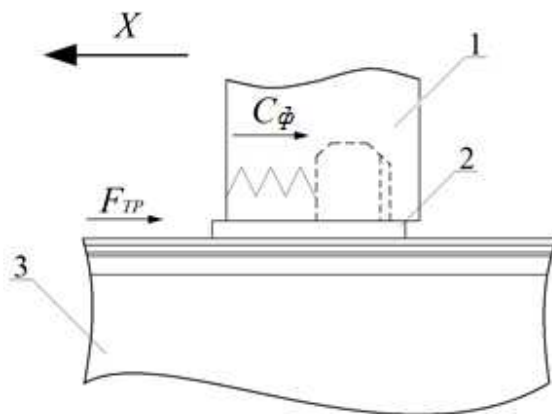


Рис. 2. Схема дії сил між фітингом контейнера та фітинговим упором вагона-платформи при маневровому співударянні з урахуванням заходів щодо удосконалення:
1 – фітинг; 2 – фітинговий упор; 3 – повздовжня балка вагона-платформа

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{повн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y0} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_{\phi} (q_1 - q_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_{\phi} \cdot (q_1 - q_2)), \end{cases} \quad (1)$$

де $M_{ВПФ}^{повн}$ – маса-брутто вагона-платформи;
 P_{y0} – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп; n – кількість контейнерів, розміщених на вагоні-платформі; F_{TP} – сила тертя між фітинговими упорами та фітингами; M_k – маса контейнера; C_{ϕ} – жорсткість пружних елементів у фітингах контейнера; q_1, q_2 – координати, що визначають переміщення, відповідно вагона-платформи та контейнера відносно повздовжньої осі.

Розв’язання системи диференціальних рівнянь (1) у нормальній формі проводилося інтегруванням за методом Рунге-Кутта.

Початкові умови прийняті рівними нулю, при цьому $(y_1 - y_2) < 0,03$ [12].

На підставі проведених розрахунків отримано прискорення, які діють на удосконалену конструкцію контейнера, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні (рис. 3). Ця величина прискорення становить близько 50 м/с^2 ($\approx 5g$), тобто перевищує нормативну величину прискорення на 60 % [15].

$$Q(t, y) = \left| \begin{array}{c} y_3 \\ y_4 \\ \frac{P_{y0} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(y_3 - y_4) + C_{\phi} (y_1 - y_2))}{M_{ВПФ}^{повн}} \\ \frac{F_{TP} \cdot \text{sign}(y_3 - y_4) + C_{\phi} \cdot (y_1 - y_2)}{M_k} \end{array} \right| \quad (2)$$

$$Z = rkfixed(Y0, tn, tk, n', Q),$$

де $Y0$ – вектор, який містить початкові умови; tn, tk – величини, які визначають початкову та кінцеву змінну інтегрування; n' – фіксована кількість кроків; Q – символічний вектор.

Отже, пружний зв'язок між фітингами та фітинговими упорами при цій розрахунковій схемі не компенсує повною мірою величину динамічного навантаження, яке діє на контейнер.

Тому розглянуто випадок в'язкої взаємодії фітингів контейнера з фітинговими упорами вагона-платформи (рис. 4).

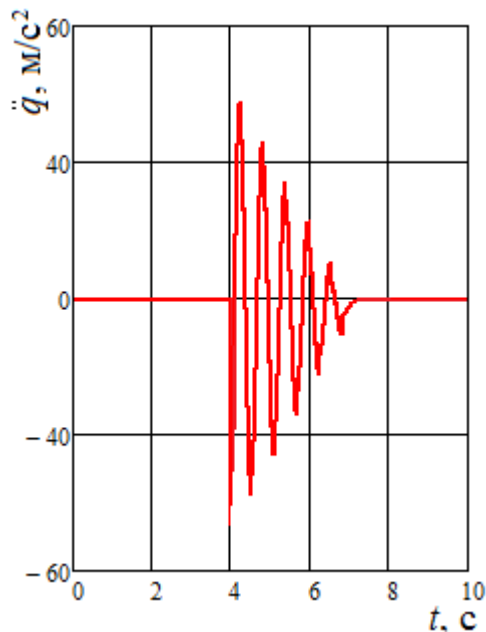


Рис. 3. Прискорення, які діють на контейнер з пружними зв'язками у фітингах, розміщений на вагоні-платформі, при маневровому співударянні

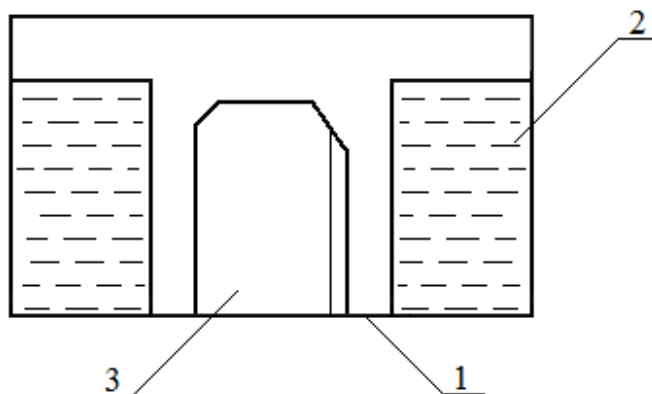


Рис. 4. Взаємодія фітингового упору з фітингом:
1 – фітинг; 2 – в'язкий елемент; 3 – фітинговий упор

Математична модель динамічної навантаженості контейнера при маневровому

співударянні з урахуванням наявності у фітингах в'язкого зв'язку наведена нижче.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{новн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y\delta} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \end{cases} \quad (3)$$

де β_ϕ – коефіцієнт в'язкого опору у фітингах контейнера.

Прискорення, які діють на контейнер з в'язкими зв'язками у фітингах, розміщений на вагоні-платформі, при маневровому співударянні, наведені на рис. 5.

При заданій величині в'язкого опору у фітингах контейнера прискорення становило близько 20 м/с^2 ($\approx 2g$) та не перевищувало нормативну величину [15].

При цьому в'язкий опір переміщенню контейнера повинен перебувати в діапазоні $10\text{--}50 \text{ кН}\cdot\text{с/м}$.

Для зменшення динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні також розглянутий варіант виконання фітингів з пружно-в'язкими зв'язками. Математична модель для визначення динамічної навантаженості контейнера наведена нижче.

$$\begin{cases} M_{ВПФ}^{новн} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y\delta} - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi (q_1 - q_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi \cdot (q_1 - q_2) + \beta_\phi (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)). \end{cases} \quad (4)$$

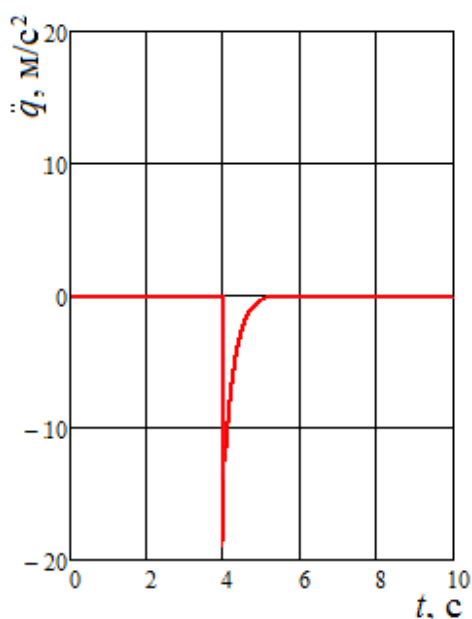


Рис. 5. Прискорення, які діють на контейнер з в'язкими зв'язками у фітингах, розміщений на вагоні-платформі, при маневровому співударянні

Результати проведених розрахунків показали, що при значенні жорсткості пружного елемента 20 кН/м та коефіцієнта в'язкого опору $30 \text{ кН}\cdot\text{с/м}$ прискорення, які

діють на контейнер, розміщений на вагоні-платформі, при маневровому співударянні становлять близько 20 м/с^2 ($\approx 2g$) (рис. 6) та перебувають у межах допустимих [15].

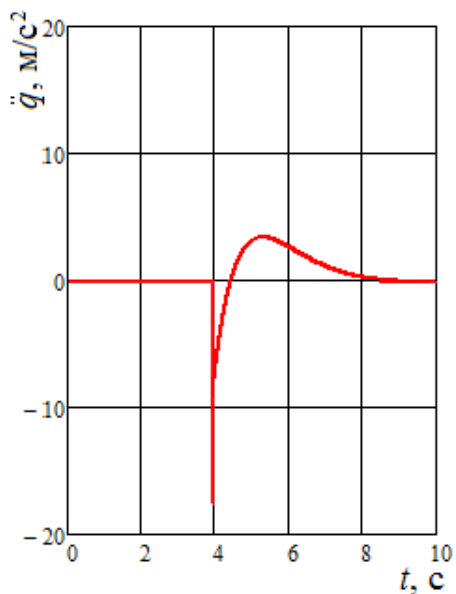


Рис. 6. Прискорення, які діють на контейнер з пружно-в'язкими зв'язками у фітингах, розміщений на вагоні-платформі, при маневровому співударінні

Для дослідження міцності контейнера з урахуванням заходів щодо удосконалення побудовано його просторову модель (рис. 7). Графічні роботи виконувалися в середовищі програмного забезпечення SolidWorks. Розрахунок проведений за методом скінчених елементів, реалізованого в програмному пакеті CosmosWorks [16].

Як скінчені елементи застосовані просторові ізопараметричні тетраедри, оптимальна кількість елементів яких визначена за графоаналітичним методом. Кількість вузлів сітки становила 39789, елементів – 123139 (рис. 8, а). Максимальний розмір елемента дорівнює 120 мм, мінімальний – 24 мм. Мінімальна кількість елементів у колі становила 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7. Максимальне співвідношення боків – 8583,8, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 19,1, більше 10 – 47,3.

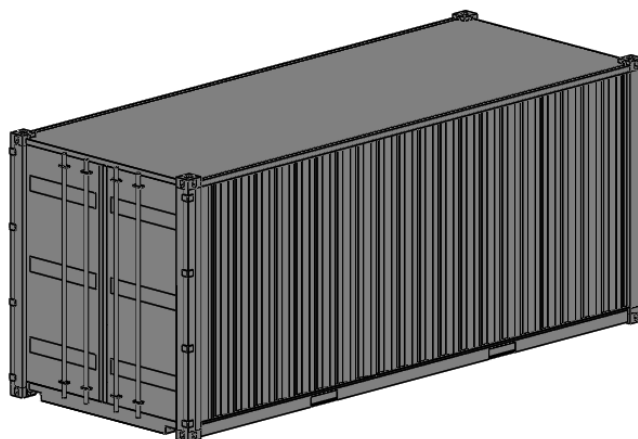


Рис. 7. Просторова модель контейнера типорозміру 1СС

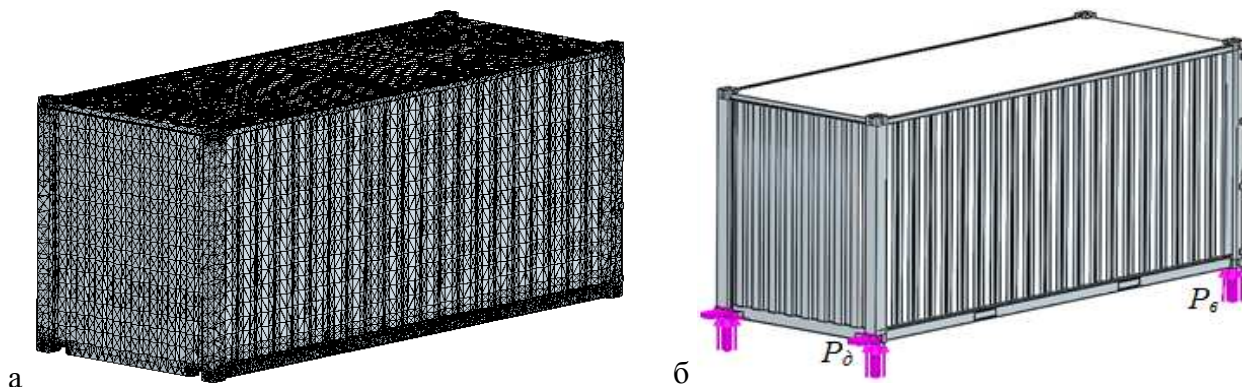


Рис. 8. Моделювання міцності контейнера: а – скінчено-елементна модель; б – розрахункова схема

При складанні моделі міцності контейнера враховано, що на фітинги діє динамічне навантаження P_o , а також вертикальні реакції у зонах обпирання фітингів на фітингові упори P_e (рис. 8, б).

При складанні моделі не враховано дію вантажу, розміщеного у контейнері, на його стіни. Закріплення контейнера

здійснювалося у зонах обпирання на вагон-платформу. Ураховано, що при дії на фітинги динамічного навантаження здійснюється його переміщення відносно початкового положення.

Як матеріал конструкції використано сталь марки 09Г2С. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції контейнера наведені на рис. 9, 10.

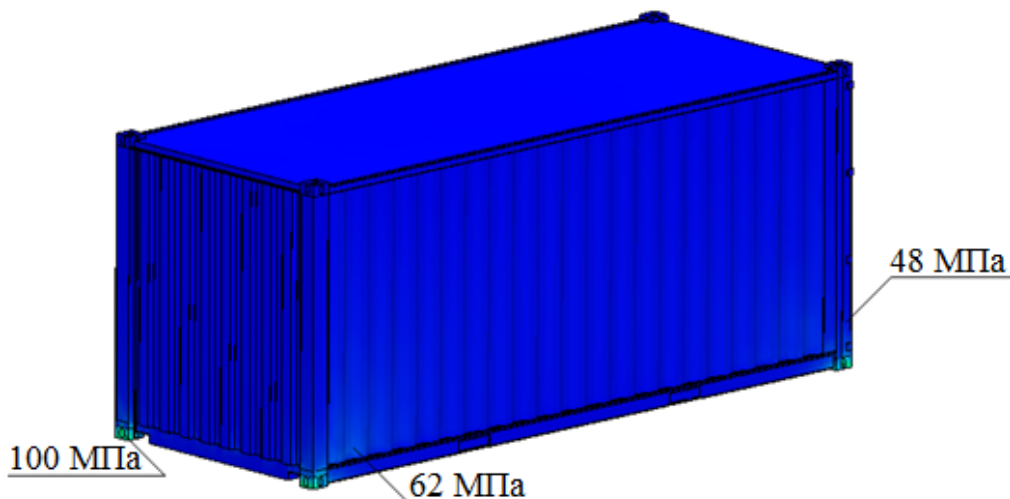


Рис. 9. Напружений стан контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні

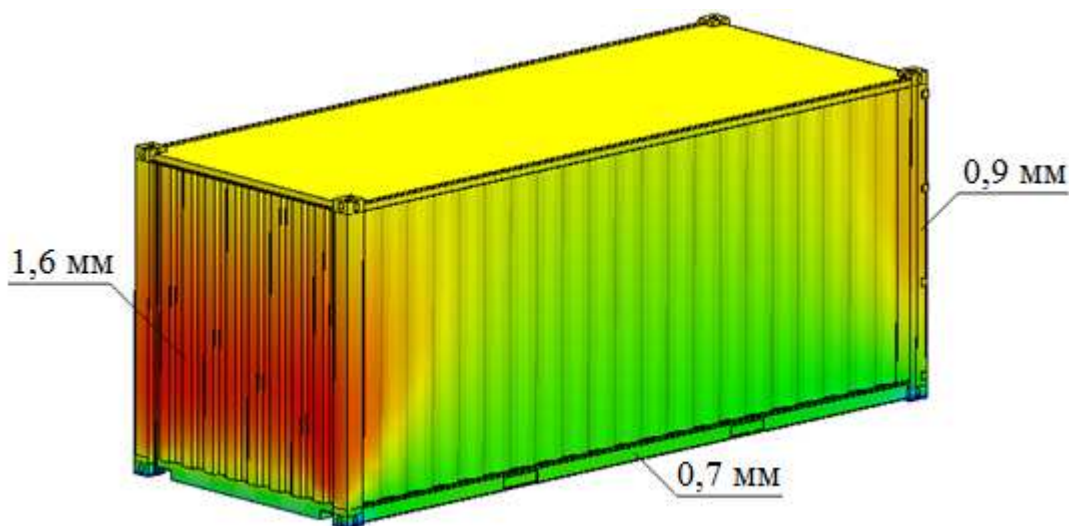


Рис. 10. Переміщення у вузлах контейнера, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні

Максимальні еквівалентні напруження виникають у фітингах контейнера та становлять близько 100 МПа, максимальні переміщення дорівнюють 1,6 мм та зосереджені в середній частині торцевої стіни контейнера, максимальні деформації – $1,24 \cdot 10^{-3}$. Отже, максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції контейнера не перевищують допустимі [8, 9].

Також проведений розрахунок на міцність контейнера при наявності у фітингах пружно-в'язкого зв'язку, при цьому максимальні еквівалентні напруження становили 92 МПа, переміщення у

вузлах – 1,3 мм, деформації – $1,18 \cdot 10^{-3}$. Тобто умова міцності виконується.

Максимальні еквівалентні напруження, які діють на контейнер, з урахуванням заходів щодо удосконалення майже у 8 разів нижчі за напруження, що виникають у типовій конструкції контейнера при переміщенні фітингів відносно фітингових упорів (рис. 11). Отже, введення в'язкого або пружно-в'язкого зв'язку між фітинговими упорами та фітингами дає змогу значно знизити їх навантаженість та забезпечити міцність при експлуатаційних режимах.

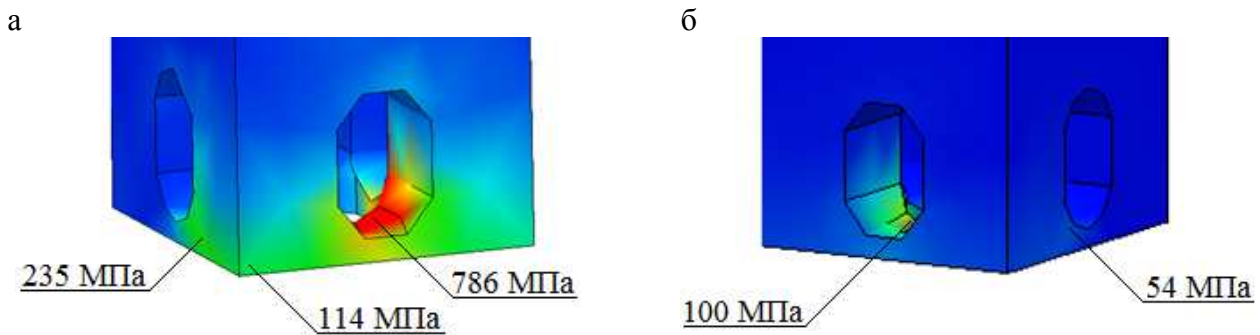


Рис. 11. Напружений стан фітингів контейнера:
а – типова конструкція; б – удосконалена конструкція

Результати напруженого стану фітингів отримані для випадку наявності переміщень контейнера відносно рами вагона-платформи. Максимальні еквівалентні напруження у фітингах перевищують ті, що бувають при нерухомості контейнера, більше ніж у 2 рази [6]. Отже, для забезпечення міцності контейнерів на стадії їх проектування до уваги слід брати не тільки умови експлуатації, зазначені у [2–5, 10, 11], а й маневрове співударення з урахуванням переміщень фітингів відносно фітингових упорів.

При цьому зменшення динамічної навантаженості контейнера пропонується досягти шляхом удосконалення фітингів, а не його несучої конструкції на відміну від проаналізованих вище заходів.

Розподілення максимальних еквівалентних напружень за довжиною нижнього поперечного бруса рами контейнера при наявності у фітингах в'язкого зв'язку наведено на рис. 12. Максимальні еквівалентні напруження при цьому виникають у кінцевих частинах бруса.

Розподілення максимальних еквівалентних напружень за довжиною нижнього поперечного бруса рами контейнера при наявності пружно-в'язкого зв'язку у фітингах має вигляд, подібний до залежності, наведеної на рис. 12, але з відповідними числовими значеннями максимальних еквівалентних напружень.

При цьому максимальні еквівалентні напруження у поперечному брусі контейнера нижчі на 15 %, ніж при типовій схемі взаємодії фітингів з фітинговими упорами.

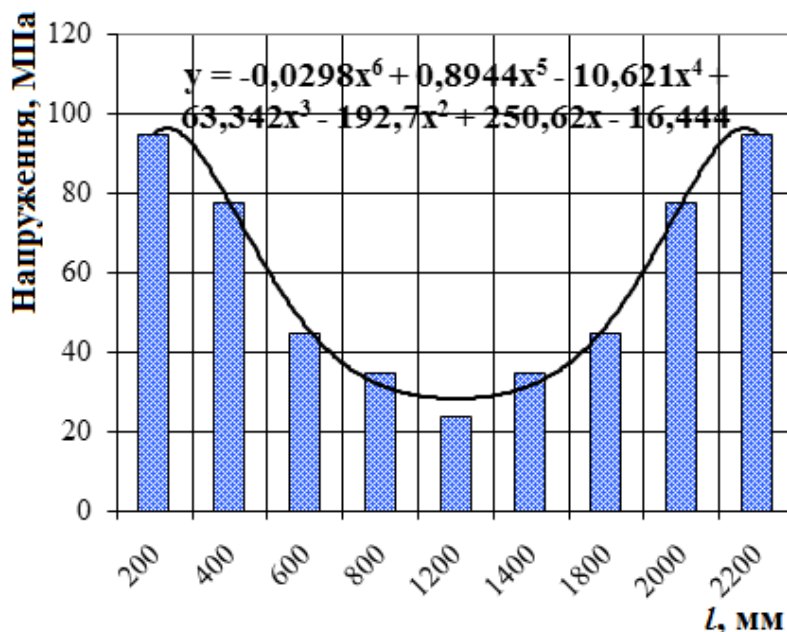


Рис. 12. Розподілення максимальних еквівалентних напружень за довжиною нижнього поперечного бруса рами контейнера

За розробленою моделлю міцності здійснено визначення динамічної навантаженості контейнера шляхом комп'ютерного моделювання. Установлено, що максимальні прискорення, які діють на контейнер з урахуванням в'язкої взаємодії фітингів з фітинговими упорами, виникають у торцевих стінах з консольних частин рами вагона-платформи та становлять близько 20 м/с^2 . При пружно-в'язкій взаємодії фітингів з фітинговими упорами прискорення становили $19,7 \text{ м/с}^2$.

З метою верифікації розроблених моделей застосований F-критерій [17]. Вхідним параметром математичної та комп'ютерної моделей динамічної навантаженості контейнера є сила удару в автозчеп вагона-платформи, а вихідним – прискорення, які діють на контейнер, розміщений на вагоні-платформі.

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (5)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

S_y^2 – дисперсія відтворюваності.

Необхідне число статичних даних визначалося за формулою [18].

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\delta^2}, \quad (6)$$

де t – табличне значення критерію Стьюдента; σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини; δ^2 – абсолютна похибка результату вимірювань.

Результати розрахунку показали, що для випадку в'язкої взаємодії фітингів з фітинговими упорами при дисперсії відтворюваності $S_y = 2,83$ та дисперсії адекватності $S_{ad}^2 = 3,1$ фактичне значення F-критерію $F_p = 1,09$, що менше від табличного значення критерію $F_t = 3,07$. Отже, гіпотеза про адекватність розробленої моделі не заперечується.

При пружно-в'язкій взаємодії фітингів з фітинговими упорами дисперсія відтворюваності становила $S_y = 2,7$ та дисперсія адекватності $S_{ad}^2 = 3,0$. Фактичне значення F-критерію $F_p = 1,11$, що менше від табличного значення $F_t = 3,07$. Тобто гіпотеза про адекватність не заперечується.

Для визначення критичних частот коливань контейнера удосконаленої конструкції, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні проведений модальний аналіз у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks.

Числові значення критичних частот коливань наведені у таблиці.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що значення критичних частот коливань перебувають у межах допустимих [8, 9].

Таблиця

Числові значення критичних частот коливань контейнера удосконаленої конструкції

Форма коливань	Зв'язок у фітингах			
	В'язкий		Пружно-в'язкий	
	Частота, рад/с	Частота, Гц	Частота, рад/с	Частота, Гц
1	72,97	11,61	74,26	11,82
2	104,41	16,62	105,84	16,85
3	114,25	18,18	115,16	18,33
4	133,75	21,29	135,69	21,6
5	134,74	21,44	137,65	21,91
6	135,11	21,5	137,85	21,94
7	135,22	21,52	139,07	21,13
8	138,3	22,0	139,87	22,26

Висновки. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Для зменшення ударних навантажень між фітингами контейнера та фітинговими упорами вагона-платформи при маневровому співударянні запропоновано удосконалення фітингів контейнерів шляхом введення у них в'язких та пружно-в'язких зв'язків.

2. Визначено динамічну навантаженість контейнера з урахуванням заходів щодо удосконалення. Для забезпечення міцності несучої конструкції контейнера значення коефіцієнта в'язкого опору у фітингах повинно перебувати в діапазоні 10–50 кН·с/м. При наявності пружно-в'язкого зв'язку у фітингах жорсткість пружного елемента повинна становити 20 кН/м та коефіцієнта в'язкого опору – 30 кН·с/м.

3. Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції контейнера з урахуванням заходів щодо удосконалення. Установлено, що при в'язкому зв'язку максимальні еквівалентні напруження

виникають у фітингах контейнера та становлять близько 100 МПа, максимальні переміщення дорівнюють 1,6 мм, максимальні деформації – $1,24 \cdot 10^{-3}$. При пружно-в'язкому зв'язку максимальні еквівалентні напруження у контейнері становили 92 МПа, переміщення у вузлах – 1,3 мм, деформації – $1,18 \cdot 10^{-3}$. Тобто умова міцності виконується.

4. Проведено комп'ютерне моделювання динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі, при маневровому співударянні. При цьому максимальні прискорення, які діють на контейнер, з урахуванням в'язкої взаємодії фітингів з фітинговими упорами становлять близько 20 м/с^2 , при пружно-в'язкій взаємодії – $19,7 \text{ м/с}^2$.

5. Проведено верифікацію розроблених моделей динамічної навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні за F-критерієм. Установлено, що гіпотеза про адекватність не відхиляється.

6. Визначено числові значення критичних частот коливань контейнера удосконаленої конструкції. При цьому значення частот коливань перебувають у межах допустимих;

7. Проведені дослідження сприятимуть зменшенню навантаженості контейнерів при найбільш несприятливих режимах експлуатації та підвищенню ефективності функціонування комбінованих перевезень.

Список використаних джерел

1. "Укрзалізниця" в 2018 году нарастила объем перевозок контейнеров на 13%. URL: https://cfts.org.ua/news/2019/01/30/ukrzaliznytsya_v_2018_godu_narastila_obyem_perevozo_k_konteynerov_na_13_51438 (дата звернення: 30.01.19).
2. Мишута Д. В. Упрощенные методы измерения напряженно-деформированного состояния кузова-контейнера переменного объема. *Приборы и методы измерений*. 2012. № 2(5). С. 100–103.
3. Мишута Д. В., Альгин В. Б., Михайлов В. Г. Оценка напряженно-деформированного состояния кузова-контейнера переменного объема. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2012. № 4(37). С. 61–68.
4. Еремин В., Семенникова Л. Исследование напряженно-деформированного состояния кузов-контейнера с помощью программного комплекса АРМ WinMachine. *САПР и графика*. 2004. № 7. С. 23–28.
5. Ибрагимов Н. Н., Рахимов Р. В., Хаджимухамедова М. А. Разработка конструкции контейнера для перевозки плодоовощной продукции. *Молодой ученый*. 2015. № 21(101). С. 168–173.
6. Lovskaya A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3. P. 4–8.
7. Богомаз Г. И., Мехов Д. Д., Пилипченко О. П., Черномашенцева Ю. Г. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку. *Динаміка та керування рухом механічних систем*. Зб. наук. праць. Київ: АНУ, Інститут технічної механіки, 1992. С. 87–95.
8. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Чинний від 2015-07-01.
9. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Действителен от 2014-12-22. URL: <http://internet-law.ru/gosts/gost/60124/> (дата звернення: 24.04.2019).
10. Stephen Tiernan, Martin Fahy. Dynamic fea modelling of iso tank container. *Journal of materials processing technology*. 2002. №124 (1). P. 126–132.
11. Arkadiusz Rzeczycki, Bogusz Wisnicki. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90.
12. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: спец. справочник. Санкт-Петербург: Питер, 2000. 592 с.
13. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 608 с.
14. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навч. посібник. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.
15. ДСТУ ISO 1496-1:2013. Вантажні контейнери серії 1. Технічні вимоги та методи випробовування. Ч. 1. Контейнери загальної призначеності універсальні. Чинний від 2017-07-01.

16. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва: ДМК, 2007. 784 с.

17. Чернова Н. И. Математическая статистика. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2007. 148 с.

18. Космин В. В. Основы научных исследований: учеб. пособие. Москва: ГОУ «Учебно-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. 271 с.

Ловська Альона Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35. E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.

Lovska Alyona Oleksandrivna, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-35. E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com.

Статтю прийнято 18.04.2019 р.