

ОСОБЛИВОСТІ КРІПЛЕННЯ ЗМІННОГО КУЗОВА ДО ЕКІПАЖНОЇ ЧАСТИНИ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА*Інститут технічної механіки**Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: sobmb@i.ua*

Оновлення вітчизняного парку вантажного рухомого складу та використання нових ефективних технологій вантажних перевезень є актуальними завданнями залізничного транспорту нашої країни. Інновацією у сфері світових транспортних послуг є вагони зі змінними кузовами. При сезонних змінах вантажів один кузов може замінюватись іншим у порожньому стані, а екіпажна частина з новим кузовом надалі буде експлуатуватися як звичайний спеціалізований вагон. Україні доцільно розробити свою конструкцію вантажного вагона зі змінними кузовами. При цьому особливу увагу необхідно приділити вузлам кріплення кузовів до екіпажної частини вагона. Метою досліджень, викладених в статті, є оцінка напружено-деформованого стану (НДС) елементів вагона зі змінним кузовом при нормативних навантаженнях з урахуванням особливостей кріплення кузова до екіпажної частини вагона та розробка рекомендацій щодо елементів кріплення, які забезпечують безпеку перевезень вантажів у вагонах зі змінними кузовами згідно з ДСТУ EN 12663-2:2018. В статті розглянуто вантажний вагон зі змінним кузовом, екіпажною частиною якого є вагон-платформа для контейнерних перевезень, кузов має габарити 45-футового контейнера. Маса кузова з вантажем дорівнює вантажопідйомності вагона-платформи. Результати попередніх досліджень показали, що чотири фітінгових з'єднання при наявності в них зазорів не забезпечують міцності такого вагона в експлуатації. В статті приведено результати аналізу існуючих конструкцій елементів кріплення кузова до рами екіпажної частини вагона та визначено напрямки удосконалення конструкцій кріплення змінного кузова до рами екіпажної частини вагона: збільшення кількості елементів кріплення, які передають експлуатаційні навантаження від кузова на раму, та застосування додаткових затискних елементів для вибору зазорів. Наукову новизну мають розроблені скінченно-елементні моделі для дослідження НДС елементів вантажного вагона зі змінним кузовом при нормативних навантаженнях з урахуванням різних схем кріплення кузова до екіпажної частини вагона. В результаті досліджень, проведених за допомогою цих моделей, встановлено, що для виконання вимог ДСТУ EN 12663-2:2018 достатньо, щоб кріплення кузова до рами екіпажної частини вагона здійснювали 8 фітінгових з'єднань з додатковими елементами, що роблять їх беззазорними у поздовжньому напрямку та у поперечному з зовнішньої сторони рами. Визначено схему з'єднань кузова з рамою екіпажної частини вагона, при якій напруження в елементах рами є найменшими. Розроблено рекомендації щодо елементів кріплення, які забезпечують безпеку перевезень вантажів у вагонах зі змінними кузовами.

Ключові слова: вантажний вагон зі змінним кузовом, елементи кріплення кузова до екіпажної частини, скінченно-елементне моделювання, напружено-деформований стан, міцність конструкції.

Freight car fleet renewal and the introduction of new efficient freight transportation technologies are topical problems of the Ukrainian railway transport. An innovation in the world's transport service is the use of swap-body freight cars. With seasonal variations in freight shipment, one empty car body can be replaced with another, and the undercarriage with the new body can then be used as a usual dedicated car. It is expedient for Ukraine to develop a swap-body car design of its own. In doing so, special attention must be paid to body-on-undercarriage fasteners. The goal of this paper is to estimate the stress and strain field of swap-body car components and develop recommendations on fasteners that would provide safe freight transportation in swap-body cars according to the Ukrainian State Standard EN 12663-2:2018. The paper considers a swap-body car whose undercarriage is a container flat car and whose body has the dimensions of a 45-feet container; the body mass plus the freight mass is equal to the carrying capacity of the flat car. Previous studies showed that four fitting joints in the presence of clearances therein cannot provide the required swap-body car service strength. The paper analyzes existing designs of body-on-undercarriage fasteners and identifies lines of their improvement: increasing the number of fasteners that transfer service loads from the body to the underframe and using additional grippers for clearance takeup. Finite-element models were developed to study the stress and strain field of swap-body car components at standard loads with account for different schemes of body-on-undercarriage fastening. Using them, it was shown that for the requirements of the Ukrainian State Standard EN 12663-2:2018 to be satisfied, it is sufficient to use eight body-on-undercarriage fitting fasteners with additional elements that make them clearance-free in a longitudinal direction and in a transverse direction on the outside of the underframe. The body-on-undercarriage fastening scheme that minimizes underframe stresses was identified. Recommendations were developed on fasteners that would provide safe freight transportation in swap-body cars.

Keywords: swap-body freight car, body-on-undercarriage fasteners, finite-element simulation, stress and strain field, structural strength.

Вступ. Оновлення вітчизняного парку вантажного рухомого складу та

© М. Б. Соболевська, Д. В. Горобець, 2023

Техн. механіка. – 2023. – № 4.

використання згідно з Національною економічною стратегією України на період до 2030 року [1], [2] нових ефективних технологій вантажних перевезень є актуальними завданнями залізничного транспорту нашої країни. Інновацією у сфері світових транспортних послуг є вагони зі змінними кузовами [3] – [16]. Змінний кузов є частиною вагона та має роз'ємні кріплення з його екіпажною частиною (платформною, що складається з рами, ходових частин, автозчепного, автогальмового обладнання та пристроїв кріплення змінних кузовів). При сезонних змінах вантажів один кузов може замінюватись іншим у порожньому стані, а екіпажна частина з новим кузовом надалі буде експлуатуватися як звичайний спеціалізований вагон.

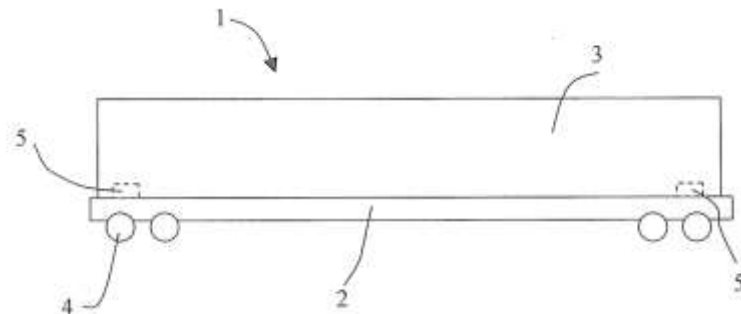
Лідерами в розробці вагонів зі змінними кузовами є такі європейські країни як Швейцарія (flex freight system компанії WASCOSA) [7] – [10], Австрія (проект TransANT компаній RAIL CARGO GROUP та “Voestalpine”) [11], Німеччина (модульна система компаній DB Cargo та VTG) [14], Швеція (модульна система компанії KIRUNA WAGON AB) [15, 16], які вже налагодили випуск інноваційних вагонів. Засновником технології вантажних перевезень у вагонах зі змінними кузовами є швейцарська компанія “WASCOSA”, яка розробила гнучку вантажну систему (flex freight system) вагонів зі змінними кузовами для залізниць колії 1435 мм. Останнім часом РФ бере активну участь в розробці конструкцій вагонів зі змінними кузовами для залізниць колії 1520 мм. На теперішній час в Україні немає розробок вагонів зі змінними кузовами, хоча для вітчизняних залізниць доцільно розробити свою конструкцію вантажного вагона зі змінним кузовом. При цьому особливу увагу необхідно приділити вузлам кріплення кузовів до екіпажної частини вагона.

Змінні кузова відрізняються від стандартних контейнерів ISO збільшеними розмірами та вантажопідйомністю. Фітингові з'єднання великотоннажних контейнерів з платформою допускають поздовжні навантаження 300 кН [17]. Випробування таких контейнерів з додатковими фітинговими з'єднаннями на поздовжній удар показали, що через наявність різних за величиною зазорів між фітингами і упорами навантаження сприймають тільки два фітинги, тобто збільшення кількості фітингових з'єднань без удосконалення конструкцій кріплення не є доцільним [3]. Існують різні варіанти кріплення контейнерів до вагона-платформи. Це є замки, що містять рухомі елементи і здійснюють фіксацію в ручному режимі, а також автоматичні та напівавтоматичні замки, що забезпечують фіксацію при опусканні контейнера на платформу. Такі замки-засувки оснащені пружинними фіксаторами, що забезпечують автоматичну фіксацію контейнера. Пропонуються також кріплення кузовів за допомогою клиноподібних упорів та інші технічні рішення, наприклад упори, що автоматично замикаються. Однак, ці пристрої забезпечують жорстке з'єднання тільки в вертикальному напрямку.

В статті [5] розглянуто три можливі варіанти кріплення кузова до рами екіпажної частини: з'єднання у вигляді штирів, традиційні упори з зазорами і з'єднання у вигляді сумісних трапецій. Наведено також пропозицію щодо модернізації шворневої балки таким чином, щоб вона мала переріз у формі трапеції для установки змінних кузовів. Таке технічне рішення покращує фіксацію кузовів на рамі екіпажної частини вагона в поперечному напрямку, але не забезпечує їх жорсткого з'єднання у поздовжньому напрямку.

Існує технічне рішення [6] щодо обладнання кузова додатковими фітингами в поперечному напрямку, а кінцевих балок вагона-платформи – опорною плитою з упорами фітингів, яка має можливість повороту навколо центра, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження між упорами фітингів. Однак при поздовжньому ударі будуть діяти концентровані навантаження на два кутових з'єднання, що мають по 2 фітинги. Доцільність використання такого технічного рішення для великовантажного змінного кузова потрібно доводити випробуваннями.

В результаті аналізу існуючих конструкцій елементів кріплення кузова до платформи у вагонів зі змінними кузовами встановлено, що конструкції кріплень мають бути роз'ємними, але при експлуатації забезпечувати надійне жорстке з'єднання кузова та екіпажної частини вагона. При виборі конструкцій кріплень пропонується використати досвід швейцарської компанії “WASCOSA”, зокрема здійснення кріплення змінних кузовів за допомогою клиноподібних упорів з регульованими затискними елементами, що забезпечать рівномірний розподіл експлуатаційних навантажень на раму екіпажної частини вагона та жорстке кріплення на ній змінних кузовів. В патенті СН 700850 А1 наведено загальну схему конструкції вантажного вагона зі змінним кузовом та елементами його кріплення до рами платформи (рис. 1).



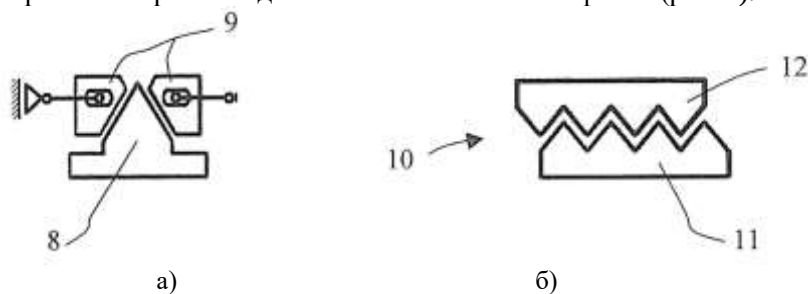
1 – вантажний вагон; 2 – платформа; 3 – кузов; 4 – візки;
5 – елементи кріплення кузова до платформи

Рис. 1 – Загальна схема вантажного вагона зі змінним кузовом

Відповідно до винаходу кузов (3) кріпиться до платформи (2) так, що в будь-який час може бути знятий та замінений кузовом іншого типу, наприклад, кузов для перевезення зерна замінений кузовом для перевезення дерев'яних колод. Вантажний вагон, схематично показаний на рис. 1, містить кузов (3) з підлогою з листового металу, що дозволяє використовувати вилочний навантажувач для установки кузова (3) на платформі або зняття з неї тільки в порожньому стані. Кузови (3) можуть, але не зобов'язані допускати штабелювання. Використання кузовів (3) обмежується виключно залізничним транспортом. Платформу (2) можна використовувати не тільки разом з кузовом (3) для перевезення спеціальних вантажів, але і для транспортування контейнерів ISO. На рис. 1 показано, що платформу (2) і кузов (3) обладнано роз'ємними кріпленнями (5), які повинні забезпечувати нерухоме положення кузова (3) на платформі (2) в процесі залізничного транспортування.

З'єднання кузова (3) з платформою (2) виконується з силовою або з геометричною посадкою. Кріплення кузова (3) до платформи (2) доцільно здійснювати за допомогою стандартних монтажних штифтів, призначених для розміщення

контейнерів ISO. Кріплення (5) доцільно виконувати таким чином, щоб вони могли утворювати жорстке з'єднання з монтажними штифтами (рис. 2).



8 – клиновидний штифт; 9 – затискні губки; 10 – адаптер; 11 – опора монтажного штифта; 12 – елемент кріплення, профілі якого входять у зачеплення один з одним;
а) – клиноподібна цапфа 8 з затискними губками 9; б) – адаптер 10

Рис. 2 – Кріплення кузова (3) до платформи (2)

Відповідно до першого запропонованого варіанта кріплення (5), розташовані на кузові (3), містять дві затискні губки, щонайменше одна з яких є регульованою так, що дві затискні губки можуть затискати монтажний штифт. Такий варіант кріплення 5 з клиноподібною цапфою (8) та відповідними затискними губками (9) показано на рис. 2, а). Можна встановити щонайменше одну з двох затискних губок (9) пружно на кузові (3), так що виходить жорстке і нежорстке з'єднання. Якщо форма втулки не підходить для цього типу з'єднання, то за другим варіантом на втулку надягається перехідник, зовнішня форма якого придатна для затиску між двома затискними губками. Форма адаптера переважно клиноподібна. В якості альтернативи можна встановити з'єднання між кузовом (3) і платформою (2) через профільовані адаптери (10) (рис. 2, б)). Вони складаються з двох елементів, профілі яких входять в зачеплення один з одним: елемента (11), закріпленого на платформі (2) або розміщеного як перехідник на цапфі, і елемента (12), закріпленого на кузові (3). Елементи кріплення (5), що належать конструкції кузова (3), виконано таким чином, щоб вони мали геометричне з'єднання з відповідними елементами кріплення, розміщеними на платформі (2).

Постановка задачі. Метою досліджень, викладених в статті, є оцінка напружено-деформованого стану (НДС) елементів вагона зі змінним кузовом при нормативних навантаженнях з урахуванням особливостей кріплення кузова до екіпажної частини вагона та розробка рекомендацій щодо елементів кріплення, які забезпечують безпеку перевезень вантажів у вагонах зі змінними кузовами згідно з ДСТУ EN 12663-2:2018 [18].

За відсутності на теперішній час в Україні діючих проєктів зі створення вагонів зі змінними кузовами, розглянуто залізничний вагон, екіпажною частиною якого є вагон-платформа для контейнерних перевезень моделі 13-7133 з 16 фітинговими упорами Крюківського вагонобудівного заводу [19]. Вагон-платформа моделі 13-7133 має максимальну вантажопідйомність 73,6 т, масу тари – 16,1 т. База вагона-платформи – 9700 мм, довжина вагона по осях автозчепів – 14620 мм, розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки – 235 кН, висота до осі зчеплення від рівня головки рейок – 1060 мм.

Розглядається змінний кузов, габарити якого відповідають габаритам 45-футового контейнера, а саме складають 13400 мм × 2530 мм × 2400 мм.

При цьому маса змінного кузова з вантажем дорівнює вантажопідйомності вагона-платформи – 73,6 т. Загальна маса вагона зі змінним кузовом та вантажем $m_b = 89,7$ т. Маса візка $m_{iv} = 4,680$ т.

На теперішній час в Україні міцність конструкцій вантажного рухомого складу регулюється нормативним документом [18], в якому визначено два основних режими роботи конструкції вагона: суперпозиція статичних навантажень та втомний. Для режиму суперпозиції статичних навантажень розглядається найбільш жорстка комбінація сил, де на конструкцію вагона діють одночасно сила тяжіння та стискаюча поздовжня сила $F = 2$ МН, що передається через автозчепні пристрої.

Результати попередніх досліджень, наведені в статті [20], показали, що чотири фітингових з'єднання при наявності в них зазорів не забезпечують міцності вантажного вагона зі змінним кузовом згідно з нормативними вимогами. Запропоновано збільшити кількість фітингових з'єднань, які передають експлуатаційні навантаження від кузова на раму екіпажної частини вагона, зокрема шляхом використання на кузові додаткових затискних елементів, що зроблять ці з'єднання роз'ємними, але беззазорними, забезпечать жорстке з'єднання кузова з рамою екіпажної частини вагона та його міцність в експлуатації.

Математичне моделювання. Розроблено скінченно-елементні моделі для дослідження НДС елементів вантажного вагона зі змінними кузовами при нормативних навантаженнях з урахуванням різних схем кріплення кузова до екіпажної частини вагона.

Геометричну модель вантажного вагона зі змінним кузовом показано на рис. 3.

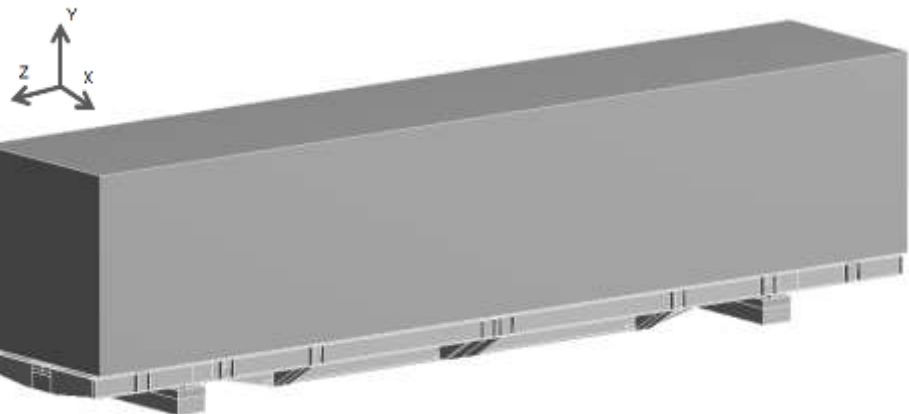
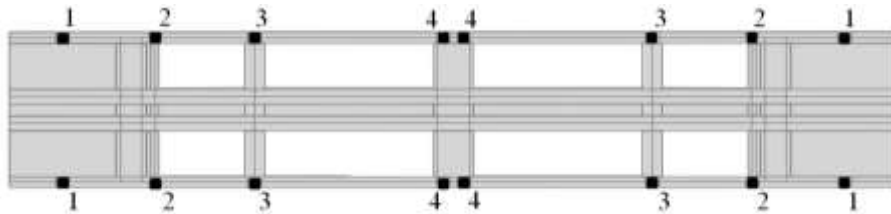


Рис. 3 – Геометрична модель вантажного вагона зі змінним кузовом

Геометричну модель рами екіпажної частини вагона, що має 16 фітингових упорів, приведено на рис. 4.



- 1 – група фітингових упорів для розміщення 45-футових контейнерів;
- 2 – група фітингових упорів для розміщення 30-футових контейнерів;
- 3 – група фітингових упорів для розміщення одного 20-футового контейнера;
- 1 та 4 – група фітингових упорів для розміщення двох 20-футових контейнерів

Рис. 4 – Геометрична модель рами екіпажної частини вагона (вид зверху)

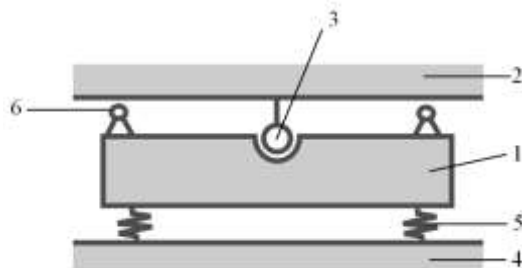
Ці упори призначено для розміщення на фітинговій платформі різних за габаритами контейнерів стандарту ISO 668 серії 1, а саме одного 45-футового (4 упори 1), одного 30-футового (4 упори 2), одного 20-футового (група 3) та двох 20-футових (група 1 та 4).

Розглянуто різні схеми фітингових з'єднань кузова з рамою екіпажної частини вагона (див. рис. 4):

- схема 1 – 4 з'єднання фітингів з упорами 1;
- схема 2 – 8 з'єднань фітингів з упорами 1 і 3;
- схема 3 – 8 з'єднань фітингів з упорами 1 і 4;
- схема 4 – 12 з'єднань фітингів з упорами 1, 2, 3;
- схема 5 – 12 з'єднань фітингів з упорами 1, 3, 4;
- схема 6 – 16 з'єднань фітингів з упорами 1, 2, 3, 4.

Передбачалося, що всі фітингові з'єднання мають додаткові затискні елементи, які роблять їх безазорними у поперечному напрямку x з зовнішньої сторони рами екіпажної частини вагона. Крім того, всі фітингові з'єднання, за виключенням з'єднань групи 4, мають додаткові елементи, які роблять їх безазорними у поздовжньому напрямку z . Фітингові з'єднання групи 4 є безазорними у поздовжньому напрямку лише з зовнішніх сторін цієї групи, а з її внутрішніх сторін зазори між фітингами та упорами присутні.

Схему візка приведено на рис. 5.

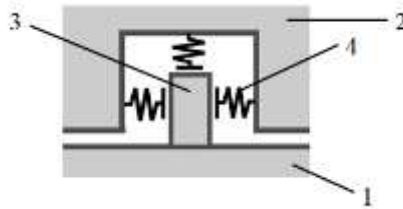


- 1 – надресорна балка візка; 2 – рама платформи; 3 – шарнірний вузол; 4 – колія; 5 – ресорні комплекти візка; 6 – ковзун

Рис. 5 – Схема візка

З'єднання п'ятника з підп'ятником моделюється шарнірним вузлом (3). При бокових силах, коли відбувається нахил рами екіпажної частини вагона відносно візка, моделюється контакт рами з візком через ковзун (6) у формі "поверхня-поверхня без сил тертя".

Схему з'єднання кузова з рамою екіпажної частини вагона показано на рис. 6.



1 – рама екіпажної частини вагона; 2 – змінний кузов; 3 – упор; 4 – пружні елементи

Рис. 6 – Схема з'єднання кузова з рамою екіпажної частини вагона

Ця схема дозволяє моделювати як наявність, так і відсутність зазорів у фітинговому з'єднанні. Пружні елементи (4) моделюються об'ємними пружними тілами, які мають інтегральну жорсткість конструкції змінного кузова в трьох напрямках. Для беззазорного фітингового з'єднання моделюється контакт фітинга з упором у формі “поверхня-поверхня без сил тертя”. При наявності зазору у фітинговому з'єднанні відсутність взаємодії фітинга з упором моделюється виключенням пружних елементів (4) у відповідному напрямку.

Скінченно-елементну схему вантажного вагона із змінним кузовом приведено на рис. 7. Скінченно-елементну схему рами екіпажної частини вагона зі змінним кузовом – на рис. 8.

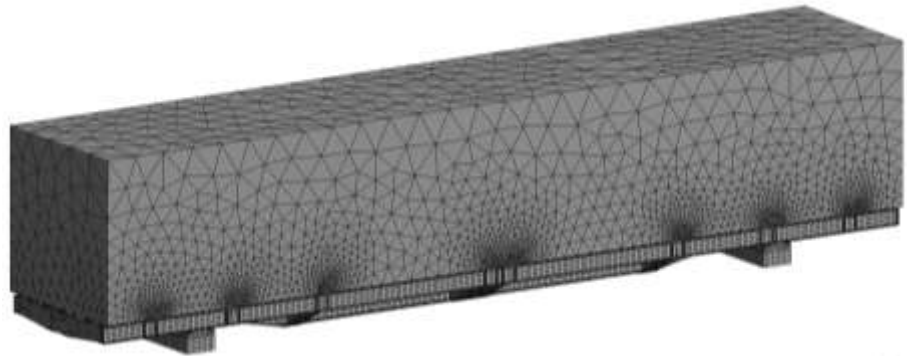


Рис. 7 – Скінченно-елементна схема вагона зі змінним кузовом



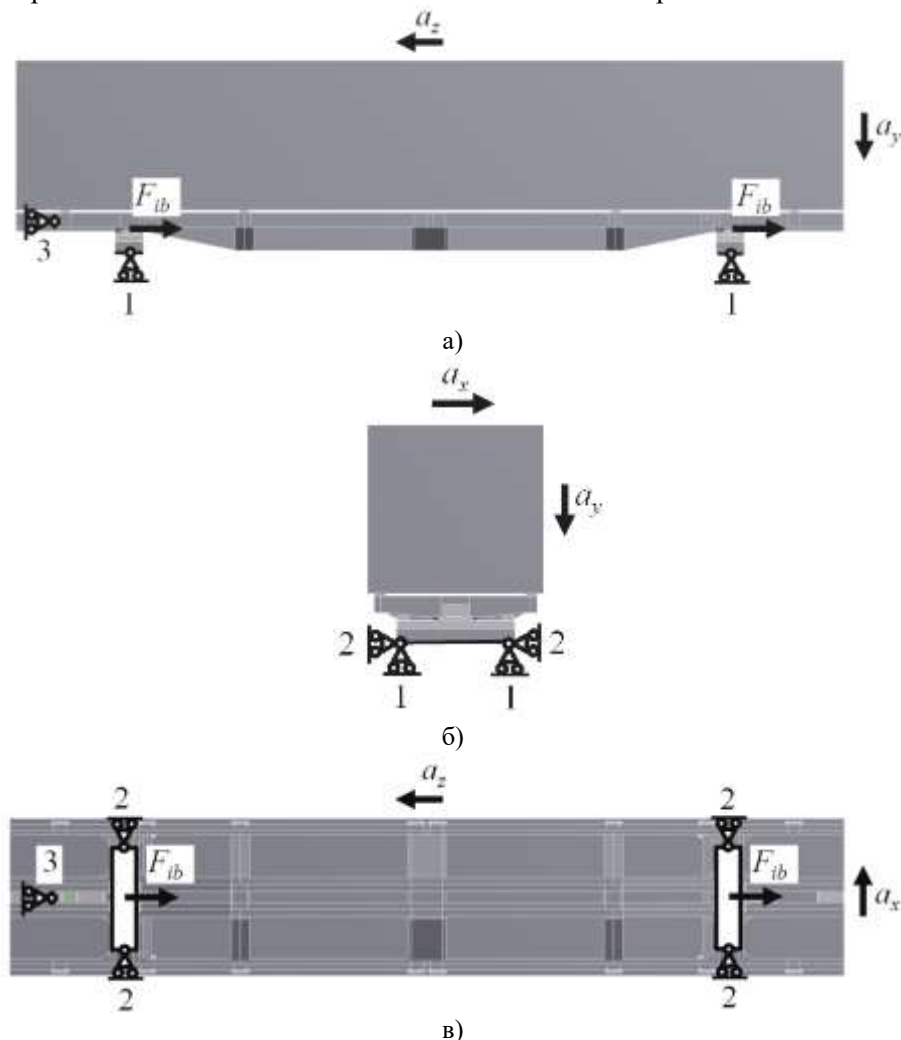
Рис. 8 – Скінченно-елементна схема рами екіпажної частини вагона

Рама екіпажної частини вагона моделюється пластинчастими елементами, у яких кожен вузол має по три лінійні та кутові переміщення, а поглинальні апарати автозчепів, упори, візки та змінний кузов – об'ємними елементами, у яких кожен вузол має три лінійні переміщення.

При моделюванні контактної взаємодії між елементами досліджуваної конструкції обрано контакт у формі “поверхня-поверхня” і використано розширений метод Лагранжа. Відстань для ініціації контакту дорівнює 1 мм.

Лінійні розміри елементів рами, візка та поглинального апарата дорівнюють 50 мм, контейнера – 500 мм з зменшенням розміру елементів до 30 мм в зонах розміщення фітінгів. Скінченно-елементна схема вагона-платформи з контейнером включає 313100 елементів і 447265 вузлів. Скінченно-елементна схема рами налічує 26160 елементів і 26187 вузлів, контейнера – 266651 елементів та 378428 вузлів.

Граничні обмеження та навантаження показано на рис. 9.



- 1 – обмеження вертикальних переміщень нижніх поверхонь пружних тіл, що моделюють ресорні комплекти візків;
 2 – обмеження поперечних переміщень нижніх поверхонь пружних тіл, що моделюють ресорні комплекти візків;
 3 – обмеження повздовжніх переміщень автозчепу

а) – вид збоку; б) – вид спереду; в) – вид знизу

Рис. 9 – Схема граничних обмежень та навантажень

На механічну систему, що розглядається, діють об’ємні навантаження у вигляді прискорень a_x , a_y , a_z та поздовжня сила інерції візка F_{ib} . Нормативні навантаження приведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Нормативні навантаження згідно з ДСТУ EN 12663-2: 2018

Номер режиму	Назва режиму	Навантаження
1	Режим суперпозиції статичних навантажень для оцінки міцності в експлуатації	$a_x = 0; a_y = 1,3 g;$ $a_z = \frac{F}{m_b}; F_{ib} = m_{ib} \cdot a_z.$
2	Режим втомного навантаження	$a_x = \pm 0,2 g; a_y = (1 \pm 0,3) g;$ $a_z = 0; F_{ib} = 0.$

Згідно з ДСТУ EN 12663-2:2018 допустимі напруження для оцінки міцності конструкції, виготовленої зі сталі марки 09Г2С, при розгляді режиму 1: $[\sigma] = 325$ МПа, а поблизу зварних швів – $[\sigma] = 295$ МПа. Для режиму 2: $[\sigma] = 323$ МПа, а поблизу зварних швів – $[\sigma] = 294$ МПа.

Таким чином, розроблено скінченно-елементні моделі для оцінки НДС елементів вантажного вагона зі змінними кузовами при нормативних навантаженнях з урахуванням різних схем фітингових з'єднань кузова з рамою екіпажної частини вагона, наявності та відсутності зазорів в цих з'єднаннях, а також особливостей з'єднання рами екіпажної частини вагона з візком.

Результати досліджень. За допомогою розроблених скінченно-елементних моделей проведено дослідження НДС елементів вантажного вагона зі змінним кузовом при дії нормативних навантажень для різних схем кріплення кузова до рами екіпажної частини вагона. Оцінювалась необхідна для виконання нормативних вимог щодо міцності конструкції вагона в експлуатації кількість та місце розташування фітингових з'єднань, наявність в них зазорів та додаткових елементів, що роблять їх беззасторожними.

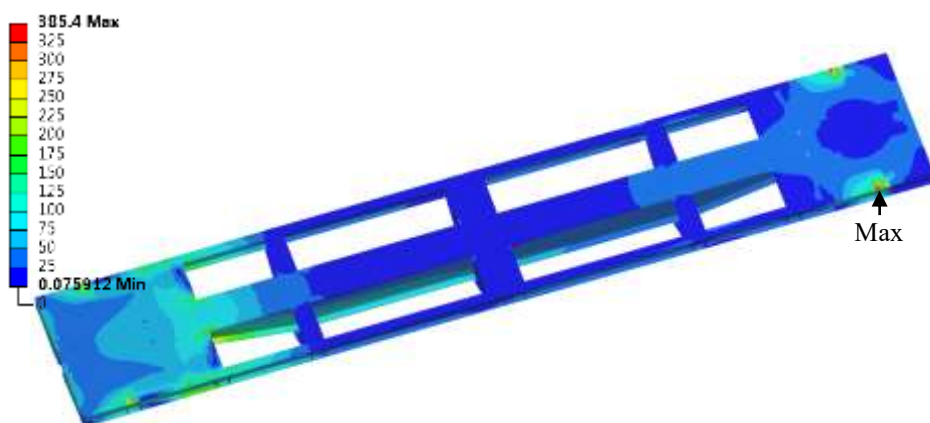
Опис розрахункових варіантів та отримані максимальні значення напружень в елементах досліджуваних конструкцій приведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахункові варіанти та відповідні максимальні значення напружень

Номер варіанта	Номер режиму навантажень	Кількість фітингових з'єднань	Номер схеми фітингових з'єднань	Максимальне значення напруження, МПа
1	1	4	1	385
2	1	8	2	276
3	1	8	3	305
4	1	12	4	242
5	1	12	5	247
6	1	16	6	239
7	2	4	1	305
8	2	8	2	212
9	2	8	3	238
10	2	12	4	206
11	2	12	5	212
12	2	16	6	206

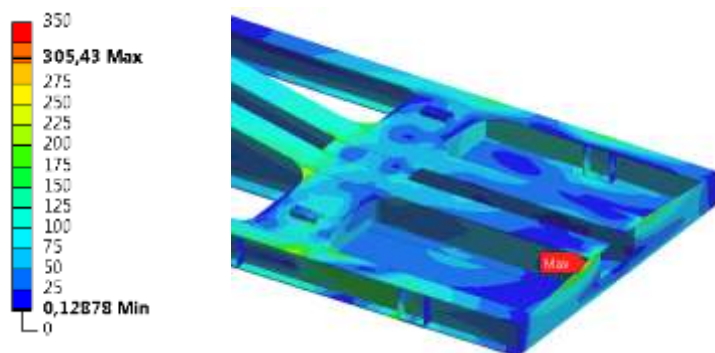
Як видно з табл. 2 тільки для варіанта 1 максимальні значення напруження перевищують допустимий рівень 325 МПа. Схема 1 (4 з'єднання фітингів кузова з групами упорів 1) не забезпечить міцності розглянутої рами екіпажної частини вагона зі змінним кузовом при навантаженнях режиму 1.

Напруження для схеми 2 при навантаженнях режиму 2 (варіант 7) не перевищують допустимого рівня. НДС елементів рами для варіантів 1 та 7 показано на рис. 10 – 11.



Значення напружень дано в МПа

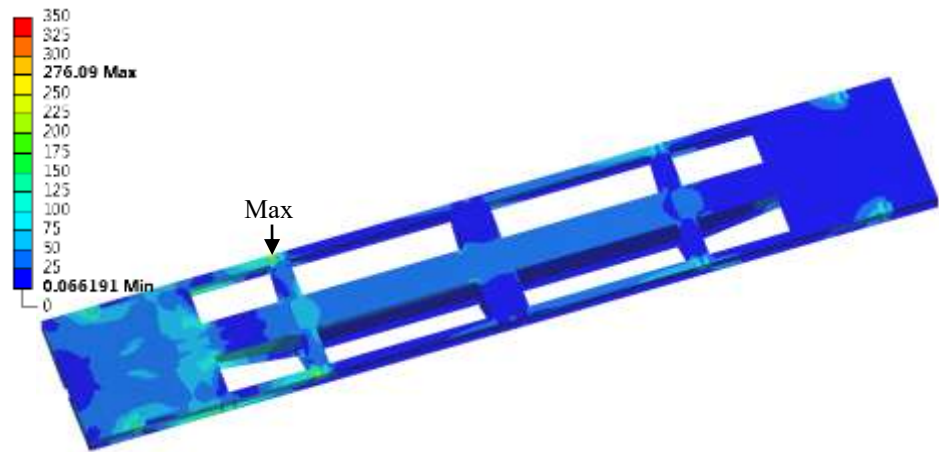
Рис. 10 – Розподіл напружень в елементах рами екіпажної частини вагона зі змінним кузовом (варіант 1)



Значення напружень дано в МПа

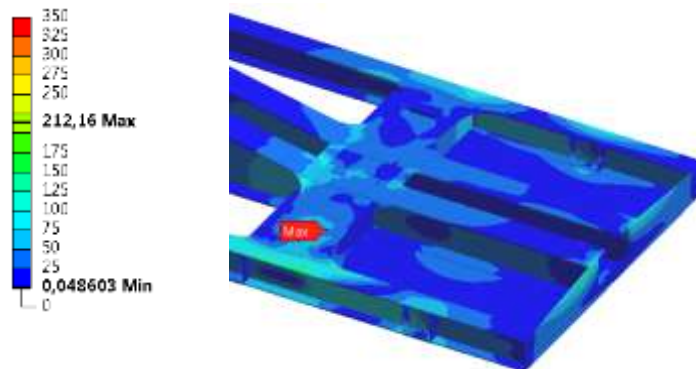
Рис. 11 – Розподіл напружень в найбільш навантаженій передній частині рами екіпажної частини вагона зі змінним кузовом (варіант 7)

З табл. 2 (варіанти 2, 8) видно, що для забезпечення міцності розглянутої конструкції рами екіпажної частини вантажного вагона згідно з вимогами ДСТУ EN 12663-2:2018 доцільно використовувати схему 2 (8 з'єднань фітінгів кузова з групами упорів 1 і 3). Така схема має переваги порівняно зі схемою 3 (варіанти 3, 9), оскільки відповідає меншому рівню максимальних напружень в елементах рами екіпажної частини вагона при нормативних навантаженнях. НДС елементів рами екіпажної частини вагона зі змінним кузовом для варіантів 2, 8 показано на рис. 12 – 13.



Значення напружень дано в МПа

Рис. 12 – Розподіл напружень в елементах рами екіпажної частини вагона зі змінним кузовом (варіант 2)



Значення напружень дано в МПа

Рис. 13 – Розподіл напружень в найбільш навантаженій передній частині рами екіпажної частини вагона зі змінним кузовом (варіант 8)

Слід зазначити, що на теперішній час спеціальні нормативні документи, які регламентують вимоги до міцності змінних кузовів і навантажень, що мають місце в експлуатації, та методи випробувань даних кузовів в Україні відсутні. Вагон зі змінними кузовами повинен розроблятися як єдиний вантажний вагон за діючими залізничними стандартами ДСТУ EN 12663-2:2018, ДСТУ 7598. Стандарт ДСТУ 7598 передбачає вимоги до міцності конструкції вагона при його розпуску на сортувальних гірках. При цьому режимі нормативні поздовжні навантаження в 1,75 рази вище розглянутих (режим 1 ДСТУ EN 12663-2:2018). Якщо при проєктуванні вантажного вагона зі змінним кузовом буде передбачений режим розпуску з гірок, то за результатами виконаних розрахунків потрібно передбачити не менше 16 фітингових з'єднань з додатковими затискними елементами, які забезпечать роз'ємні беззасторожні кріплення кузова до екіпажної частини вагона та її міцність згідно з вимогами ДСТУ 7598.

За результатами виконаних досліджень розроблено такі рекомендації щодо елементів кріплення, які забезпечують безпеку перевезень вантажів у вагонах зі змінними кузовами:

- конструкції елементів кріплення для вітчизняного вагона зі змінними кузовами мають бути роз'ємними, але при експлуатації забезпечувати надійне жорстке з'єднання кузова та екіпажної частини вагона;

- конструкцію пристрою кріплення змінного кузова до екіпажної частини вагона потрібно проєктувати з урахуванням можливості її швидкого монтажу та демонтажу;

- пристрої кріплення змінного кузова до платформи доцільно проєктувати та розміщувати таким чином, щоб забезпечити максимально рівномірний розподіл навантаження на платформу при нормативних навантаженнях;

- при виборі конструкцій елементів кріплення для вітчизняного вагона зі змінними кузовами доцільно використати досвід швейцарської компанії "WASCOSA", зокрема здійснення кріплення змінних кузовів за допомогою клиноподібних упорів з регульованими затискними елементами;

- відповідно до вимог стандарту ДСТУ EN 12663-2:2018 кріплення змінного кузова з вантажем загальною масою 73,6 т до рами екіпажної частини вагона, за яку обрано розглянуту фітингову платформу, доцільно здійснювати за допомогою 8 фітингових з'єднань, розташованих за схемою 2 (8 з'єднань фітингів кузова з групами упорів 1 і 3), з додатковими затискними елементами, що роблять ці з'єднання беззасторожними у поздовжньому напрямку та у поперечному з зовнішньої сторони рами;

- якщо при проєктуванні вантажного вагона зі змінним кузовом буде передбачений режим розпуску з гірок, то за результатами виконаних розрахунків потрібно передбачити не менше 16 фітингових з'єднань (схема 6) з додатковими затискними елементами, які забезпечать роз'ємні беззасторожні кріплення кузова до екіпажної частини вагона та її міцність згідно з вимогами ДСТУ 7598;

- екіпажна частина вагона зі змінними кузовами може відрізнятися від фітингової платформи. Для кожного типу такої екіпажної частини вагона потрібно проєктувати свої змінні кузова, забезпечивши сумісність роз'ємних беззасторожних елементів їх кріплень.

В цілому при проєктуванні вагонів зі змінними кузовами особливу увагу потрібно приділити розробці спеціальних роз'ємних беззасторожних з'єднань кузова з екіпажною частиною вагона, які забезпечують його безпечну експлуатацію. Конструкції таких з'єднань залежать від типу екіпажної частини вагона, її вантажопідйомності, маси та габаритів змінного кузова. Якщо екіпажною частиною вагона є фітингова платформа, а маси та габарити змінного кузова не перевищують маси та габаритів 45-футового контейнера, то достатньо чотирьох звичайних фітингових з'єднань [20]. В іншому випадку потрібна установка на рамі екіпажної частини більшої кількості фітингових упорів (доцільно їх робити відкидними), а на змінному кузові – фітингів з додатковими затискними елементами, які дозволять зробити ці фітингові з'єднання беззасторожними. Якщо екіпажною частиною вагона не є фітингова платформа, то беззасторожне з'єднання змінних кузовів з рамою екіпажної частини може бути здійснено через передбачені в їх конструкціях спеціальні елементи з відповідними формами контактних поверхонь та додатково встановлені кріпильні елементи.

Висновки. Проведено аналіз існуючих конструкцій елементів кріплення кузова до рами екіпажної частини вагона зі змінними кузовами. За відсутності на теперішній час в Україні діючих проєктів зі створення вагонів зі змінними кузовами, розглянуто вантажний вагон зі змінним кузовом, екіпажною частиною якого є вагон-платформа для контейнерних перевезень, кузов має габарити 45-футового контейнера. Маса кузова з вантажем дорівнює вантажопідйомності вагона-платформи – 73,6 т. Результати попередніх досліджень показали, що чотири фітингових з'єднання при наявності в них зазорів не забезпечують міцності такого вагона зі змінним кузовом в експлуатації згідно з ДСТУ EN 12663-2:2018. Визначено напрямки удосконалення конструкцій кріплення змінного кузова до рами екіпажної частини вагона: збільшення кількості елементів кріплення, які передають експлуатаційні навантаження від кузова на раму, та застосування додаткових затискних елементів для вибору зазорів. Розроблено скінченно-елементні моделі для дослідження НДС елементів вантажного вагона зі змінними кузовами при нормативних навантаженнях з урахуванням різних схем кріплення кузова до екіпажної частини вагона. В результаті проведених досліджень встановлено, що для виконання вимог ДСТУ EN 12663-2:2018 достатньо, щоб кріплення кузова до рами екіпажної частини вагона здійснювали 8 фітингових з'єднань з додатковими елементами, що роблять їх беззазорними у поздовжньому напрямку та у поперечному з зовнішньої сторони рами. Визначено схему з'єднань кузова з рамою екіпажної частини вагона, при якій напруження в елементах рами є найменшими. Розроблено рекомендації щодо елементів кріплення, які забезпечують безпеку перевезень вантажів у вагонах зі змінними кузовами.

1. Національна економічна стратегія 2030. URL: <https://nes2030.org.ua/#rec246067109> (дата звернення: 01.11.2023).
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 03 березня 2021 р. № 179 Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-natsionalnoyi-eko-a179> (дата звернення: 01.11.2023).
3. Орлова А. В чем отличия и преимущества сменных и съемных кузовов грузовых вагонов. URL: <https://wagon-cargo.ru/news/v-chem-otlichiya-i-preimushchestva-smennykh-i-semnykh-kuzovov-gruzovykh-vagonov/> (дата звернення: 30.11.2021).
4. Давидан А. Сменный кузов вагона – перспективная инновация в сфере транспортных услуг. URL: <https://spec.rzd-partner.ru/page16921814.html> (дата звернення: 30.11.2021).
5. Давидан А. Е., Бороненко Ю. П. Сменный кузов вагона – перспективная инновация в сфере транспортных услуг. URL: <http://%D0%BC%D0%BE%D1%8F%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%8F1520.%D1%80%D1%84/new/7411/> (дата звернення: 30.11.2021).
6. Вагоны со сменными кузовами. URL: https://www.uniwagon.com/multimedia/media_about_us/vagony-so-smennymi-kuzovami/ (дата звернення: 30.11.2021).
7. New body module for the WASCOSA flex freight system® in successful practical use [Електронний ресурс]. URL: https://www.wascosa.ch/en/media/press-releases/new-body-module-for-the-wascosa-flex-freight-system-in-successful-practical-use_m424 (дата звернення: 01.11.2023).
8. Innovations WASCOSA flex freight system® with timber cassette swap body. URL: https://www.wascosa.ch/wagenpark/pdf/en/innovationen/inno_wascosa_flex_freight_system_timber_swap_body.pdf (дата звернення: 01.11.2023).
9. Innovations WASCOSA flex freight system® with E-type swap body. URL: https://www.wascosa.ch/wagenpark/pdf/en/innovationen/inno_wascosa_flex_freight_system_e_type_swap_body.pdf (дата звернення: 01.11.2023).
10. Wascosa introduces the Wascosa flex freight system for transporting chemical products. URL: <https://tank-newsinternational.com/wascosa-introduces-the-wascosa-flex-freight-system-for-transporting-chemical-products/> (дата звернення: 01.11.2023).
11. TransANT: инновационные грузовые вагоны. URL: <https://www.railway.supply/transant-innovacionnye-gruzovye-vagony/> (дата звернення: 08.05.2023).
12. В Австрии изготовлена первая партия инновационных модульных грузовых вагонов. URL: https://logist.today/dnevnik_logista/2019-11-23/v-avstrii-izgotovlena-pervaja-partija-innovacionnyh-modulnyh-gruzovyh-vagonov/ (дата звернення: 01.11.2023).
13. Шестиосный вагон-платформа сочлененного типа со сменными кузовами, модель 13-9994*. URL: <http://%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F%D0%BE%D0%B2%D0%BA.online/view/wagons/13-9994/> (дата звернення: 30.11.2021).

14. DB Cargo and VTG get a permit for producing m2 wagons. URL: <https://www.railtarget.eu/freight/db-cargo-and-vtg-get-a-permit-for-producing-m2-wagons-2097.html> (дата звернення: 01.11.2023).
15. Kiruna Wagon. URL: <https://kirunawagon.com/wagons/modular-system>
16. Modular System. URL: <https://adortech.com/products/railway/freight-wagons/modular-system>
17. ДСТУ ISO 668:2015 (ISO 668:2013, IDT) Вантажні контейнери серії 1. Класифікація, розміри та номінальні характеристики. URL: <http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1&l=3776> (дата звернення: 01.11.2023).
18. ДСТУ EN 12663-2:2018 (EN 12663-2:2010, IDT) Залізничний транспорт. Конструкційні вимоги до кузовів залізничних транспортних засобів. Частина 2. Вантажні вагони. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=81572 (дата звернення: 01.11.2023).
19. ПАТ “Крюківський вагонобудівний завод”. Вагон-платформа модель 13-7133 і 13-7133-01. URL: <https://www.kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhne-vagonobuduvannya/vagoni-platformi/item/2415-vahon-platforma-model-13-7133-i-13-7133-01> (дата звернення: 01.11.2023).
20. *Соболевська М. Б., Горобець Д. В.* Математичне моделювання напружено-деформованого стану елементів вантажного вагона зі змінним кузовом при експлуатаційних навантаженнях. Технічна механіка. 2023. № 2. С. 91 – 104. <https://doi.org/10.15407/itm2023.02.091>

Отримано 27.10.2023,
в остаточному варіанті 24.11.2023