

УДК 629.463.65:656.2.073.235

С. В. ПАНЧЕНКО¹, А. О. ЛОВСЬКА^{2*}, М. В. ПАВЛЮЧЕНКОВ^{3, 4},
П. В. РУКАВІШНИКОВ⁵

¹Каф. «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів», Український державний університет залізничного транспорту, майд. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 00, ел. пошта panchenko074@ukr.net, ORCID 0000-0002-7626-9933

^{2*}Каф. «Інженерія вагонів та якість продукції», Український державний університет залізничного транспорту, майд. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 35, ел. пошта alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

³Каф. «Теоретична і будівельна механіка», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, Україна, 61002, тел. +38 (057) 707 31 25, ел. пошта pavliuchenkov@ukr.net, ORCID 0000-0003-0542-7284

⁴Каф. будівельних конструкцій, Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кондратьєва, 160, Суми, Україна, 40000, тел. +38 (0542)70 11 86, ел. пошта pavliuchenkov@ukr.net, ORCID 0000-0003-0542-7284

⁵Каф. «Теплотехніка, теплові двигуни та енергетичний менеджмент», Український державний університет залізничного транспорту, майд. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 21, ел. пошта Rukavishnikov@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-9670-3071

Особливості проектування зйомного модуля для кріплення контейнерів у піввагонах

Мета. Основною метою роботи є висвітлення особливостей проектування конструкції зйомного модуля для кріплення контейнерів у піввагонах. **Методика.** Для безпечного перевезення контейнерів у піввагоні запропоновано використати зйомний модуль. Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між контейнером та кузовом піввагона. Вибір профілів виконання балок каркаса зйомного модуля здійснено за моментами опору їх складових. Для цього було побудовано стрижневу систему каркаса зйомного модуля та проведено його розрахунок із використанням програмного комплексу «Ліра – САПР». За максимальним згинальним моментом, що діє в каркасі модуля через момент опору, та відомими допустимими напруженнями підібрано профіль виконання балок каркаса. З урахуванням обраного профілю виконання каркаса побудовано його просторову модель та проведено розрахунок на міцність. Для розрахунків на міцність застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation. Розрахунок проведено для двох схем навантажень зйомного модуля: дія вертикального навантаження і дія вертикального та поздовжнього навантаження. **Результати.** На підставі проведеного розрахунку за визначеним значенням моменту опору обрано профіль виконання зйомного модуля – квадратна труба з висотою та шириною 300 мм та товщиною стінки 5 мм. Результати розрахунків на міцність зйомного модуля показали, що для випадку сприйняття ним вертикального навантаження максимальні напруження складають 112,5 МПа. Максимальні переміщення виникають у верхніх частинах надбудов і дорівнюють близько 1 мм. Для випадку сприйняття зйомним модулем вертикального та поздовжнього навантажень максимальні напруження в його конструкції склали 287,6 МПа. Максимальні переміщення виникають у торцевій надбудові, розміщеній з боку прикладення навантаження до зйомного модуля. Ці переміщення склали 2,16 мм. Отже, міцність зйомного модуля для розглянутих схем навантажень забезпечується. **Наукова новизна.** Запропоновано науковий підхід до проектування конструкції зйомного модуля для кріплення контейнерів у піввагонах. **Практична значимість.** Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування конструкцій транспортних засобів модульного типу, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

Ключові слова: залізничний транспорт; піввагон; адаптація конструкції; зйомний модуль; навантаженість конструкції; контейнерні перевезення

Вступ

Транспортна галузь уже тривалий час є генератором розвитку економіки європейських країн. При цьому однією з найбільш перспективних складових транспортної галузі є заліз-

ничний транспорт [8, 9]. Утримання його конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг зумовило впровадження в експлуатацію комбінованих транспортних систем, найбільш затребуваними серед яких є контейнерні [7].

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Перевезення контейнерів залізницею здійснюються на вагонах-платформах. Нестача вагонів-платформ в експлуатації викликає необхідність використання інших типів вагонів під контейнерні перевезення, наприклад, піввагонів (рис. 1).

a – a



б – б



Рис. 1. Перевезення контейнерів у піввагонах:

a – завантаження контейнерів у піввагон;
б – розміщення контейнерів у піввагоні

Fig. 1. Transportation of containers in gondola cars:

a – loading containers into a gondola car;
b – placement of containers in a gondola car

Це обґрунтовано відсутністю даху в напіввагоні, що дозволяє здійснювати його завантаження в нього контейнерів. Однак використання піввагонів для перевезення контейнерів потребує забезпечення надійної схеми їх взаємодії, адже піввагон не пристосований для цих цілей. Унаслідок податливості контейнера в піввагоні може мати місце пошкодження не тільки самого контейнера та вантажу який у ньому перевозять, а й кузова піввагона. Це не тільки спричинити необхідність позапланових видів ремонту транспортних засобів, а й може призвести до аварій. У випадку перевезень небезпечних вантажів це додатково загрожує й екологічній безпеці. Тому питання ситуаційної адаптації піввагонів до перевезень контейнерів є досить актуа-

льними та потребують дослідження, як і питання створення залізничного рухомого складу для перевезень контейнерів, а також удосконалення схем їх закріплень під час транспортування.

Так, наприклад, особливості модернізації вантажного вагона для перевезення контейнерів висвітлено в роботі [15]. Автори запропонували впровадити зйомну раму. Така рама призначена для розміщення 20 та 40-футових контейнерів, її кріплять до рами вагона. Доведено, що запропоновані рішення щодо використання зазначеної рами є ефективними. Однак автори обмежилися обґрунтуванням застосування запропонованої рами на вагоні-платформі.

Рішення щодо ситуаційної адаптації піввагонів до перевезень контейнерів наведено в роботі [10]. Запропоновано спеціальний зйомний модуль для закріплення контейнерів у піввагоні. Такий модуль є багатофункціональним, його можна використати для перевезень і інших типів вантажів. У статті наведено приклад його застосування для перевезень довгомірних вантажів. Однак автори не приділили уваги дослідженню міцності несної конструкції піввагона та контейнера з урахуванням використання такого модуля.

Особливості розрахунку на міцність підлоги 40-футового контейнера під час його перевезення водним транспортом розглянуто в роботі [14]. Ця робота має практичне значення, оскільки автори досліджували певний маршрут перевезень контейнерів. Запропоновано рекомендації щодо безпечної експлуатації цього типу контейнера за цим маршрутом. Однак ці рішення не є ефективними в разі його перевезення залізничним транспортом, зокрема в піввагонах.

У роботі [12] для адаптації транспортних засобів до перевезень контейнерів запропоновано конструкцію зйомного модуля типу FLAT RACK. Висвітлено результати розрахунку зйомного модуля на міцність за умови його використання на вагоні-платформі. Результати розрахунку довели доцільність запропонованої конструкції модуля. Разом з цим автори не досліджували можливість його використання для кріплення контейнерів у піввагонах.

Робота [11] присвячена визначенню навантаженості піввагона під час перевезення в ньому контейнерів. Наведено розрахунок на міц-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ність кузова вагона в разі сприйняття ним по-здовжніх навантажень від контейнерів через фітингові упори, приварені до підлоги. Запропоновано рішення щодо вдосконалення схеми закріплення контейнерів у піввагоні. Однак ці рішення запропоновано як концепти. У роботі не наведено прикладів реалізації цих рішень.

Для можливості застосування вагона-платформи під перевезення довгомірних вантажів у публікації [16] запропоновано конструкцію зйомного модуля. Особливістю такого модуля є наявність пружно-фрикційних зв'язків у рамі, що зменшує вертикальні навантаження, які діють на його конструкцію під час експлуатації. Конструкцію цього зйомного модуля можна пристосувати і до перевезень контейнерів, однак автори не досліджували ці питання.

У роботі [4] проведено дослідження міцності кузова універсального піввагона під час перевезення в ньому контейнерів. Результати проведених розрахунків показали, що перевезення контейнерів у піввагоні за досліджуваної схеми навантажень кузова є можливими. Водночас зазначено, що в умовах наднормових режимів, тобто коли поздовжня сила на передні упори в разі «ривку» буде перевищувати 2,5 МН [2], величина напружень у кузові піввагона може перевищувати допустиме значення. Однак рішень щодо зменшення цих напружень автори не запропонували.

Особливості модернізації несної конструкції вагона для можливості перевезень у ньому контейнерів висвітлено в публікації [13]. Наведено результати експериментальних досліджень міцності рами вагона у випадку маневрового співударяння. Установлено, що запропонована модернізація є доцільною. Але ці дослідження проведено для вагона-платформи. Тобто автори не досліджували доцільність подібної модернізації піввагона.

Проведений аналіз літературних джерел доводить, що питання перевезень контейнерів залізницею є досить актуальним, але для можливості залучення до таких перевезень піввагонів необхідно провести додаткові дослідження.

Мета

Основною метою роботи є висвітлення особливостей проектування конструкції зйомного модуля для кріплення контейнерів у піввагонах.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- визначити профіль виконання конструкції зйомного модуля;
- провести розрахунок на міцність конструкції зйомного модуля.

Методика

Для безпечного перевезення контейнерів у піввагоні запропоновано використання зйомного модуля. Цей модуль працює за принципом проміжного адаптера між контейнером та кузовом піввагона (рис. 2).

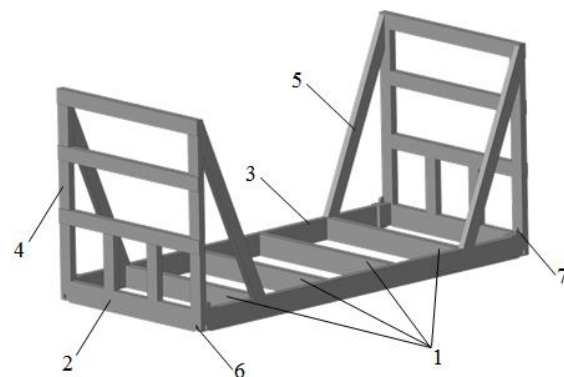


Рис. 2. Модуль для кріплення контейнерів у піввагоні

Fig. 2. Module for fastening containers in a gondola car

Модуль складається з рами, яку утворюють поперечні балки 1, кінцеві балки 2, поздовжні балки 3, торцеві надбудови 4 та розкоси 5. Модуль в піввагоні оснащений кутковими фітингами 6 для кріплення. Контейнери кріплять у модулі через фітингові упори 7. Кріплення самого модуля в піввагоні здійснюють через фітингові упори, які розміщують на підлозі піввагона.

Розміщення контейнерів у піввагоні з урахуванням застосування зйомного модуля для їх кріплення наведено на рис. 3.

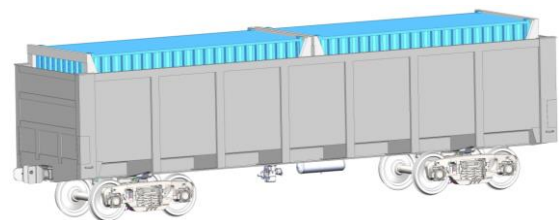


Рис. 3. Розміщення контейнерів у піввагоні

Fig. 3. Placement of containers in a gondola car

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Вибір профілів виконання балок каркаса зйомного модуля здійснено за їх моментами опору. Для цього було побудовано стрижневу систему каркаса зйомного модуля (рис. 4, 5) та проведено його розрахунок із використанням програмного комплексу «Ліра – САПР» [1]. Цей комплекс дозволяє визначати внутрішні фактори, що діють у стрижнях у випадку прикладання до них зовнішнього навантаження. Як зовнішнє навантаження враховано поздовжнє, яке діє на торцеву надбудову зйомного модуля (рис. 6). Оскільки рама зйомного модуля прилягає до підлоги піввагона, то вертикальне навантаження, яке діє на неї, не враховано.

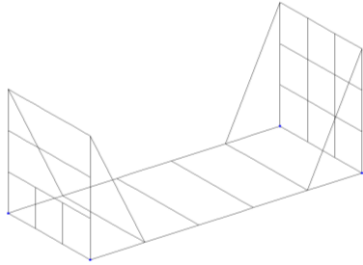


Рис. 4. Стрижнева система каркаса зйомного модуля

Fig. 4. Rod system of the removable module frame

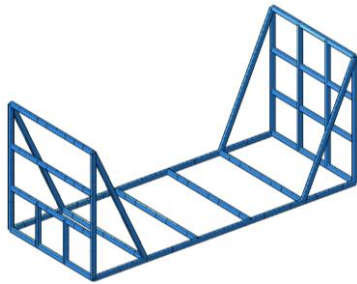


Рис. 5. Просторова модель каркаса зйомного модуля з нанесенням сітки

Fig. 5. Spatial model of the frame of the removable module with a grid

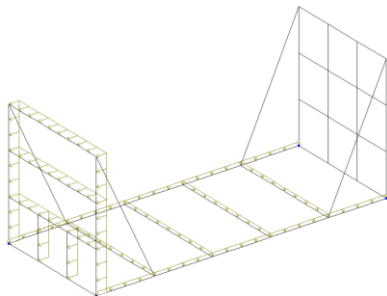


Рис. 6. Розрахункова схема каркаса

Fig. 6. Design scheme of the frame

У зонах упирання каркаса на фітінгові упори встановлено жорсткі зв'язки, тобто таким чином змодельовано взаємодію зйомного модуля з піввагоном.

На підставі проведених розрахунків у ПК «Ліра – САПР» отримано епюри моментів, які діють у складових каркаса зйомного модуля (рис. 7–9). Помаранчевим кольором показано додатні значення силових факторів, а блакитним – від'ємні.

Відносно поздовжньої осі зйомного модуля діє крутний момент (рис. 7). Його максимальне значення спостерігається в нижньому поясі торцевої надбудови і дорівнює 8,176 кН·м.

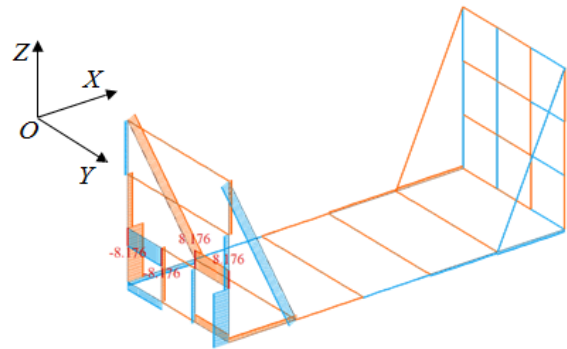


Рис. 7. Епюра крутних моментів, що діють у каркасі відносно осі X (кН·м)

Fig. 7. Epicure of torques, acting in the frame relative to the X-axis (kN·m)

Відносно поперечної осі зйомного модуля діє згинальний момент. Його максимальне значення спостерігається в зонах взаємодії розкосів із поздовжніми балками і складає 206,7 кН·м (рис. 8).

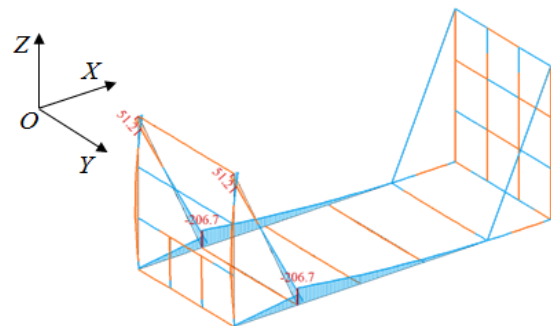


Рис. 8. Епюра згинальних моментів, що діють у каркасі відносно осі Y (кН·м)

Fig. 8. Bending moment diagram, acting in the frame relative to the Y-axis (kN·m)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Відносно вертикальної осі на зйомний модуль діє згинальний момент із максимальним значенням $21,52 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (рис. 9).

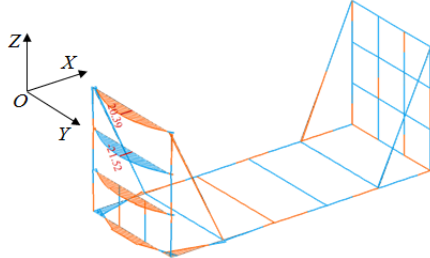


Рис. 9. Епюра згинальних моментів, що діють у каркасі відносно осі Z ($\text{кН} \cdot \text{м}$)

Fig. 9. Bending moment diagram, acting in the frame relative to the Z -axis ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

Також на конструкцію зйомного модуля діють поздовжні (рис. 10) та поперечні сили (рис. 11, 12). Максимальне значення поздовжньої сили спостерігається в розкосах і дорівнює 246 кН (рис. 10).

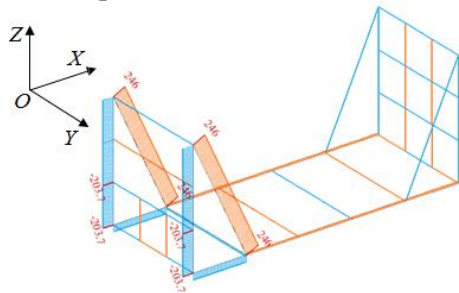


Рис. 10. Епюра поздовжніх сил, що діють у каркасі (кН)

Fig. 10. Diagram of longitudinal forces acting in the frame (kN)

Максимальні поперечні сили відносно осі Y виникають у нижньому поясі торцевої надбудови і складають $42,28 \text{ кН}$ (рис. 11).

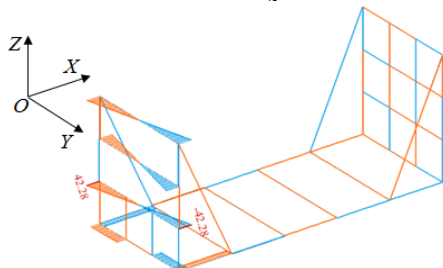


Рис. 11. Епюра поперечних сил, що діють у каркасі відносно осі Y (кН)

Fig. 11. Diagram of transverse forces acting in the frame relative to the Y -axis (kN)

Відносно осі Z максимальне значення поперечної сили виникає у вертикальній стійці торцевої надбудови і складає $105,1 \text{ кН}$ (рис. 12).

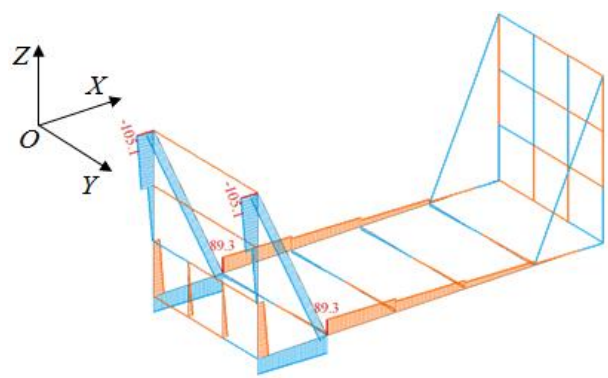


Рис. 12. Епюра поперечних сил, що діють у каркасі відносно осі Z (кН)

Fig. 12. Diagram of transverse forces acting in the frame relative to the Z -axis (kN)

Під дією зовнішнього навантаження конструкція зйомного модуля буде випробовувати деформації. На рис. 13 наведено ці деформації у збільшеному масштабі. Тобто з урахуванням дії зовнішніх навантажень на модуль його рама «вгинається» вгору, а торцеві надбудови – навоні.

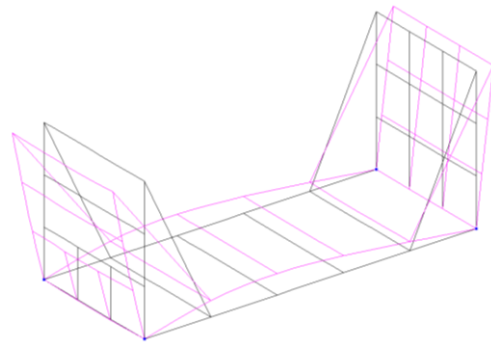


Рис. 13. Деформації в конструкції зйомного модуля

Fig. 13. Deformations in the structure of the removable module

За максимальним згинальним моментом M , що діє в каркасі зйомного модуля через момент опору W , та відомими допустимими напруженнями $[\sigma]$ підібрано профіль виконання балок каркаса. Для цього застосовано відомий вираз: $W = M/[\sigma]$ [6]. Враховано, що модуль складається зі сталі марки 09Г2С, яка має $[\sigma] = 310,5 \text{ МПа}$ [2]. Тоді $W = 546,8 \text{ см}^3$.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

За цим моментом опору як профіль виконання каркаса запропоновано застосувати квадратну трубу (рис. 14 [3]).

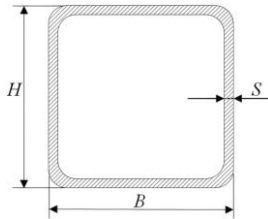


Рис. 14. Переріз труби:

H – висота; B – ширина; S – товщина стінки

Figure 14. Section of the pipe:

H – height; B – width; S – wall thickness

Цей профіль є досить зручним і з технологічних міркувань, а саме монтажу й обслуговування. Параметри профілів, які обрано за сортаментом прямокутних труб, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри профілів виконання каркаса

Table 1

Parameters of the frame execution profiles

Висота та ширина профілю, мм	Момент опору, см ³	Товщина стінки, мм	Маса 1 м, кг
250	547,19	7,5	55,59
300	561,13	5,0	45,81

З аналізу даних, наведених у табл. 1, можна зробити висновок, що більш раціональним є застосування профілю висотою та шириною 300 мм.

Результати

З урахуванням обраного профілю виконання каркаса побудовано його просторову модель та проведено розрахунок на міцність. Для розрахунків на міцність застосовано метод скінченних елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation [5]. Під час створення моделі не враховано зварювальні шви між окремими складовими каркаса. Скінченно-елементу модель каркаса утворено тетраедрами (рис. 15), оскільки сітку нанесено на твердому тілі. Число тетраедрів, які утворюють сітку, розраховано графоаналітично. З урахуванням цього кількість вузлів складала – 40 688, а елементів – 110 331. Най-

більший елемент мав розмір 100 мм, найменший – 20 мм. Розрахунок реалізовано для двох схем навантажень зйомного модуля:

- дія вертикального навантаження (рис. 16);
- дія вертикального та поздовжнього навантажень (рис. 17).

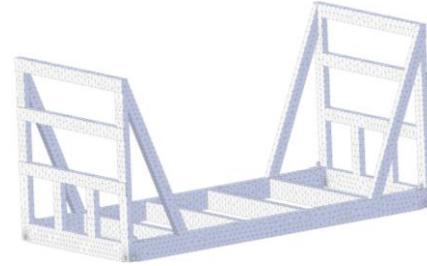


Рис. 15. Скінченно-елементна модель зйомного модуля

Fig. 15. Finite element model of the removable module

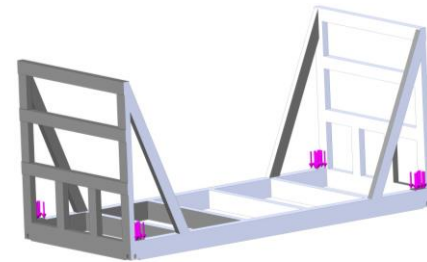


Рис. 16. Розрахункова схема зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального навантаження

Fig. 16. Design scheme of the removable module when it is subjected to a vertical load

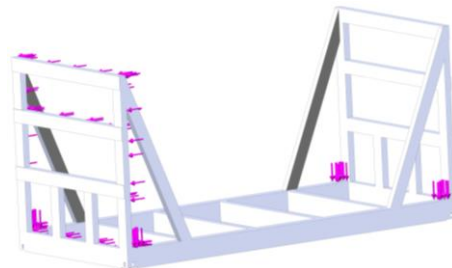


Рис. 17. Розрахункова схема зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального та поздовжнього навантажень

Fig. 17. Design scheme of the removable module when it is subjected to vertical and longitudinal loads

За проведеними розрахунками для випадку сприйняття зйомним модулем вертикального навантаження найбільш навантаженими зонами його конструкції є зони взаємодії поперечних балок із поздовжніми (рис. 18).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

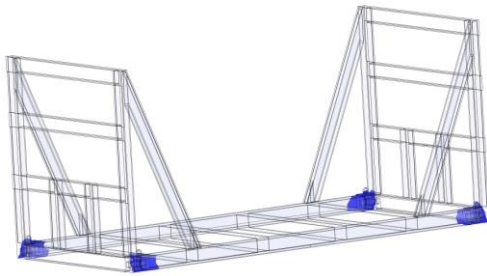


Рис. 18. Найбільш навантажені зони конструкції зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального навантаження

Fig. 18. The most loaded zones of the removable module structure in case of vertical load perception

Максимальні напруження, які виникають у цих зонах, склали 112,5 МПа (рис. 19), що нижче за допустимі для марки сталі 09Г2С [2], яка є типовою для виготовлення транспортних засобів залізничного призначення.

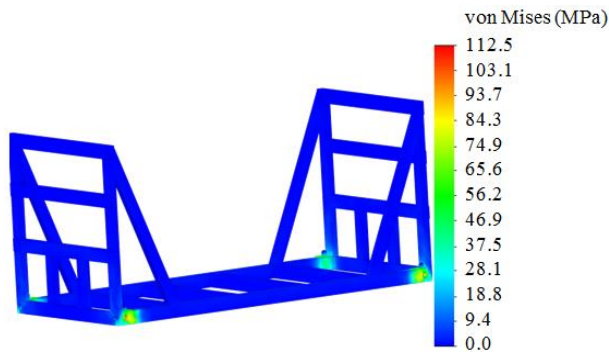


Рис. 19. Напружений стан зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального навантаження

Fig. 19. Stressed state of the removable module when it is subjected to a vertical load

Максимальні переміщення виникають у верхніх частинах торцевих надбудов і дорівнюють близько 1 мм (рис. 20).

Для випадку сприйняття зйомним модулем вертикального та поздовжнього навантажень найбільш навантаженими зонами його конструкції є зони взаємодії поперечних балок із поздовжніми, які розміщені з боку навантажених фітингів (рис. 21).

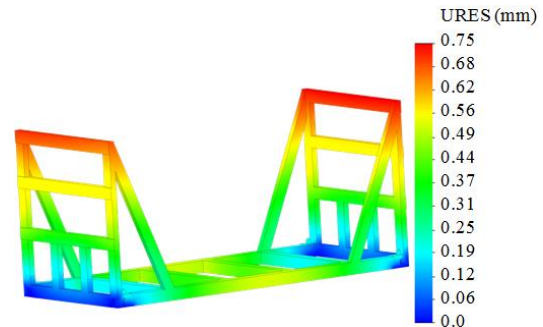


Рис. 20. Переміщення у вузлах зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального навантаження

Fig. 20. Displacement in the assemblies of the removable module when it is subjected to a vertical load

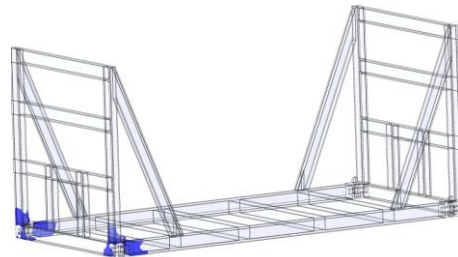


Рис. 21. Найбільш навантажені зони конструкції зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального та поздовжнього навантажень

Fig. 21. The most loaded zones of the removable module structure when it is subjected to vertical and longitudinal loads

Максимальні напруження, які виникають у цих зонах, склали 287,6 МПа (рис. 22), що нижче за допустимі на 7,4 % [2].

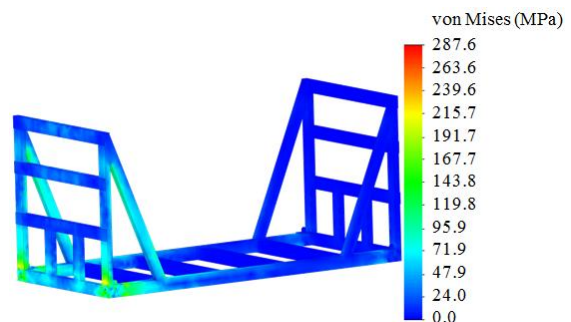


Рис. 22. Напружений стан зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального та поздовжнього навантажень

Fig. 22. Stressed state of the removable module when it is subjected to vertical and longitudinal loads

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Максимальні переміщення в конструкції виникають у торцевій надбудові, розміщеній з боку прикладення навантаження до зйомного модуля. Ці переміщення склали 2,16 мм (рис. 23).

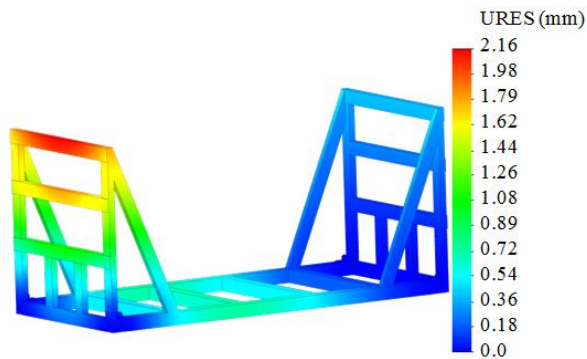


Рис. 23. Переміщення у вузлах зйомного модуля в разі сприйняття ним вертикального та поздовжнього навантажень

Fig. 23. Displacements in the assemblies of the removable module when it is subjected to vertical and longitudinal loads

Результати проведених розрахунків доводять доцільність вибору обраного профілю виконання зйомного модуля.

На подальших етапах дослідження передбачено визначити міцність зйомного модуля в разі наднормових режимів експлуатації. Також буде розглянуто можливі приклади використання зйомного модуля для перевезень інших типів вантажів, що підвищить його затребуваність в експлуатації.

Наукова новизна та практична значимість

Запропоновано науковий підхід до проектування конструкції зйомного модуля для кріплення контейнерів у піввагонах.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування конструкцій транспортних засобів модульного типу, а також підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

Висновки

1. Визначено профіль виконання конструкції зйомного модуля для кріплення контейнерів у піввагонах. При цьому його конструкцію розглянуто як стрижневу систему. На підставі проведеного розрахунку за визначеним значенням моменту опору обрано профіль виконання зйомного модуля – квадратна труба з висотою та шириною 300 мм та товщиною стінки 5 мм.

2. Проведено розрахунок на міцність конструкції зйомного модуля. До уваги взято два режими навантаження його конструкції: дія вертикального навантаження, дія вертикального та поздовжнього навантажень. Установлено, що для випадку сприйняття модулем вертикального навантаження максимальні напруження в його конструкції складають 112,5 МПа. Ці напруження зосереджені в зонах взаємодії поперечних балок із поздовжніми. Максимальні переміщення виникають у верхніх частинах надбудов і дорівнюють близько 1 мм.

Для випадку сприйняття зйомним модулем вертикального та поздовжнього навантажень максимальні напруження в його конструкції склали 287,6 МПа. Ці напруження зафіксовано в зонах взаємодії поперечних балок із поздовжніми, які розміщені з боку навантажених фітінгів. Максимальні переміщення в конструкції виникають у торцевій надбудові, розміщеній з боку прикладення навантаження до зйомного модуля. Ці переміщення склали 2,16 мм. Отже, міцність зйомного модуля для розглянутих схем навантажень забезпечується.

Подяка

Дана публікація підготовлена у рамках виконання стипендіальної роботи Верховної Ради України для молодих учених – докторів наук «Ефективні конструктивні рішення залізничного рухомого складу для перевезень стратегічних вантажів» (№ДР 0124U003906).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш М. С., Сорока М. М., Сур'янінов М. Г. *Нелінійна будівельна механіка з ПК Ліра – САПР*. Одеса : Екологія, 2018. 248 с.
2. *ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)*. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015. 250 с.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. ДСТУ 8940:2019. Труби сталеві профільні. Технічні умови. [Чинний від 01.01.2021]. Київ : ДП «Укр-НДНЦ», 2021.
4. Ловська А. О., Діжо Я., Рибін А. В., Рукавішников П. В. Особливості визначення показників міцності кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2024. № 26. С. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2024-26-9>
5. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. *Інженерна графіка в SolidWorks*: навчальний посібник. Луцьк : Вежа, 2018. 172 с.
6. Шваб'юк В. І. *Опір матеріалів*. Київ : Знання, 2016. 400 с.
7. Caban J., Nieoczum A., Gardyński L. Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 127, Article 105487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487>
8. Cuartero J., Miravete A., Sanz R. Design and calculation of a railway car composite roof under concrete cube crash. *International Journal of Crashworthiness*. 2011. Vol. 16. Iss. 1. P. 41–47. DOI: <https://doi.org/10.1080/13588265.2010.501163>
9. Dižo J. Analysis of a Goods Wagon Running on a Railway Test Track. *Manufacturing Technology*. 2016. Vol. 16. Iss. 4. P. 667–672. DOI: <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/mt/16/4/667>
10. Gerlici J., Lovska A., Vatulia G., Pavliuchenkov M., Kravchenko O., Solčanský S. Situational adaptation of the open wagon body to container transportation. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. Iss. 15. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13158605>
11. Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Skurikhin D., Harušinec J., Suchánek A., Ishchuk V. The Strength of the Open Wagon Body when Transporting Containers. *Proceedings of 27th International Scientific Conference. Transport Means*. 2023. P. 440–445.
12. Panchenko S., Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Pavliuchenkov M., Kravchenko K. The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. Iss. 1. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13010079>
13. Reidemeister A. H., Kalashnyk V. A., Shykunov A. A. Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Science Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. 2016. № 2 (62). P. 148–156. DOI: <https://doi.org/15802/stp2016/67334>
14. Rzeczycki A., Wiśnicki B. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.252.81>
15. Shaposhnyk V., Shykunov O., Reidemeister A., Leontii M., Potapenko O. Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-foot-long containers on an universal platform wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1, No. 7 (109). P. 14–21. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225090>
16. Vatulia G., Lovska A., Pavliuchenkov M., Nerubatskyi V., Okorokov A., Hordiienko D., Vernigora R., Zhuravel I. Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6 No. 7 (120). P. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>

S. V. PANCHENKO¹, A. O. LOVSKA^{2*}, M. V. PAVLIUCHENKOV^{3,4},
P. V. RUKAVISHNYKOV⁵

¹Dep. «Automation and Computer Telecontrol of Trains», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 00, e-mail panchenko074@ukr.net, ORCID 0000-0002-7626-9933

^{2*}Dep. «Wagon Engineering and Product Quality», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61500, tel. +38 (057) 730 10 35, e-mail alyonalovskaya.vagons@gmail.com, ORCID 0000-0002-8604-1764

³Dep. «Theoretical and Structural Mechanics», O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Marshala Bazhanova St. 17, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. +38 (057) 707 31 25, e-mail pavliuchenkov@ukr.net, ORCID 0000-0003-0542-7284

⁴Dep. Building constructions, Sumy National Agrarian University, Gerasim Kondratiev St., 160, Sumy, Ukraine, 40000, tel. +38 (0542) 70 11 86, e-mail pavliuchenkov@ukr.net, ORCID 0000-0003-0542-7284

⁵Dep. «Heat Engineering, Heat Engines and Energy Management», Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 21, e-mail Rukavishnikov@kart.edu.ua, ORCID 0000-0002-9670-3071

Design Features of a Removable Module for Securing Containers in Gondola Cars

Purpose. The main purpose of the study is to highlight the design features of the design of a removable module for fastening containers in gondola cars. **Methodology.** For the safe transportation of containers in gondola cars, it is proposed to use a removable module. This module operates on the principle of an intermediate adapter between the container and the open wagon body. The choice of the profiles of the beams of the frame of the removable module was made according to the moments of resistance of their components. To do this, the core system of the removable module frame was constructed and calculated using the Lira CAD software package. According to the maximum bending moment acting in the module frame due to the moment of resistance and the known permissible stresses, the profile of the frame beams was selected. Taking into account the selected profile of the frame, its spatial model was built and strength calculations were performed. The finite element method implemented in SolidWorks Simulation was used for strength calculations. The calculation was carried out for two loading schemes of the removable module: the effect of a vertical load and the effect of vertical and longitudinal loads. **Findings.** Based on the calculation, the profile of the removable module was selected according to the determined value of the resistance moment - a square pipe with a height and width of 300 mm and a wall thickness of 5 mm. The results of the strength calculations of the removable module showed that for the case of its perception of a vertical load, the maximum stresses are 112.5 MPa. The maximum displacements occur in the upper parts of the superstructures and are about 1 mm. For the case of the vertical and longitudinal loads perceived by the removable module, the maximum stresses in its structure amounted to 287.6 MPa. The maximum displacements occurred in the end superstructure located on the side of the load applied to the removable module. These displacements amounted to 2.16 mm. Thus, the strength of the removable module for the considered loading schemes is ensured. **Originality.** A scientific approach to the design of a removable module for securing containers in gondola cars is proposed. **Practical value.** The research will contribute to the creation of recommendations for the design of modular-type vehicle structures, as well as to improving the efficiency of railway transport operation.

Keywords: railway transport; gondola cars; design adaptation; removable module; structure load; container transportation

REFERENCES

1. Barabash, M. S., Soroka, M. M., & Surianinov, M. H. (2018). *Nelineina budivselna mekhanika z PK Lira-SAPR*. Odesa : Ekolohiia. (in Ukrainian)
2. *Vagoni vantazhni. Zagalni vimogi do rozrahunkiv ta proektuvannya novih i modernizovanih vagoniv koliyi (nasamohidnih)*, 250 DSTU 7598:2014 (2015). (in Ukrainian)
3. *Truby stalevi profilni. Tekhnichni umovy*, DSTU 8940:2019 (2021). (in Ukrainian)
4. Lovska, A. O., Dizho, Y., Rybin, A. V., & Rukavishnykov, P. V. (2024). Features of determining the strength indicators of an open wagon body when transporting containers in it. *Scientific News of Dahl University*, 26, 1-6. DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2024-26-9> (in Ukrainian)
5. Pustiulha, S. I., Samostian, V. R. & Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna hrafika v SolidWorks: navchalnyi posibnyk*. Lutsk: Vezha. (in Ukrainian)
6. Shvabiuk, V. I. (2016). *Opir materialiv*. Kyiv: Znannia. (in Ukrainian)
7. Caban, J., Nieoczym, A., & Gardyński, L. (2021). Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487> (in English)
8. Cuartero, J., Miravete, A., & Sanz, R. (2011). Design and calculation of a railway car composite roof under concrete cube crash. *International Journal of Crashworthiness*, 16(1), 41-47. DOI: <https://doi.org/10.1080/13588265.2010.501163> (in English)
9. Dižo, J. (2016). Analysis of a Goods Wagon Running on a Railway Test Track. *Manufacturing Technology*, 16(4), 667-672. DOI: <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/mt/16/4/667> (in English)
10. Gerlici, J., Lovska, A., Vatulia, G., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, O., & Solčanský, S. (2023). Situational Adaptation of the Open Wagon Body to Container Transportation. *Applied Sciences*, 13(15), 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605> (in English)
11. Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Skurikhin, D., Harušinec, J., Suchánek, A., & Ishchuk, V. (2023). The Strength of the Open Wagon Body when Transporting Containers. *Proceedings of 27th International Scientific Conference*. Transport Means, 440-445. (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

13. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., & Kravchenko, K. (2022). The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*, 13(1), 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13010079> (in English)
14. Reidemeister, A. H., Kalashnyk, V. A., & Shykunov, A. A. (2016). Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Science Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2(62), 148-156. DOI: <https://doi.org/15802/stp2016/67334> (in English)
15. Rzeczycki, A., & Wiśnicki, B. (2016). Strength Analysis of Shipping Container Floor with Gooseneck Tunnel under Heavy Cargo Load. *Solid State Phenomena*, 252, 81–90. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.252.81> (in English)
16. Shaposhnyk, V., Shykunov, O., Reidemeister, A., Muradian, L., & Potapenko, O. (2021). Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-foot-long containers on an universal platform wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7(109)), 14-21. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225090> (in English)
17. Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskyi, V., Okorokov, A., Hordiienko, D., Vernigora, R., & Zhuravel, I. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7(120)), 21-29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855> (in English)

Надійшла до редколегії: 01.05.2024

Прийнята до друку: 05.09.2024