

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

РУКАВІШНИКОВ ПАВЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 629.463.65:656.2.073.235

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ НАПІВВАГОНІВ  
ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ КОНТЕЙНЕРІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2025

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор  
**Ловська Альона Олександрівна**,  
Український державний університет  
залізничного транспорту, кафедра  
інженерії вагонів та якості продукції,  
професор кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Сапронова Світлана Юріївна**,  
Державний університет інфраструктури та технологій,  
кафедра вагонів та вагонного господарства,  
професор кафедри;

кандидат технічних наук, старший дослідник  
**Сулим Андрій Олександрович**,  
ДП “Український науково-дослідний інститут  
вагонобудування”, заступник директора з наукової  
роботи.

Захист відбудеться «16» травня 2025 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «14» квітня 2025 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



А. В. Прохорченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Підвищення ефективності експлуатації транспортної галузі зумовило впровадження модульних засобів. Одним із найбільш поширених серед таких є контейнери. Це пояснюється можливістю їх перевезень майже всіма видами транспорту: залізничним, автомобільним, водним, авіаційним, навіть трубопровідним.

Суттєва доля контейнерних перевезень припадає на залізничний транспорт. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється на вагонах-платформах. Закріплення контейнерів на таких вагонах забезпечується за допомогою фітингових упорів, які розміщуються на повздовжніх балках рами вагонів-платформ. Розповсюдження контейнерних перевезень вимагає модернізації універсальних вагонів-платформ для перевезень контейнерів шляхом встановлення фітингових упорів на раму. Однак такий підхід не вирішує повною мірою існуючі проблеми технічного забезпечення контейнерних перевезень залізницею.

Нестача вагонів-платформ в експлуатації викликає необхідність використання інших типів вагонів під контейнерні перевезення, наприклад, напіввагонів. Однак використання такого типу вагону під контейнерні перевезення потребує забезпечення надійної схеми взаємодії з контейнером, адже напіввагон не пристосований для цих цілей. Внаслідок податливості контейнера в напіввагоні може мати місце пошкодження не тільки його кузова, а і вантажу, що перевозиться. У наслідок цього збільшується кількість позапланових видів ремонту транспортних засобів та підвищується ризик аварій. В випадку перевезень небезпечних вантажів, додатково зростає загроза екологічної безпеки.

У зв'язку з цим, дисертаційна робота присвячена питанням удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів. Це сприятиме підвищенню ефективності контейнерних перевезень вантажів залізничним транспортом, в тому числі в міжнародному сполученні.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (від 30 травня 2018 р. № 430-р).

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводились дисертантом в рамках науково-дослідних робіт: «Розроблення стандарту підприємства «Контроль ультразвуковий. Тяговий та моторвагонний рухомий склад. Правила виконання» » (№ДР 0124U002859) та «Підвищення безпеки руху залізничного рухомого складу шляхом впровадження інтегрованих технологій підтримки життєвого циклу» (№ДР 0125U001907) у яких автор брав участь у якості виконавця.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів.

Для досягнення зазначеної мети визначені такі наукові завдання:

- проаналізувати наукові публікації із забезпечення міцності несучих конструкцій вагонів в експлуатації;
- дослідити міцність кузова напіввагона з урахуванням різних схем взаємодії із контейнерами;

- запропонувати рішення щодо технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів;
- сформулювати математичну модель для визначення динамічної навантаженості контейнера, закріпленого за новою схемою в напіввагоні;
- визначити оптимальні параметри профілю виконання балок каркаса знімного модуля за умови мінімальної матеріалоємності;
- провести розрахунок на міцність конструкції знімного модуля;
- провести експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона з урахуванням різних схем її навантаження;
- провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів.

*Об'єкт дослідження* – процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в несучій конструкції напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів.

*Предмет дослідження* – закономірності функціонування напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів.

**Методи дослідження.** При виконанні дисертаційної роботи здобувачем використовувалися такі теорії та методи досліджень: метод Лагранжа II роду при дослідженні динамічної навантаженості напіввагона за умови перевезення в ньому контейнерів; метод математичного планування експерименту та метод градієнтного спуску при визначенні оптимальних параметрів балок каркасу знімного модуля; метод скінчених елементів при визначенні основних показників міцності та комп'ютерному моделюванні динамічної навантаженості напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів; метод Фішера (F-критерій) для верифікації сформованих моделей динамічної навантаженості; методи експериментальних досліджень при визначенні міцності кришки люка напіввагона, зокрема метод електричного тензометрування.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в удосконаленні методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів.

*Вперше:*

- сформовано математичну модель динамічної навантаженості напіввагона, завантаженого контейнерами, що дозволило визначити прискорення, які діють на напіввагон і контейнери, що закріплені у ньому за допомогою знімних модулів.
- отримано залежності силових факторів в конструкційних складових знімного модуля при різних експлуатаційних схемах навантажень, які дозволяють визначити його профіль виконання за моментом опору поперечного перерізу.

*Дістали подальший розвиток:*

- метод розрахунку на міцність несучої конструкції напіввагона та контейнерів із урахуванням різних схем їх взаємодії, а саме: закріплення контейнерів в напіввагоні через фітингові упори; з використанням пневмооболонки; за допомогою знімного модуля;
- науковий підхід щодо оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоємності складових транспортних засобів модульного типу.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновано практичні рішення щодо можливості залучення напіввагонів до перевезень контейнерів:

- сформовано скінчено-елементні моделі несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами, кришки люка напіввагона, яка сприймає навантаження від фітингового упору для кріплення контейнерів, знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні, які можуть бути використані при проведенні відповідних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт;

- удосконалено та запатентовано вантажну одиницю – патент України 156991; напіввагон для перевезень контейнерів – патент України 157214; модульну вантажну одиницю – патент України 157156;

- запропоновано доповнення нормативного документу ДСТУ 7598-2014 “Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)” шляхом впровадження особливостей розрахунків несучих конструкцій напіввагонів при перевезенні в них контейнерів;

- основні положення та рекомендації дисертаційної роботи передані з метою подальшого впровадження у регіональну філію “Південна залізниця” АТ “Укрзалізниця”, а також ТОВ “БРУКЛІН – КИЇВ”. Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі УкрДУЗТ при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальністю 273 “Залізничний транспорт” та для слухачів навчально-наукового центру освіти дорослих.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані особисто здобувачем або за його безпосередньої участі. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

- створення розрахункової схеми для дослідження повздовжньої динаміки напіввагона, завантаженого контейнерами – [1, 2, 3];

- створення скінчено-елементної моделі контейнера для визначення його міцності при експлуатаційних режимах навантаження – [6, 10, 13];

- створення скінчено-елементної моделі кришки люка напіввагона – [4, 9, 11];

- створення розрахункової схеми напіввагона для дослідження його міцності при перевезенні контейнерів – [5, 12];

- створення розрахункової моделі знімного модуля для отримання залежностей силових факторів в його конструкційних складових при експлуатаційних режимах – [7, 8, 14, 15, 16];

- пошук аналогів транспортних засобів та формування заявок на корисні моделі [17 – 19].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на 8 наукових конференціях:

- II-й Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців “Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології”, ДУІТ, 2023. (Україна, м. Київ);

- IV-й міжнародній інтернет-конференції “Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем”, НУВГП, 2024. (Україна, м. Рівне);

- ІІІ-й Всеукраїнській науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету, НТКП ВНТУ, 2024. (Україна, м. Вінниця);

- ІІ-й міжнародній науково-практичній конференції “Транспорт: наука та практика”, СНУ імені В. Даля, 2024. (Україна, м. Київ);

- ІІ-й науковій конференції “Наукові підсумки 2024”, ПП “Технологічний центр”, 2024. (Україна, м. Харків);

- 37-й міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті”, УкрДУЗТ, 2024 р. (Україна, м. Харків);

- 5-й міжнародній науково-технічній конференції “ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ”, УкрДУЗТ, 2024 р. (Україна, м. Харків);

- ІІІ-й міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців “Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології”. (Київ, 28-29 листопада). Київ, 2024 р.

В повному обсязі результати дисертаційної роботи доповідались та були схвалені на розширеному семінарі кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04.

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень опубліковані в 19 наукових працях, в тому числі: 2 наукових статтях, що індексуються наукометричними базами даних SCOPUS; 6 статтях в наукових фахових виданнях України; 8 працях апробаційного характеру та 3 додаткових працях, серед них 3 патенти на корисні моделі України.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація має вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел зі 100 найменувань та 3 додатки. Повний обсяг дисертації складає 200 сторінок, в тому числі 145 сторінок основного тексту, 20 таблиць, 117 рисунків, 17 сторінок додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету дисертаційної роботи, об'єкт, предмет та задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено інформацію про апробації роботи і публікації основних результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз статистичних даних перевезень вантажів залізничним транспортом. Встановлено, що контейнери є досить затребуваним видом транспортних засобів у міжнародному сполученні. Проведено аналіз вантажного парку вагонів-платформ АТ “Укрзалізниця” та виявлено, що середній відсоток їх зносу складає 94,67%. У зв'язку з відсутності поповнення вантажного парку вагонами-платформами є можливість залучення під перевезення контейнерів напіввагонів. Разом з цим, це вимагає адаптації їх конструкцій під контейнерні перевезення.

Питання підвищення ефективності експлуатації рухомого складу, в тому числі вагонів, висвітлено у працях: П. С. Анісімова, О. Є. Афанасьєва, Є. П. Блохіна,



О. А. Битюцького, Г. І. Богомаза, Ю. П. Бороненка, В. М. Бубнова, Т. В. Бутько, Г. Л. Ватулі, Р. І. Візняка, М. Ф. Веріго, С. В. Вершинського, К. В. Герасимова, В. Ф. Головка, А. П. Горбенка, М. І. Горбунова, В. Л. Горобця, В. М. Данилова, В. Г. Дановича, Р. Ю. Дьоміна, Ю. В. Дьоміна, Г. І. Ігнатенкова, М. Б. Кельріха, В. В. Кобіщанова, В. М. Котуранова, М. Л. Коротенка, С. А. Костриці, М. М. Кудрявцева, В. А. Лазаряна, А. О. Ловської, В. П. Лозбинева, В. В. Лукіна, Л. А. Манашкіна, І. Е. Мартинова, В. Г. Маслієва, В. І. Мороза, І. Г. Морчиладзе, Л. А. Мурадяна, С. В. Мямліна, Є. М. Никольського, Л. М. Никольського, С. В. Панченка, Г. І. Петрова, В. С. Плоткіна, А. В. Путятю, Ю. С. Ромена, М. М. Соколова, В. Ф. Ушкалова, В. М. Філіпова, О. В. Фоміна, О. О. Хохлова, В. Д. Хусідова, Л. А. Шадура, П. В. Шевченка, В. В. Шевченка, І. І. Челнокова, Г. Ю. Черняк та ін.

Важливо сказати, що подальший розвиток питань удосконалень несучих конструкцій вантажних вагонів, зокрема напіввагонів, для можливості залучення їх під контейнерні перевезення є досить важливою та актуальною задачею.

У **другому розділі** дисертаційної роботи проведено дослідження міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Встановлено, що максимальні напруження в його конструкції виникають в зоні взаємодії поперечних поясів торцевої стіни з кутовими стійками і перевищують допустимі.

Проведено розрахунок на міцність несучої конструкції напіввагона з урахуванням кріплення контейнерів через фітингові упори. Максимальні напруження при цьому зафіксовано у фітингових упорах і дорівнюють 142 МПа (рис. 1). Дані напруження не перевищують допустимі.

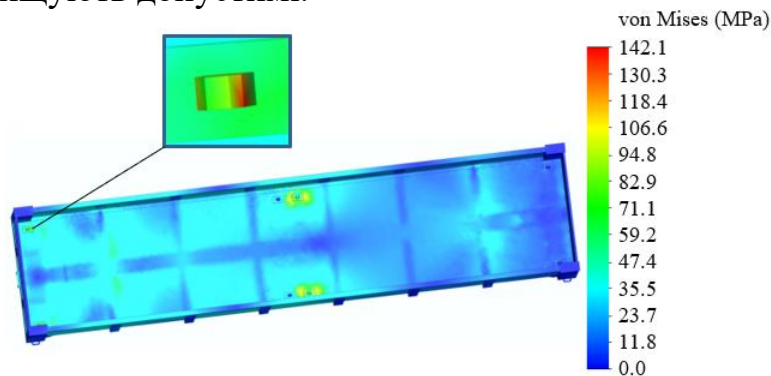


Рисунок 1 – Напружений стан несучої конструкції напіввагона

Проведені розрахунки доводять, що перевезення контейнерів з використанням зазначеної схеми закріплення є допустимим. Однак в умовах наднормованих режимів, тобто коли повздовжня сила на передні упори при “ривку” буде перевищувати 2,5 МН дана величина напружень відповідно збільшиться. Тому при подальших дослідженнях в цьому напрямку необхідно врахувати цей момент.

Досліджено міцність контейнера при перевезенні його у напіввагоні. До уваги прийнято дві схеми навантажень контейнера: відсутність тиску вантажу, що перевозиться на торцеву стіну, а також його наявність. Результати розрахунку показали, що при відсутності тиску вантажу на торцеву стіну контейнера максимальні напруження виникають у його фітингах і складають близько 350 МПа. Максимальні переміщення виникають в поперечному брусі контейнера і складають близько 1 мм.

При наявності тиску вантажу, що перевозиться на торцеву стіну контейнера максимальні напруження виникають також у фітингах і складають 364,8 МПа. Максимальні переміщення мають місце в середній частині торцевої стіни і дорівнюють 4,2 мм. Отримані результати розрахунку дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера при перевезенні його в напіввагоні не забезпечується.

Для дослідження можливості перевезень контейнерів у напіввагонах, підлога яких утворена кришками люків, проведено розрахунок на міцність кришки люка. Встановлено, що максимальні напруження виникають в петлі кришки люка (рисунки 2, 3) і складають 366,7 МПа. Отримані напруження вищі за допустимі, що доводить неможливість такої схеми перевезень контейнерів.

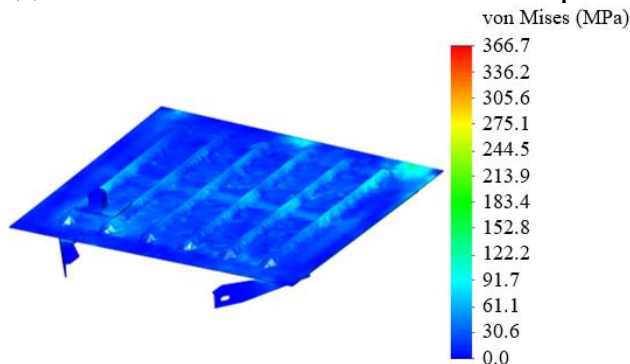


Рисунок 2 – Напружений стан кришки люка

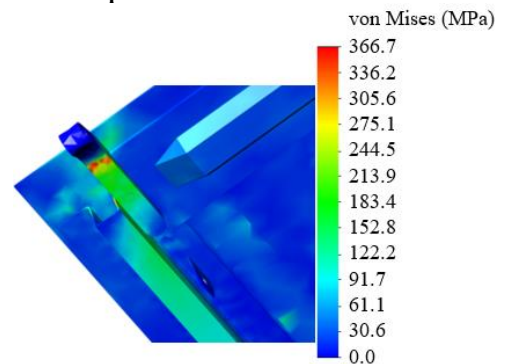


Рисунок 3 – Напруження в петлі кришки люка

Для кріплення контейнерів в напіввагонах також можуть застосовуватися пневмооболонки, які повинні забезпечувати їх нерухомість в повздовжній площині. В рамках дослідження проведено визначення міцності контейнера з урахуванням закріплення в напіввагоні пневмооболонками. Проведено визначення жорсткості пневмооболонки при якій дотримується нерухомість контейнера в повздовжній площині. З урахуванням визначеної жорсткості здійснено розрахунок на міцність контейнера. Результати проведеного розрахунку показали, що максимальні напруження в контейнері виникають в середній частині бокової балки і складають 326,4 МПа. В обшивці торцевої стіни ці напруження склали близько 290 МПа. Отже, міцність контейнера при такій схемі закріплення не забезпечується.

В **третьому розділі** запропоновано рішення щодо технічної адаптації напіввагонів до контейнерних перевезень. Для кріплення контейнерів в напіввагонах пропонується застосування знімного модуля. Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між контейнером та кузовом напіввагона (рисунки 4).

Кріплення самого модуля в напіввагоні здійснюється через фітингові упори, які розміщуються на підлозі напіввагона. При цьому фітинги знімного модуля мають поглиблення (рисунки 5), яке забезпечує можливість передачі навантаження від знімного модуля за всією площею рами.

Для визначення повздовжнього динамічного навантаження, яке діє на контейнер, закріплений за новою схемою в напіввагоні, проведено математичне моделювання. Враховано, що знімні модулі закріплені в кузові напіввагона через фітинги. Їх переміщення відносно підлоги обмежується фітинговими упорами. Контейнер закріплений в знівному модулі та має власну ступінь вільності в



повздовжній площині, яка обмежується величиною технологічного зазору між фітингами та фітинговими упорами.



Рисунок 4 – Розміщення контейнера в знімному модулі

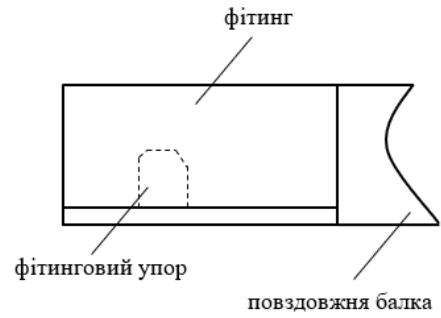


Рисунок 5 – Схема взаємодії фітингового упору з фітингом знімного модуля

Зв'язок між фітинговими упорами та фітингами, відповідно напіввагона та знімних модулів, знімних модулів та контейнерів, прийнято як жорсткий. Розрахункова схема напіввагона наведена на рисунку 6.

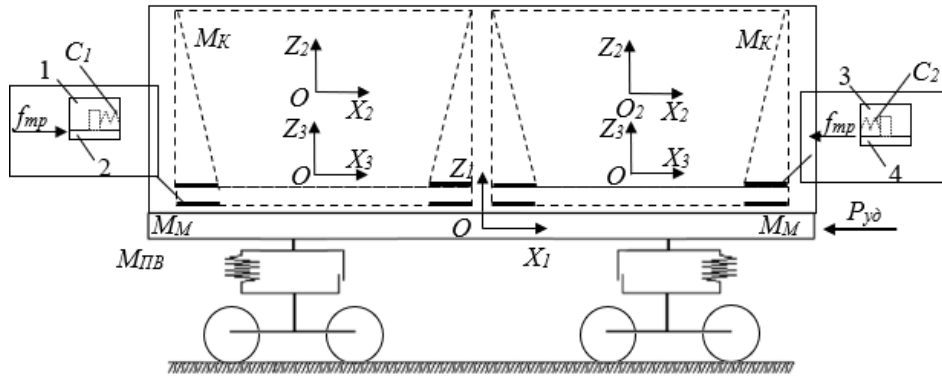


Рисунок 6 – Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами  
1 – фітинг знімного модуля; 2 – фітинговий упор напіввагона; 3 – фітинг контейнера; 4 – фітинговий упор знімного модуля

Математична модель, яка описує переміщення в системі “напіввагон – знімний модуль – контейнер”, має вигляд

$$\begin{cases} M_{ПВ} \cdot \ddot{q}_1 = P_{yd} - \left( \sum_{i=1}^n f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_1(q_1 - q_2) \right), \\ M_M \cdot \ddot{q}_2 = (f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_1(q_1 - q_2)) - (f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_2 - \dot{q}_3) + C_2 \cdot (q_2 - q_3)), \\ M_K \cdot \ddot{q}_3 = f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_2 - \dot{q}_3) - C_2 \cdot (q_2 - q_3), \end{cases} \quad (1)$$

де  $M_{ПВ}$  – маса-брутто напіввагона;  $P_{yd}$  – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп;  $n$  – кількість контейнерів, розміщених у напіввагоні;  $f_{mp}$  – сила тертя між фітинговими упорами та фітингами;  $C_1, C_2$  – жорсткість зв'язку між фітинговими упорами та фітингами, відповідно, напіввагона та знімного модуля, знімного модуля та контейнера;  $M_K$  – маса контейнера;  $q_1, q_2, q_3$  – координати, що визначають переміщення, відповідно, напіввагона, знімного модуля та контейнера відносно повздовжньої осі.

Розв'язок математичної моделі здійснено в MathCad. На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні прискорення, які діють на напіввагон складають  $40,6 \text{ м/с}^2$ , на знімний модуль –  $33,4 \text{ м/с}^2$ , а на контейнер – близько  $33,7 \text{ м/с}^2$  (рисунок 7).

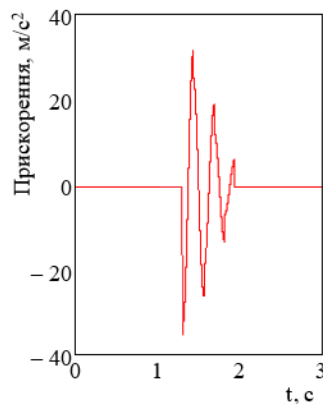


Рисунок 7 – Прискорення, які діють на контейнер

Для визначення полів розподілення прискорень, які діють на контейнери з урахуванням нової схеми їх закріплення, проведено комп'ютерне моделювання. При цьому застосовано метод скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation. Максимальна величина прискорення, яке діє на контейнери склала  $36,2 \text{ м/с}^2$ . Це прискорення розподілене за боковими частинами контейнерів, розміщених за центром кузова напіввагона. Отримані результати використано для верифікації математичної моделі (1). При цьому застосовано F-критерій. У якості варіаційного параметру враховано силу удару вагона в автозчеп. На підставі проведених розрахунків встановлено, що гіпотеза про адекватність моделі не відхиляється.

Також в рамках дослідження проведено модальний аналіз несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами з урахуванням запропонованої схеми закріплення. На підставі отриманих результатів зроблено висновок, що безпека руху напіввагона з точки зору модального аналізу забезпечується, оскільки значення першої власної частоти коливань більше за 8 Гц.

На наступному етапі дослідження проведено проектування конструкції знімного модуля. Вибір профілів виконання балок його каркасу здійснено за моментами опору. Для цього було побудовано стрижневу систему каркасу знімного модуля та проведено його розрахунок з використанням програмного комплексу Ліра – САПР. На підставі проведених розрахунків отримано епюри моментів, які діють в складових каркасу знімного модуля (рисунок 8, 9). Помаранчевим кольором показані додатні значення силових факторів, а блакитним – від'ємні. Отже, відносно поперечної осі знімного модуля діє згинальний момент. Його максимальне значення спостерігається в зонах взаємодії розкосів із повздовжніми балками і складає  $206,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$  (рисунок 8). Відносно вертикальної осі на знімний модуль діє згинальний момент із максимальним значенням  $21,52 \text{ кН} \cdot \text{м}$  (рисунок 9).

За максимальним згинальним моментом  $M$ , що діє в каркасі знімного модуля через момент опору  $W$  та відомими допустимими напруженнями  $[\sigma]$  матеріалу виконання каркасу підібрано профіль виконання його балок. Для цього застосовано

відомий вираз:  $W = M/[\sigma]$ . Встановлено, що  $W = 546,8 \text{ см}^3$ . За даним моментом опору у якості профілю виконання каркаса пропонується застосування прямокутної труби. Даний профіль є досить зручним з технологічних міркувань, а саме, монтажу і обслуговування.

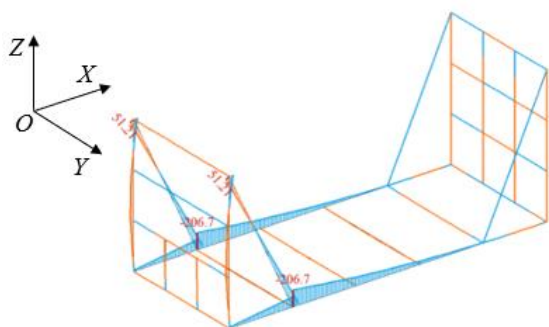


Рисунок 8 – Епюра згинальних моментів, що діють у каркасі знімного модуля відносно осі Y (кН · м)

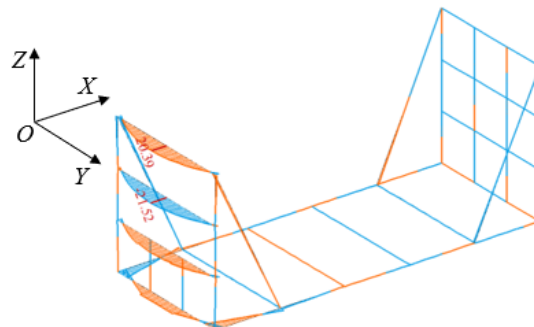


Рисунок 9 – Епюра згинальних моментів, що діють у каркасі знімного модуля відносно осі Z (кН · м)

В рамках дослідження також проведено оптимізацію параметрів профілю виконання каркаса знімного модуля. Переріз балки каркаса знімного модуля наведено на рисунку 10.

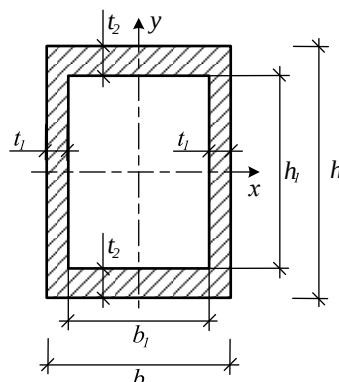


Рисунок 10 – Переріз позовдвжньої балки знімного модуля

Для перерізу позовдвжньої балки виконується оптимізація геометричних розмірів його складових з метою зниження матеріалоємності. Для вирішення оптимізаційної задачі по знаходженню геометричних розмірів складових перерізу функція цілі та обмеження мають вигляд

$$m(\bar{X}) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\bar{X} \in D_x \in D$$

$$D = \left\{ t_1, t_2, b, h \mid 4\text{мм} \leq t_1 \leq 8\text{мм}; 4\text{мм} \leq t_2 \leq 8\text{мм}; 180\text{мм} \leq b \leq 340\text{мм}; 180\text{мм} \leq h \leq 300\text{мм} \right\} \quad (3)$$

$$D_x = \left\{ t_1, t_2, b, h \mid m \rightarrow \min; W_x \leq [W_x]; 4\text{мм} \leq t_1 \leq 8\text{мм}; 4\text{мм} \leq t_2 \leq 8\text{мм}; 180\text{мм} \leq b \leq 340\text{мм}; 180\text{мм} \leq h \leq 300\text{мм} \right\}$$

де  $m$  – маса одного погонного метра позовдвжньої балки знімного модуля (основний критеріальний показник);  $\bar{X}$  – вектор керованих змінних параметрів, складовими якого розглядаються  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $b$ ,  $h$ , інтервали варіювання яких визначають область можливих рішень  $D$ , в якій функціональними обмеженнями  $[W_x]$  виділяється область допустимих

рішень  $D_x$ .

Допустимі значення моменту опору перерізу поздовжньої балки знімного модуля відносно горизонтальної осі  $x$  прийняті по результатам розрахунку для I розрахункового режиму та складають  $[W_x] = 546,8 \text{ см}^3$ .

Вирішення поставленої задачі виконувалося за наведеною нижче послідовністю.

1) Формувалися початкові дані для виконання досліджень у вигляді заданих інтервалів варіювання керованих змінних (факторів математичного плану):  $t_1 = 0,004 \dots 0,008 \text{ м}$ ,  $t_2 = 0,004 \dots 0,008 \text{ м}$ ,  $b = 0,18 \dots 0,34 \text{ м}$ ,  $h = 0,18 \dots 0,3 \text{ м}$ .

2) Виконувався перехід від дійсних значень змінних  $t_1, t_2, b, h$  до їх нормованих параметрів  $x_q$ .

Перехід до нормованих параметрів  $x_{t_1}, x_{t_2}, x_b, x_h$  визначає зв'язок із дійсними значеннями керованих змінних  $t_1, t_2, b, h$  (таблиця 1), що дозволяє скласти математичний план, маючи відповідну матрицю планування.

Таблиця 1 – Таблиця відповідності нормованих параметрів дійсним значенням керованих змінних (м)

|                              |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| $t_1$                        | 0,004 | 0,006 | 0,008 |
| $t_2$                        | 0,004 | 0,006 | 0,008 |
| $b$                          | 0,18  | 0,26  | 0,34  |
| $h$                          | 0,18  | 0,24  | 0,3   |
| $x_{t_1}, x_{t_2}, x_b, x_h$ | -1    | 0     | 1     |

3) На основі матриці планування складено ортогональний математичний план другого порядку для чотирьох керованих змінних, що варіюються на трьох рівнях.

Для кожного режиму математичного плану обчислювалися значення показників, що контролюються: маса 1 погонного метра поздовжньої балки  $m$ , значення моменту опору перерізу поздовжньої балки  $W_x$ :

$$m = (b \cdot h - b_1 \cdot h_1) \cdot l \cdot \gamma, \quad (4)$$

$$W_x = \frac{(b \cdot h^3 - b_1 \cdot h_1^3)}{6 \cdot h}, \quad (5)$$

де  $l$  – довжина одного погонного метра поздовжньої балки знімного модуля (100 см);  $\gamma$  – питома вага сталі (0,0078 кг/см<sup>3</sup>).

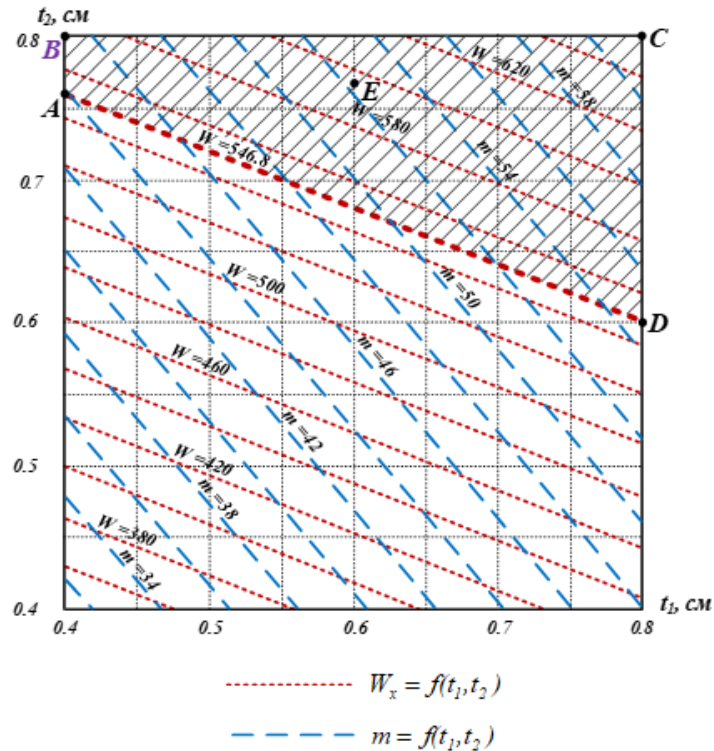
4) Розв'язувалася задача (2), (3).

Для чисельної мінімізації функції  $f(x)=m$  з обмеженнями на розміри  $t_1, t_2, b, h$ , використовувався метод градієнтного спуску. При цьому враховувалися тільки ті точки, для яких значення моменту опору не менше заданого значення:  $W_x \geq [W_x]$ .

При оптимізації всіх чотирьох параметрів отримані значення:  $t_1=0,601 \text{ см}$ ;  $t_2=0,773 \text{ см}$ ;  $b=23,3 \text{ см}$ ;  $h=27,6 \text{ см}$ ;  $m=52,5 \text{ см}$ ;  $W_x=598,1 \text{ см}$ .

При зафіксованих значеннях параметрів  $b=23,3 \text{ см}$ ,  $h=27,6 \text{ см}$ , для оптимізації  $t_1$  та  $t_2$  використано графічний метод. Для цього за допомогою отриманих апроксимацій були обчислені функції  $m$  та  $W_x$  на сітці  $100 \times 100$  та побудовані ізолінії цих функцій (рисунок 11). З аналізу даного графіку видно, що оптимальними є параметри в точці **B**:  $t_1=0,4 \text{ см}$ ;  $t_2=0,8 \text{ см}$ ;  $b=23,3 \text{ см}$ ;  $h=27,6 \text{ см}$ . При цих параметрах значення маси та моменту

опору складають:  $m=45,3$  кг,  $W_x=570,1$  см<sup>3</sup>.



*ABCD* – область допустимих рішень

Рисунок 11 – Графік визначення оптимальних параметрів  $t_1$  та  $t_2$

З урахуванням визначених параметрів профілю виконання каркаса побудовано його просторову модель та проведено розрахунок на міцність. Розрахунок реалізовано для двох схем навантажень знімного модуля: дія вертикального навантаження; дія вертикального та повздовжнього навантажень. Результати розрахунку показали, що міцність знімного модуля при розглянутих схемах навантажень забезпечується.

Завантаження знімного модуля з контейнерами до напіввагона передбачається стропами (рисунок 12) або іншими типами вантажно-розвантажувальних пристроїв.

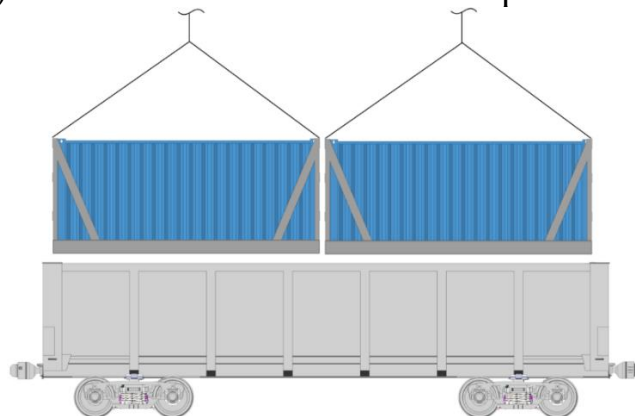


Рисунок 12 – Завантаження знімних модулів з контейнерами до напіввагона

При цьому взаємодія вантажно-розвантажувальних пристроїв зі знімним модулем передбачається через його верхні фітинги. Для дослідження міцності знімного модуля при вантажно-розвантажувальних операціях проведено відповідні



розрахунки. До уваги прийнято дві схеми його закріплення: за нижні фітинги; за верхні фітинги (стропами та спредером). Результати розрахунку знімного модуля на міцність наведено на рисунках 13, 14. Встановлено, що міцність його конструкції при розглянутих схемах навантажень дотримується.

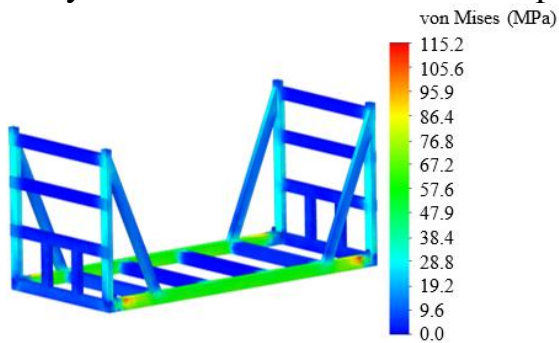


Рисунок 13 – Напружений стан знімного модуля при його підйомі за нижні фітинги

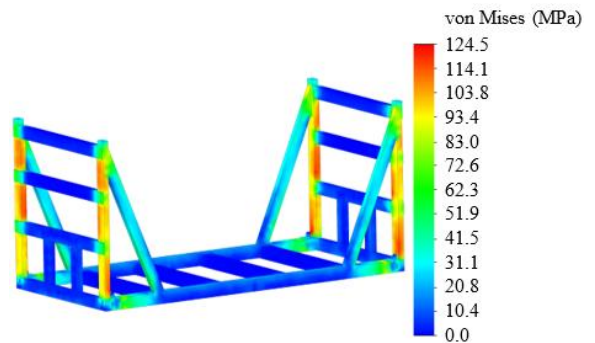


Рисунок 14 – Напружений стан знімного модуля при його підйомі за верхні фітинги

В **четвертому розділі** дисертаційної роботи проведено експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від контейнера. При цьому виконувалися стендові випробування в дослідній лабораторії “Центру діагностики споруд транспортного призначення” при Українському державному університеті залізничного транспорту. Визначення напружень, які виникають в конструкції кришки люка здійснено з використанням методу електричного тензометрування. Монтаж тензорезисторів здійснено за мостовою схемою. Місця розміщення тензорезисторів на кришці люка визначено за отриманими теоретичним шляхом полями напружень, що виникають в кришці люка (рисунок 15).

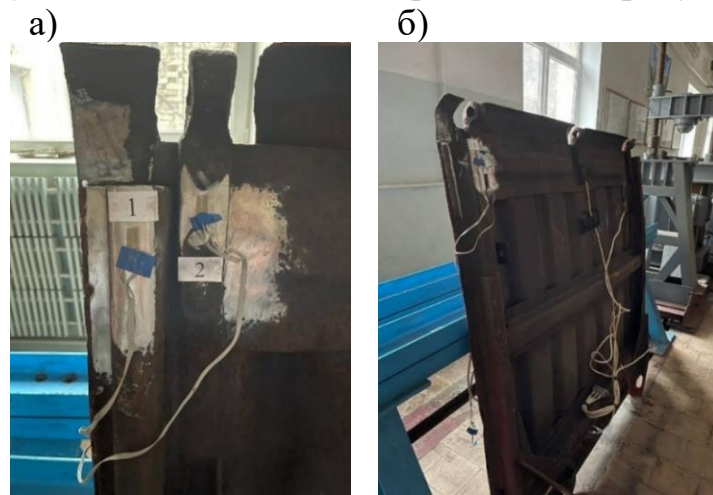


Рисунок 15 – Розміщення тензорезисторів на кришці люка (нижня частина полотна)  
а) в зоні розміщення петлі; б) за планкою

Для випробування кришки люка використано стенд, який імітує її розміщення на напіввагоні. Закріплення кришки люка здійснювалося за петлі. Для цього використовувалися металеві пальці. З протилежного боку закріплення кришки люка здійснювалося в зонах її взаємодії із запірними механізмами. Для цього під кронштейни встановлювалися опори. На полотні кришки люка встановлювався



фітинговий упор. Навантаження на нього передавалося через металевий стакан, який імітував фітинг контейнера. Зверху на стакан була укладена металева пластина на яку встановлювався домкрат. Верхня частина домкрата опиралася в горизонтальну балку. Через цей домкрат передавалося вертикальне навантаження на стакан. Величина навантаження контролювалася динамометром. При цьому максимальна величина навантаження прийнята рівною 6 т (60 кН), що відповідає максимально завантаженому стану контейнера типорозміру 1СС.

Показання тензорезисторів знімалися за допомогою тензометричної станції ВНП-8. Випробування проводилися в діапазоні навантажень від 5 до 60 кН, з кроком 5 кН. У якості прикладу на рисунку 16 наведено показання тензорезистора, який встановлено в зоні розміщення крайньої петлі. Максимальні напруження в кришці люка під час випробувань склали 345,4 МПа. При цьому найбільший відсоток розбіжності між теоретичними та експериментальними результатами склав близько 10% і зафіксований при навантаженні на фітинговий упор у 30 кН.

На другому етапі досліджень проведено визначення напружень в кришці люка напіввагона при її навантаженні від знімного модуля. Для цього на кришку люка встановлювалася металева пластина, ширина якої дорівнює ширині профіля виконання повздовжньої балки знімного модуля. Випробування проведено за тим же алгоритмом, що і при навантаженні кришки люка від фітингового упору. Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження на неї через пластину наведено на рисунку 17.

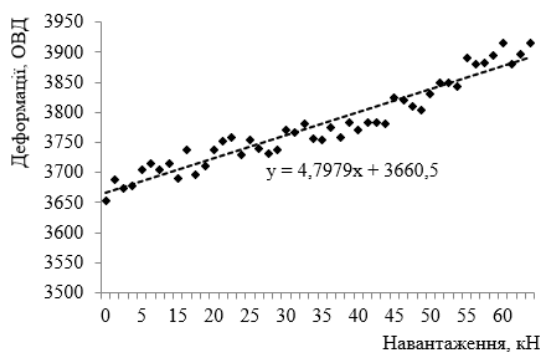


Рисунок 16 – Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження на фітинговий упор

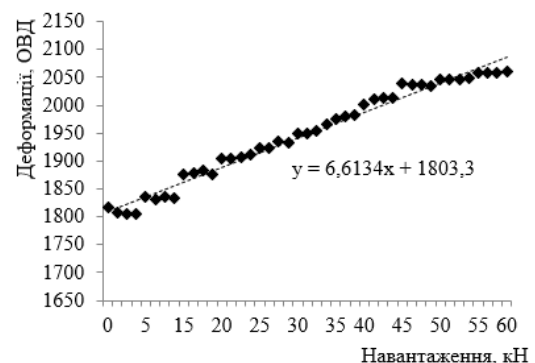


Рисунок 17 – Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження на неї через пластину

Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали 115,4 МПа. Найбільший відсоток розбіжності між теоретичними та експериментальними результатами дорівнює 10,4% і зафіксований при навантаженні на кришку люка у 20 кН. Отже запропонована схема кріплення контейнерів в напіввагоні дозволяє знизити напруження в кришці люка у 3 рази у порівнянні із типовою схемою взаємодії фітингів із фітинговими упорами.

**В п'ятому розділі** проведено техніко-економічне обґрунтування удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів. Економічний ефект визначено річною економією залежної частини експлуатаційних витрат в порівнянні з базовим варіантом використання напіввагонів та одноразовими

витратами на їх конструктивне переоснащення для перевезень контейнерів за порожнім напрямком.

Економічний ефект за розрахунковий період (10 років) при використанні контейнерів за типом 1СС склав 88,028 млн. грн., а 1АА – 49,376 млн. грн. Період повернення одноразових витрат при використанні напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком в контейнерах складає: при використанні контейнерів за типом 1СС – 5 років, при використанні контейнерів за типом 1АА – 4 роки. При цьому має місце зменшення коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів на 9%.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано наукові публікації із забезпечення міцності несучих конструкцій вагонів в експлуатації. Встановлено, що чималу кількість публікацій присвячено покращенню міцності кришок люків напіввагонів. При цьому автори пропонували посилення їх конструкції, а також впровадження нових матеріалів при виготовленні. Для забезпечення міцності інших складових кузовів напіввагонів в експлуатації також запропоновано чималу кількість варіантів їх удосконалень, в тому числі, шляхом використання податливих зв'язків в конструкції. Разом з цим значної уваги питанням навантаженості несучих конструкцій напіввагонів при перевезенні контейнерів не приділялося. Проведений огляд літературних джерел за тематикою дослідження встановив, що питання удосконалень несучих конструкцій напіввагонів для можливості перевезень контейнерів потребують подальшого розвитку.

2. Досліджено міцність кузова напіввагона з урахуванням різних схем взаємодії із контейнерами. Результати розрахунку на міцність кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів без урахування їх закріплення показали, що максимальні напруження виникають в зоні взаємодії поперечних поясів торцевої стіни з кутовими стійками і складають 371,3 МПа. Отримані напруження майже вдвічі перевищують допустимі, які для III розрахункового режиму складають 210 МПа.

Розраховано міцність несучої конструкції напіввагона з урахуванням кріплення контейнерів через фітингові упори. Максимальні напруження при цьому зафіксовано у фітингових упорах і дорівнюють 142 МПа. Дані напруження не перевищують допустимі. Максимальні переміщення виникають в зонах розміщення фітингових упорів за центром кузова і складають 4,2 мм.

Досліджено міцність контейнера при перевезенні його у напіввагоні. До уваги прийнято дві схеми навантажень контейнера: відсутність тиску вантажу, що перевозиться на торцеву стіну, а також його наявність. Результати розрахунку показали, що міцність контейнера при розглянутих схемах навантажень не забезпечується.

Проведено розрахунок на міцність кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Встановлено, що максимальні напруження виникають в петлі кришки люка і складають 366,7 МПа. Отримані напруження вищі за допустимі, що доводить неможливість такої схеми перевезень контейнерів.

Максимальні переміщення в кришці люка виникають у кутовій частині полотна, розміщеній протилежно від фітингового упору і складають 14,5 мм.

Розраховано на міцність контейнер при його закріпленні в напіввагоні за допомогою пневмооболонки. Максимальні напруження виникають в середній частині бокової балки і склали 326,4 МПа. Максимальні переміщення в торцевій стіні зафіксовано за її центром і дорівнюють 3,8 мм.

Результати проведеного розрахунку дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера при завданих навантаженнях не забезпечується.

3. Запропоновано рішення щодо технічної адаптації напіввагона для перевезень контейнерів. При цьому пропонується використання знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагонах. Даний модуль виступає проміжним адаптером між кузовом вагона та контейнером. Особливість конструкції цього модуля полягає у тому, що фітинги, якими він взаємодіє з фітинговими упорами, виконані з поглибленням. Це сприяє передачі навантаження від знімного модуля на кузов вагона не за площею прилягання фітингового упору до підлоги (кришки люка), а як розподіленого за площею прилягання опорної частини модуля до підлоги (кришки люка). Крім того, таке рішення сприяє і обмеженню власного ступеня вільності знімного модуля відносно кузова, оскільки вертикальні частини фітингів будуть взаємодіяти з вертикальними частинами фітингових упорів.

4. Сформовано математичну модель для визначення динамічної навантаженості контейнера, закріпленого за новою схемою в напіввагоні. Результати проведених розрахунків встановили, що максимальні прискорення, які діють на напіввагон складають  $40,6 \text{ м/с}^2$ , на знімний модуль –  $33,4 \text{ м/с}^2$ , а на контейнер – близько  $33,7 \text{ м/с}^2$ .

Проведено комп'ютерне моделювання повздовжньої динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами. Встановлено, що максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона зосереджені в середній частині його рами і складають  $39,1 \text{ м/с}^2$ . Максимальне прискорення, яке діє на знімні модулі склало  $35,2 \text{ м/с}^2$ , а на контейнери –  $36,2 \text{ м/с}^2$ .

Здійснено верифікацію сформованої моделі динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами. Проведені розрахунки показали, що гіпотеза про адекватність не відхиляється.

5. Визначено оптимальні параметри профілю виконання балок каркаса знімного модуля за умови мінімальної матеріалоемності. Для чисельної мінімізації функції з обмеженнями на розміри використовувався метод градієнтного спуску. Пошук, що здійснювався в області допустимих рішень, дав можливість у якості оптимальних визначити такі величини параметрів, що розглядаються:  $t_1=0,4 \text{ см}$ ,  $t_2=0,8 \text{ см}$ ,  $b=23,3 \text{ см}$ ,  $h=27,6 \text{ см}$ . Таке рішення обґрунтовується встановленими нормованими значеннями листового прокату ( $\delta=4 \text{ мм}$ ,  $5 \text{ мм}$ ,  $6 \text{ мм}$ ,  $7 \text{ мм}$ ,  $8 \text{ мм} \dots$ ). При цих параметрах значення маси та моменту опору складають, відповідно,  $m=45,3 \text{ кг}$ ,  $W_x=570,1 \text{ см}^3$ .

6. Проведено розрахунок на міцність конструкції знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні. До уваги взято два режими навантаження його

конструкції: дія вертикального навантаження, дія вертикального та поздовжнього навантажень. Встановлено, 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 знімним 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 фітингів. Максимальні переміщення в конструкції виникають у торцевій надбудові, розміщеній з боку прикладення навантаження до знімного модуля. Ці переміщення склали 2,16 мм. Отже, міцність знімного модуля для розглянутих схем навантажень забезпечується.

Проведено дослідження міцності знімного модуля при вантажно-розвантажувальних операціях. Встановлено, що при його підйомі стропами за нижні кутові фітинги максимальні напруження мають місце в зонах взаємодії поздовжніх балок модуля з нижніми фітингами і складають 115,2 МПа. Дані напруження не перевищують допустимі для сталі марки 09Г2С. Максимальні переміщення виникають в середній частині рами знімного модуля і дорівнюють 1,51 мм, що обумовлено схемою закріпленням знімного модуля. Проведено дослідження міцності знімного модуля при його закріпленні стропами за верхні кутові фітинги. Максимальні напруження зафіксовано в зонах взаємодії кутових стійок з поздовжніми балками. Ці напруження склали 124,5 МПа, але вони не перевищують допустимі. Максимальні переміщення виникають в кутових частинах поздовжніх балок та дорівнюють 1,74 мм. Проведено визначення міцності знімного модуля при його підйомі спредером. Максимальні напруження зафіксовано в зонах взаємодії кутових стійок з поздовжніми балками. Ці напруження склали 135,7 МПа, але вони не перевищують допустимі.

7. Проведено експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона з урахуванням різних схем її навантаження: сприйняття вертикального навантаження від фітингового упору, а також від знімного модуля. Для цього проводились стендові експериментальні дослідження в лабораторних умовах УкрДУЗТ. Встановлено, що при сприйнятті кришкою люка вертикального навантаження від фітингового упору максимальні напруження дорівнюють 345,4 МПа. Найбільший відсоток розбіжності між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки люка та експериментальними дослідженнями склав близько 10% і зафіксований при навантаженні на фітинговий упор у 30 кН. При сприйнятті кришкою люка навантаження від знімного модуля максимальні напруження склали 115,4 МПа, що не перевищує допустимих значень. Найбільший відсоток розбіжності між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки люка і експериментальними дослідженнями склав 10,4% та зафіксований при навантаженні на кришку люка у 20 кН. Результати експериментальних досліджень міцності кришки люка дозволяють зробити висновок, що запропонована схема кріплення контейнерів в напіввагоні із використанням знімного модуля сприяє

зниженню напружень, які виникають в кришці люка у 3 рази у порівнянні із типовою схемою взаємодії фітингів із фітинговими упорами.

8. Проведено розрахунок економічного ефекту від використання напіввагонів для перевезень контейнерів. При цьому економічний ефект від впровадження заходу, який запропоновано, визначено річною економією залежної частини експлуатаційних витрат в порівнянні з базовим варіантом використання напіввагонів та одноразовими витратами на конструктивне їх переоснащення для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком. Економічний ефект за розрахунковий період (10 років) при використанні контейнерів за типом 1СС склав 88,028 млн. грн., а 1АА – 49,376 млн. грн. Період повернення одноразових витрат при використанні напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком в контейнерах складає: при використанні контейнерів за типом 1СС – 5 років, при використанні контейнерів за типом 1АА – 4 роки. При цьому має місце зменшення коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів на 9%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

1. Sergii Panchenko, Alyona Lovska, Arsen Muradian, Yevhen Pelypenko, Pavlo Rukavishnykov, Oleksii Demydiukov. Identifying possible ways for adapting an open wagon for transporting containers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. №5/7 (131). P. 6 – 14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311324> (видання індексується в базі Scopus).

2. Alyona Lovska, Juraj Gerlici, Ján Dižo, Pavlo Rukavishnykov. Investigation of container strength when fixed in an open wagon equipped with pneumatic bags *Acta Technica Jaurinensis*. 2024. Vol. 17, No. 4. P. 177 – 182. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00753> (видання індексується в базі Scopus).

3. Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Краснокутський Є. С., Рукавішников П. В. Визначення міцності контейнера зі стінами із сендвіч-панелей під час експлуатаційних режимів навантаження. *Наука та прогрес транспорту*. 2024. №1(105). С. 84 – 91. <https://doi.org/10.15802/stp2024/301522>

4. Ловська А. О., Мурад'ян А. О., Рукавішников П. В., Демидюков О. В. Аналіз міцності кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 35 (74). № 2, 2024. С. 304–309. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/42>

5. 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. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2024-26-9>

6. Ловська А. О., Мурад'ян А. О., Рукавішников П. В., Демидюков О. В. Визначення навантаженості контейнера у разі його закріплення в напіввагоні за допомогою пневмооболонки. *Розвиток транспорту*. 2024. №3(22). С. 30 – 40. <https://doi.org/10.33082/td.2024.3-22.03>



7. Панченко С. В., Ловська А. О., Павлюченков М. В., Рукавішников П. В. Особливості проєктування зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагонах. *Наука та прогрес транспорту*. 2024. №3(107). С. 73 – 83. <https://doi.org/10.15802/stp2024/313395>

8. Ловська А. О., Мурадян А. О., Рукавішников П. В., Демидюков О. В. Дослідження міцності зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні при вантажно-розвантажувальних операціях. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2024. № 5(148). С. 83 – 90. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.5.12>

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

9. Ватуля Г. Л., Герліці Ю., Ловська А. О., Діжо Я., Рукавішников П. В. Аналіз міцності кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців “Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології”. (Київ, 29 – 30 листопада). Київ, 2023. С. 271 – 275.

10. Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження повздовжньої навантаженості контейнера при перевезенні його у напіввагоні. Збірник матеріалів конференції IV міжнародна інтернет-конференція “Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем”. (Рівне, 23 – 24 квітня). Рівне, 2024 р. С. 29 – 31.

11. Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження міцності кришки люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Матеріали LIII Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024). (Вінниця, 20 – 24 березня). Вінниця, 2024 р. С. 2482 – 2483.

12. Ловська А. О., Діжо Я., Рибін А. В., Рукавішников П. В. Визначення показників міцності кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Збірник наукових праць II-ї міжнародної науково-практичної конференції “Транспорт: наука та практика”. (Київ, 16 травня). Київ, 2024 р. С. 203 – 206.

13. Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження вертикальної навантаженості контейнера з підлогою із сендвіч-панелей при перевезенні вагоном-платформою. Збірка наукових праць XII наукової конференції “Наукові підсумки 2024”. (Харків, 26 грудня). Харків, 2024 р. С. 66.

14. Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Виявлення можливих шляхів адаптації напіввагона до перевезень контейнерів. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: 37 міжнародна науково-практична конференція “Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті”. (Харків, 10 – 11 жовтня). Харків, 2024 р. С. 32 – 33.

15. Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Ситуаційна адаптація напіввагона до перевезень контейнерів. Тези доповідей 5-ої міжнародної науково-технічної конференції “ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ”. (Харків, 25 – 27 листопада). Харків, 2024 р. С. 277 – 279.

16. Панченко С. В., Ловська А. О., Діжо Я., Рукавішников П. В. Особливості проектування та розрахунку на міцність зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагонах. Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців “Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології”. (Київ, 28-29 листопада). Київ, 2024 р. С. 357 – 359.

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

17. Вантажна одиниця: пат. 156991 Україна, МПК B65D 88/12 (2006.01); u202400568. заявл. 02.02.2024; опубл. 28.08.2024. Бюл. №35.

18. Піввагон для перевезень контейнерів: пат. 157214 Україна, МПК (2024.01) B61F 1/00 B61D 3/00; u202400795. заявл. 16.02.2024; опубл. 18.09.2024. Бюл. №38.

19. Модульна вантажна одиниця: пат. 157156 Україна, МПК B65D 88/12 (2006.01); u202400565. заявл. 02.02.2024; опубл. 11.09.2024. Бюл. №37.

## АНОТАЦІЯ

Рукавішников П. В. Удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (273 – залізничний транспорт); Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання для залізничного транспорту – удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів. Для можливості залучення напіввагонів до перевезень контейнерів проведено дослідження їх міцності. Встановлено, що міцність несучої конструкції напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів із використанням типових схем закріплення, які застосовуються на практиці, не дотримується. У зв'язку з цим, для кріплення контейнерів в напіввагоні запропоновано конструкцію знімного модуля, який виступає проміжним адаптером між несучою конструкцією напіввагона та контейнером. Результати проведених теоретичних розрахунків на міцність підтвердили доцільність застосування такої схеми закріплення. Отримані результати підтверджено експериментальними дослідженнями міцності кришки люка напіввагона, як складової конструкції, що утворює його підлогу.

Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень щодо удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів. Результати розрахунків підтвердили доцільність прийнятих в рамках роботи рішень.

*Ключові слова:* транспортна механіка, залізничний транспорт, напіввагон, адаптація конструкції, навантаженість напіввагону, контейнерні перевезення.

## SUMMARY

Rukavishnykov P. V. Improvement of methods of technical adaptation of an open wagon for transportation of containers.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.22.07 – rolling stock of railways and train traction (273 – railway transport); Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2025.

The dissertation is devoted to solving an urgent scientific problem for railway transport – improving the methods of technical adaptation of open wagons for container transportation. To enable the use of open wagons for container transportation, a study of their strength was conducted. Various schemes for securing containers in an open wagon were taken into account, including fitting stops and pneumatic shells. The calculations performed on the strength of the bearing structure of the open wagon and the container did not confirm the feasibility of using such schemes in practice. In this regard, for fastening containers in an open wagon, the design of a removable module that acts as an intermediate adapter between the open wagons bearing structure and the container is proposed. Mathematical and computer models of the longitudinal dynamic load of the bearing structure of an open wagon loaded with containers have been developed. The acceleration is determined as a component of the dynamic load acting on the bearing structure of an open wagon and a container. The developed models were verified by the F-criterion. A modal analysis of the bearing structure of an open wagon loaded with containers was carried out, taking into account the new scheme of their interaction.

The design features of a removable module for fastening containers in an open wagon are presented. The strength calculation of the removable module structure when placed in an open wagon is carried out. The strength of the removable module during loading and unloading operations, in particular when it is lifted by the lower corner fittings and the upper ones, was investigated.

An experimental study of the strength of the open wagon hatch cover was conducted. Two schemes of loading the hatch cover were taken into account: from the fitting stop of the container; from the removable module loaded with the container. The study was carried out using the method of electrical strain gauging. The results of experimental studies of the hatch cover's strength led to the conclusion that the proposed scheme for fastening containers in an open wagon using a removable module can reduce the stresses that occur in the cover by 3 times compared to the typical scheme of interaction between the container and the open wagon.

The economic effect of the use of open wagons for transporting cargo in containers in the empty direction is calculated. The economic effect over the estimated period (10 years) when using 1 CC containers amounted to 88.028 million UAH, and 1AA – 49.376 million UAH. The period of reimbursement of one-time costs of using open wagons for transporting cargo in the empty direction in containers is: 5 years when using 1 CC-type containers and 4 years when using 1AA-type containers. At the same time, the open wagon empty mileage rate decreased by 9%.

*Keywords:* transport mechanics, railway transport, open wagon, design adaptation, open wagon load, container transportation.

РУКАВІШНИКОВ ПАВЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 629.463.65:656.2.073.235

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ НАПІВВАГОНІВ  
ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ КОНТЕЙНЕРІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



проф. Равлюк В. Г.

---

Підписано до друку 09.04.2025.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів

Умовн. друк. арк. 2,66. Обл.-вид. арк. 2,0

Замовлення № 319. Тираж 100 прим.

---

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,

61050, м. Харків, м. Фейєрбаха, 7

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018