

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РУКАВІШНИКОВ ПАВЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 629.463.65:656.2.073.235

ДИСЕРТАЦІЯ

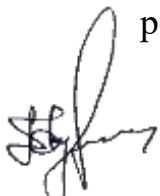
**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТЕХНІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ
НАПІВВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ КОНТЕЙНЕРІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело



П. В. Рукавішников

Науковий керівник

ЛОВСЬКА Альона Олександрівна
доктор технічних наук, професор

Харків – 2025

АНОТАЦІЯ

Рукавішников П. В. Удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація за 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, МОН України, Харків, 2025.

У дисертаційній роботі проведено дослідження динамічної навантаженості та міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Актуальність роботи обумовлена тим, що нестача вагонів-платформ для перевезень контейнерів викликає необхідність адаптації інших типів вагонів під такі перевезення, наприклад, напіввагонів. Однак для безпечного перевезення контейнерів в напіввагоні важливим є ситуаційна адаптація його конструкції до контейнерних перевезень.

У Вступі наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, зазначено її актуальність, наведено зв'язок роботи із науковими темами, сформульовано мету роботи, а також задачі, які спрямовано на її досягнення, зазначено практичну та наукову цінність дисертаційної роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз статистичних даних перевезень вантажів залізничним транспортом. Встановлено, що контейнери є досить затребуваним типом транспортного засобу 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.

Проведено аналіз наукових публікацій із забезпечення міцності несучих конструкцій вагонів в експлуатації. Встановлено, що питання удосконалень кузовів напіввагонів для можливості перевезень контейнерів потребують подальшого розвитку.

У другому розділі 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. Дані напруження не перевищують допустимі.

Досліджено міцність контейнера при перевезенні його у напіввагоні. Результати розрахунку показали, що міцність контейнера при цьому не забезпечується.

Наведено результати розрахунку на міцність кришки люка універсального напіввагона. Встановлено, що максимальні напруження виникають в петлі кришки люка і перевищують допустимі. Це дозволило зробити висновок, що перевезення контейнерів в напіввагонах, підлога яких утворена кришками розвантажувальних люків, не є допустимою.

Проведено визначення навантаженості несучої конструкції напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів із урахуванням кріплення їх в кузові пневмооболонками. Результати проведеного розрахунку дозволили зробити висновок, що міцність контейнера при завданих навантаженнях не забезпечується.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений створенню та науковому обґрунтуванню рішень щодо адаптації несучої конструкції напіввагона до перевезень контейнерів. Для безпечного перевезення контейнерів в напіввагоні пропонується використання знімного модуля. Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між контейнером та кузовом напіввагона.

Сформовано математичну та комп'ютерну моделі повздовжньої динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами. Визначено прискорення, як складову динамічного навантаження, що діє на несучу конструкцію напіввагона та контейнера. Здійснено верифікацію сформованих моделей за F-критерієм.

Проведено модальний аналіз несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами із урахуванням нової схеми їх взаємодії.

Наведено особливості проектування знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні. Проведено розрахунок на міцність конструкції знімного модуля за умови розміщення в напіввагоні.

Досліджено міцність знімного модуля при вантажно-розвантажувальних операціях, зокрема при його підйомі за нижні кутові фітинги, а також за верхні.

В четвертому розділі дисертаційної роботи проведено експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона. До уваги прийнято дві схеми навантаження кришки люка: від фітингового упору контейнера; від знімного модуля, завантаженого контейнером. Дослідження здійснено із використанням методу електричного тензометрування.

Місця монтажу тензорезисторів на кришку люка визначені теоретичним шляхом із застосуванням методу скінчених елементів. Підключення тензорезисторів здійснено за напівмостовою схемою.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні напруження в кришці люка виникають у петлі і складають 351,4 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 експериментальному дослідженні кришки люка на міцність з урахуванням її навантаження від знімного модуля максимальні напруження також зафіксовано у петлях, але вони склали 115,4 МПа. 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 дозволили зробити висновок, що запропонована схема кріплення контейнерів в напіввагоні із використанням знімного модуля дозволяє знизити напруження, які виникають в ній у 3 рази у порівнянні із типовою схемою взаємодії контейнера із напіввагоном.

В п'ятому розділі з метою техніко-економічного обґрунтування запропонованих в рамках дисертаційної роботи рішень проведено розрахунок економічного ефекту. Встановлено, що перевезення контейнерів в напіввагонах є економічно доцільним. 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 їх конструктивне 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 у порівнянні із базовою технологією перевезень на 8,98%. 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.

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

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Panchenko S., Lovska A., Muradian A., Pelypenko Ye., Rukavishnykov P., Demydiukov O. 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. 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. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2024. № 1 (105). С. 84–91. <https://doi.org/10.15802/stp2024/301522>.
3. 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*. 2024. Том 35 (74), № 2. С. 304–309. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/42>.
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 Дніпропетровського університету*. 2024. № 26. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2024-26-9>.
5. Ловська А. О., Мурад'ян А. О., Рукавішников П. В., Демидюков О. В. Визначення навантаженості контейнера у разі його закріплення в напіввагоні за допомогою пневмооболонок. *Розвиток транспорту*. 2024. № 3 (22). С. 30–40. <https://doi.org/10.33082/td.2024.3-22.03>.

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

Публікації у виданнях інших держав:

8. Lovska A., Gerlici J., Dižo J., Rukavishnykov P. 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>.

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. *Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології* : збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців. (Київ, 29–30 листопада 2023 р.). Київ : ДУІТ, 2023. С. 271–275.
10. Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження повздовжньої навантаженості контейнера при перевезенні його у напіввагоні. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : збірник матеріалів IV Міжнародної інтернет-конференції. (Рівне, 23–24 квітня). Рівне, 2024. 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. 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. *Наукові підсумки 2024 : збірка наукових тез XII наукової конференції*. (Харків, 26 грудня). Харків : Технологічний центр, 2024. 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. С. 32–33.
- 15.Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Ситуаційна адаптація напіввагона до перевезень контейнерів. *Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 5-ої міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків, 25–27 листопада). Харків : УкрДУЗТ, 2024. С. 277–279.
16. Панченко С. В., Ловська А. О., Діжо Я., Рукавішников П. В. Особливості проєктування 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. С. 357–359.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

1. Вантажна одиниця : пат. 156991 Україна : МПК В65D 88/12 (2006.01) ; u20240056 ; заявл. 02.02.2024 ; опубл. 28.08.2024, Бюл. № 35.
2. Піввагон для перевезень контейнерів : пат. 157214 Україна : МПК (2024.01) В61F 1/00 В61D 3/00 ; u202400795 ; заявл. 16.02.2024 ; опубл. 18.09.2024, Бюл. № 38.
3. Модульна вантажна одиниця : пат. 157156 Україна : МПК В65D 88/12 (2006.01) ; u202400565 ; заявл. 02.02.2024 ; опубл. 11.09.2024, Бюл. № 37.

ANNOTATION

Rukavishnykov P.V. Improvement of methods of technical adaptation of an open wagon for transportation of containers. – A qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

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, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2025.

In the dissertation the dynamic load and strength of the open wagons bearing structure when transporting containers in it is carried out. The relevance of the work is due to the fact that the lack of platform cars for the transportation of containers necessitates the adaptation of other types of cars for such transportation, such as open wagons. However, for the safe transportation of containers in an open wagon, it is important to adapt its design to container transportation.

The Introduction provides a general description of the dissertation, indicates its relevance, describes the connection of the work with scientific topics, formulates the

purpose of the work and the tasks aimed at achieving it, indicates the practical and scientific value of the dissertation.

The first section of the dissertation analyzes the statistical data on cargo transportation by rail. It is established that containers are a rather popular type of vehicle in international transportation. The freight fleet of platform cars of JSC “Ukrzaliznytsia” is analyzed and it is found that the average percentage of wear and tear of platform cars is 94.67%. Due to the lack of replenishment of the freight fleet with platform cars, it is possible to use open wagons for the transportation of containers. At the same time, this requires the adaptation of their designs for container transportation.

An analysis of scientific publications on ensuring the strength of load-bearing car structures in operation has been conducted. It is established that the issues of improving open wagon bodies for the transportation of containers require further development.

The second section includes an analysis of the research of the strength of the open wagons bearing structure when transporting containers. It was found that the maximum stresses in its structure occur in the zone of interaction between the transverse belts of the end wall and the corner posts and exceed the permissible ones.

The strength of the open wagons bearing structure was calculated, taking into account the fastening of containers through fitting stops. The maximum stresses were recorded in the fitting stops and equaled 142 MPa. These stresses do not exceed the permissible ones.

The strength of the container during transportation in an open wagon was investigated. The calculation results showed that the strength of the container is not ensured.

The results of the strength calculation of the hatch cover of a universal open wagon are presented. It is established that the maximum stresses occur in the hinge of the hatch cover and exceed the permissible ones. This led to the conclusion that the transportation of containers in open wagons with the floor formed by unloading hatch covers is not permissible.

The determination of the load on the bearing structure of an open wagon during the transportation of containers in it was conducted, taking into account their fastening in the body with pneumatic shells. The results of the calculation allowed to conclude that the strength of the container under the applied loads is not ensured.

The third section of the dissertation is devoted to the development and scientific substantiation of solutions for adapting the open wagons bearing structure to the transportation of containers. For the safe transportation of containers in an open wagon, 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 mathematical and computer models of the longitudinal dynamic loading of the bearing structure of an open wagon loaded with containers are 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 is carried out, taking into account a 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.

The fourth section of the dissertation carries out an experimental study of the strength of the open wagons hatch cover loaded from a container. 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 mounting locations of the strain gauges on the hatch cover were determined theoretically using the finite element method. The strain gauges are connected using a half-bridge scheme.

Based on the conducted calculations, it was found that the maximum stresses in the hatch cover occur in the hinge and amount to 351.4 MPa. The largest percentage of discrepancy between the results of computer modeling of the hatch cover strength and experimental studies was around 10% and was recorded at a load on the fitting support of 30 kN.

During the experimental study of the hatch cover's strength, taking into account its load from the removable module, the maximum stresses were also recorded in the hinges, but they amounted to 115.4 MPa. The largest percentage of discrepancy between the results of computer modeling of the hatch cover's strength and experimental studies was 10.4% and was recorded at a load on the hatch cover of 20 kN.

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.

In the fifth section, for the purpose of feasibility study of the solutions proposed within the dissertation, an economic effect calculation is carried out. It is established that the transportation of containers in open wagons is economically feasible. The economic effect from the implementation of the proposed measure is determined by the annual savings in the dependent part of operating costs compared to the basic variant of using open wagons and one-time costs for their structural re-equipment for transporting cargo in containers in the empty direction. The economic effect over the estimated period (10 years) when using 1CC 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 1CC-type containers and 4 years when using 1AA-type containers.

At the same time, there is a reduction in the empty-to-loaded run ration of open wagons by 8.98% compared to the basic transportation technology. The main provisions and recommendations of the dissertation were submitted for consideration

and further implementation to the regional branch “Southern Railway” of JSC “Ukrzaliznytsia” and LLC “BROOKLIN – KYIV”. Additionally, the results of the dissertation are being used in the educational process at UkrSURT for the preparation of bachelors and masters in the specialty 273 “Railway Transport”, as well as for students of the educational and scientific center of adult education.

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

The list of author’s publications

Journals where basic scientific results of the thesis has been published

1. Panchenko S., Lovska A., Muradian A., Pelypenko Ye., Rukavishnykov P., Demydiukov O. 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. Vatulia G. L., Lovska A. O., Krasnokutsky E. S., Rukavishnykov P. V. Determination of the strength of a container with walls made of sandwich panels during operational load modes. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo naczionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana*. 2024. № 1 (105). P. 84–91. <https://doi.org/10.15802/stp2024/301522>.
3. Lovska A. O., Muradyan A. O., Rukavishnykov P. V., Demydiakov O. V. Analysis of the strength of the hatch cover of a universal open wagon during the transportation of containers in it. *Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series: Technical Sciences*. 2024. Vol. 35 (74), № 2. P. 304–309. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/42>.
4. Lovska A. O., Dizo Y., Rybin A. V., Rukavishnykov P. V. Peculiarities of determining the strength indicators of the open wagon body during the

- transportation of containers in it. *Naukovi Visti Dalivskoho Universytetu*. 2024. № 26. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2024-26-9>.
5. Lovska A. O., Muradyan A. O., Rukavishnykov P. V., Demydiakov O. V. Determination of the load of the container in the case of its fixing in a gondola car using pneumatic shells. *Transport development*. 2024. № 3 (22). P. 30–40. <https://doi.org/10.33082/td.2024.3-22.03>.
 6. Panchenko S. V., Lovska A. O., Pavlyuchenkov M. V., Rukavishnikov P. V. Features of designing a removable module for fastening containers in gondola cars. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo naczionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana*. 2024. № 3 (107). P. 73–83. <https://doi.org/10.15802/stp2024/313395>.
 7. Lovska A. O., Muradyan A. O., Rukavishnikov P. V., Demydyukov O. V. Research on the strength of the removable module for fastening containers in an open wagon during loading and unloading operations. *Bulletin of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradsky National University*. 2024. No. 5(148). P. 83 – 90. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.5.12>
- Publications in other countries:*
8. Lovska A., Gerlici J., Dižo J., Rukavishnykov P. 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>.

Proceedings that certify an approvment of thesis materials

9. Vatulja G. L., Gerlici Y., Lovska A. O., Dizo Y., Rukavishnykov P. V. Analysis of the strength of the hatch cover of an universal open wagon during the transportation of containers in it. *Collection of materials of the II International Scientific and Practical Conference of Higher Education Applicants, Teachers and Scientists "Modern Research: Transport Infrastructure and Innovative Technologies"*. (Kyiv, November 29–30). Kyiv, 2023. P. 271–275.
10. Lovska A. O., Rukavishnykov P. V. Study of the longitudinal load of the container when transporting it in an open wagon. *Proceedings of the*

- IV International Internet Conference "Innovative Technologies for the Development of Mechanical Engineering and Efficient Functioning of Transport Systems".* (Rivne, April 23–24). Rivne, 2024. P. 29–31.
11. Lovska A. O., Rukavishnykov P. V. Study of the strength of the hatch cover of an open wagon during the transportation of containers in it. *Proceedings of the LIIII All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Vinnytsia National Technical University Divisions.* (Vinnytsia, March 20–24). Vinnytsia, 2024. P. 2482–2483.
 12. Lovska A. O., Dizo Y., Rybin A. V., Rukavishnykov P. V. Determination of the strength indicators of the open wagon body during the transportation of containers in it. *Collection of scientific papers of the II International Scientific and Practical Conference "Transport: Science and Practice".* (Kyiv, May 16). Kyiv, 2024. P. 203–206.
 13. Panchenko S. V., Lovska A. O., Rukavishnykov P. V. Study of the vertical load of a container with a floor made of sandwich panels when transportation by a flat wagon. *Collection of scientific papers of the XII scientific conference "Scientific Results 2024".* (Kharkiv, December 26). Kharkiv, 2024. P. 66.
 14. Panchenko S. V., Lovska A. O., Rukavishnykov P. V. Identification of possible ways of adaptation of open wagon to container transportation. *Information and Control Systems in Railway Transport : 37th International Scientific and Practical Conference "Information and Control Systems in Railway Transport".* (Kharkiv, October 10–11). Kharkiv, 2024. P. 32–33.
 15. Panchenko S. V., Lovska A. O., Rukavishnykov P. V. Situational adaptation of open wagon to container transportation. *Abstracts of the 5th International Scientific and Technical Conference "INTELLIGENT TRANSPORT TECHNOLOGIES".* (Kharkiv, November 25–27). Kharkiv, 2024. P. 277–279.
 16. Panchenko S. V., Lovska A. O., Dizo Ya., Rukavishnikov P. V. Features of design and calculation of the strength of a removable module for fastening containers in open wagons. *Materials of the III International Scientific and Practical Conference of Higher Education Students, Teachers and Scientists*

“Modern Research: Transport Infrastructure and Innovative Technologies”.
(Kyiv, November 28-29). Kyiv, 2024. P. 357 – 359.

Scientific works that additionally reflect scientific dissertation results

17. Loading unit : pat. 156991 Ukraine : MPC B65D 88/12 (2006.01) ; u202400568
; applications on 02.02.2024 ; published on 28.08.2024, Bull. № 35.
18. Open wagon for the transportation of containers : pat. 157214 Ukraine : MPC
(2024.01) B61F 1/00 B61D 3/00 ; u202400795 ; applications on 16.02.2024 ;
published 18.09.2024, Bull. № 38.
19. Modular loading unit : pat. 157156 Ukraine : IPC B65D 88/12 (2006.01) ;
u202400565 ; applications on 02.02.2024 ; published 11.09.2024, Bull. № 37.

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	20
Вступ	21
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНИ	27
1.1 Аналіз статистичних даних перевезень вантажів залізничним транспорт	27
1.2 Аналіз наукових публікацій із забезпечення міцності несучих конструкцій вагонів в експлуатації	31
1.3 Висновки до розділу 1	41
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ В НЬОМУ КОНТЕЙНЕРІВ	43
2.1 Дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням різних схем взаємодії із контейнерами	43
2.1.1 Дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням відсутності кріплення контейнерів в ньому	43
2.1.2 Дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням кріплення в ньому контейнерів через фітингові упори	49
2.2 Визначення міцності контейнера при перевезенні його у напіввагоні	52
2.3 Дослідження міцності кришки люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів	62
2.4 Визначення навантаженості контейнера при його закріпленні в напіввагоні за допомогою пневмооболонок	67
2.5 Висновки до розділу 2	72
РОЗДІЛ 3 АДАПТАЦІЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ДО ПЕРЕВЕЗЕННЬ КОНТЕЙНЕРІВ	75
3.1 Рішення щодо безпечного перевезення контейнерів в напіввагонах	75

3.2 Формування математичної моделі динамічної навантаженості контейнера, закріпленого за новою схемою в напіввагоні	78
3.3 Проектування конструкції знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні	87
3.4 Визначення міцності знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні при вантажно-розвантажувальних операціях	106
3.5 Висновки до розділу 3	116
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КРИШКИ ЛЮКА НАПІВВАГОНА, НАВАНТАЖЕНОЇ ВІД КОНТЕЙНЕРА	120
4.1 Експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від фітингового упора контейнера	120
4.2 Експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від знімного модуля	130
4.3 Висновки до розділу 4	134
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ НАПІВВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ В КОНТЕЙНЕРАХ ЗА ПОРОЖНІМ НАПРЯМКОМ	136
5.1 Загальні положення	136
5.2 Визначення одноразових витрат на конструктивне переоснащення нанапіввагонів для перевезення контейнерів	141
5.3 Визначення впливу коефіцієнту порожнього пробігу вагонів на кількісні та якісні показники використання рухомого складу	142
5.4 Розрахунок річної економії залежної частини експлуатаційних витрат від використання напіввагонів для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком	150
5.5 Розрахунок економічного ефекту від використання напіввагонів для перевезення вантажів у контейнерах за порожнім напрямком	160
5.6 Визначення періоду повернення одноразових витрат	161

5.7 Результати порівняльної експлуатаційної та економічної оцінки використання напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком в контейнерах	163
5.8 Висновки до розділу 5	164
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	165
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	170
Додаток А Акти про впровадження результатів дисертації	184
Додаток Б Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	192
Додаток В Результати розрахунку кришки люка напіввагона, навантаженої від знімного модуля	196

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Динамічна навантаженість – процес, що характеризується швидкою зміною в часі значень, напрямків або точок (зон) прикладання динамічних навантажень і виникнення в елементах конструкції динамічних сил.

Міцність – властивість матеріалу чинити опір руйнуванню під дією напружень, що виникають під впливом зовнішніх сил.

Концепт — інноваційна ідея, що містить в собі творчий сенс.

Епюра – особливий вид графіку, який показує розподіл будь-якої величини за довжиною об'єкту.

Напружений стан – сукупність нормальних та дотичних напружень, що виникають на різних майданчиках, які проходять через дану точку.

Деформація – зміна розмірів і форми твердого тіла під дією зовнішніх сил (навантажень) або якихось інших впливів.

Напружено-деформований стан – сукупність внутрішніх напружень і деформацій конструкції або її елемента, що виникають при дії на неї зовнішніх навантажень, температурних полів чи інших факторів.

Несуча конструкція вагону – сукупність конструкційних елементів, що сприймають основні навантаження в експлуатації.

Пошкодження вагона – подія, що полягає в порушенні справного стану вагону при збереженні працездатного стану.

ВСТУП

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 кузову, 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 та 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 матеріалоемності;
- 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 пневмооболонок; 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);
- LIII-й Всеукраїнській науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету, НТКП ВНТУ, 2024. (Україна, м. Вінниця);

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

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УКРАЇНИ

1.1 Аналіз статистичних даних перевезень вантажів залізничним транспортом

Транспортна галузь вже тривалий час є провідною галуззю загальної транспортної мережі, яка забезпечує сталий розвиток економіки євразійських країн. За статистичними даними 2023 р. в Україні перевезено 327,9 млн. т. вантажів. Ці дані наведено за інформацією Державної служби статистики України. Нижче представлено діаграму перевезень вантажів за 2023 р.

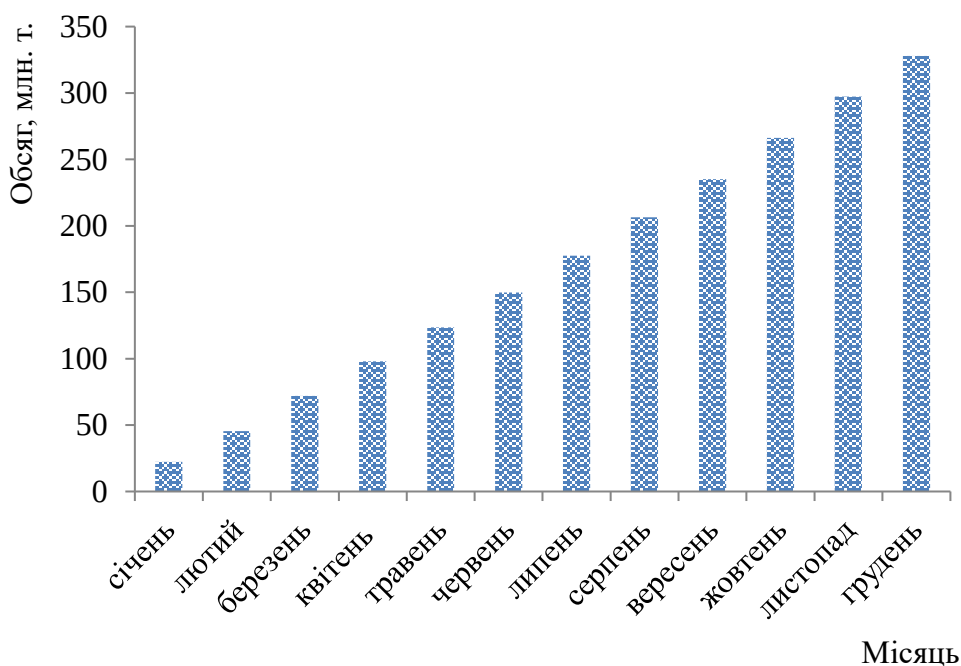


Рисунок 1.1 – Діаграма перевезень вантажів в Україні за 2023 р.

В цій діаграмі враховано наростання об'ємів вантажів, що перевозяться із початку року і до його кінця. Тому вона має наростаючий вигляд. Але треба зазначити, що ці дані наведено без урахування тимчасово окупованих

російською федерацією територій та частини територій, на яких ведуться (велись) бойові дії. Діаграма побудована за офіційними даними, що містяться у відкритому доступі мережі інтернет.

Даний обсяг перевезень на 3,3% більший ніж той, що мав місце у 2022 року.

Найбільш перспективна галузь транспорту – залізничний транспорт [99]. Саме на нього припадає найбільший відсоток перевезень вантажів. Так, у 2023 р. АТ “Укрзалізниця” перевезла 148,4 млн. т. вантажів. Інформація наведена за офіційними даними АТ “Укрзалізниця”, що містяться у відкритому доступі мережі інтернет.

Номенклатуру вантажів, що перевозяться, за обсягами наведено на рисунку 1.2.

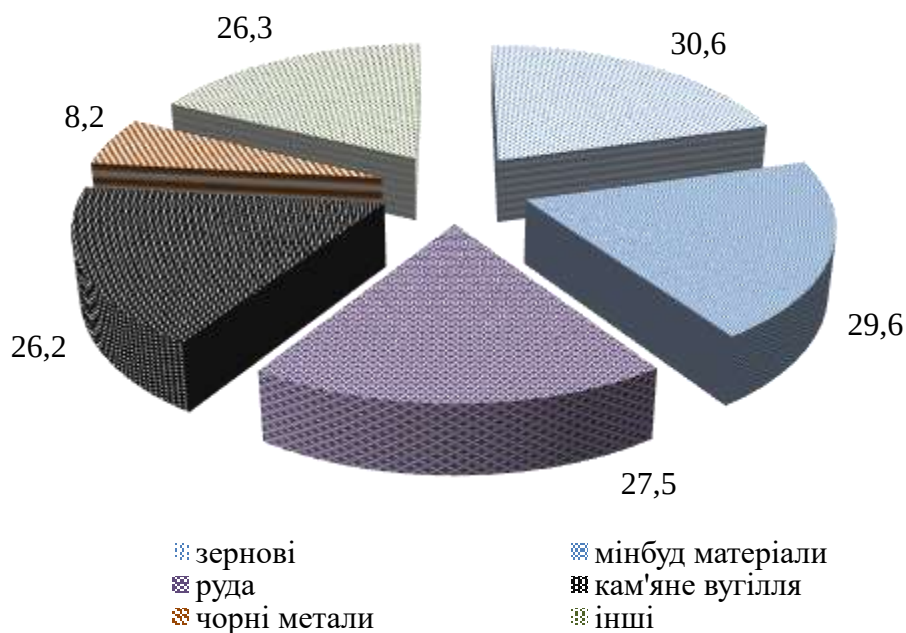


Рисунок 1.2 – Номенклатура вантажів, що перевозяться у 2023 р. (млн. т.)

У порівнянні із 2022 р. перевезення зернових збільшилося на 5,9%, мінбудматеріалів – 29,6%. Разом з цим перевезення руди зменшилося на 13,2%, кам'яного вугілля – на 11,2%, а чорних металів – на 10,6%. Отже, найбільш затребуваними видами залізничних транспортних засобів для перевезень

зазначеної номенклатури вантажів були напіввагони, вагони-платформи, контейнери, вагони-хопери тощо.

В 2023 р. через морські торгівельні порти України перевезено 22,3 млн. т. усіх вантажів, а через сухопутні переходи – 34,4 млн. т.

Вантажообіг у морських торгівельних портах України наведено на рисунку 1.3. Діаграма побудована за офіційними даними, що містяться у відкритому доступі мережі інтернет.

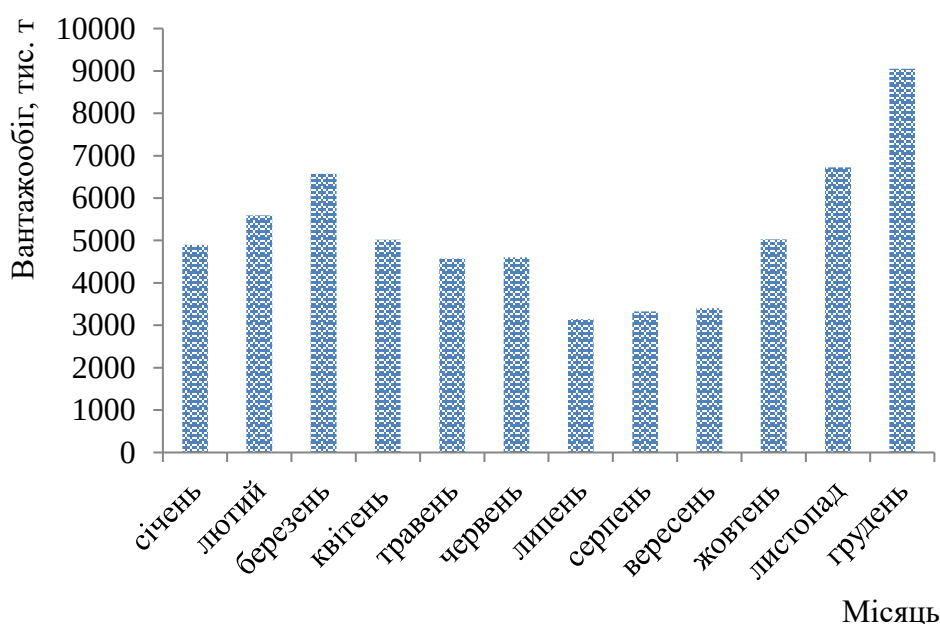


Рисунок 1.3 – Вантажообіг у морських торгівельних портах

Найбільш поширеним видом вантажів, які оброблялися в портах є зернові та наливні.

З урахуванням проведеного аналізу було зроблено висновок, що найбільш затребуваним типом транспортного засобу у міжнародному сполученні є контейнери [66, 78]. Це пов'язано з їх мобільності, та можливістю перевезень всіма видами транспорту. Під час військового часу даний тип транспортного засобу використовується ще і у стратегічних цілях, забезпечуючи транспортування військової техніки, а також стратегічних вантажів.

Перевезення контейнерів залізницею здійснюється здебільшого на вагонах-платформах. Для цього вони обладнуються фітинговими упорами (рисунок 1.4).

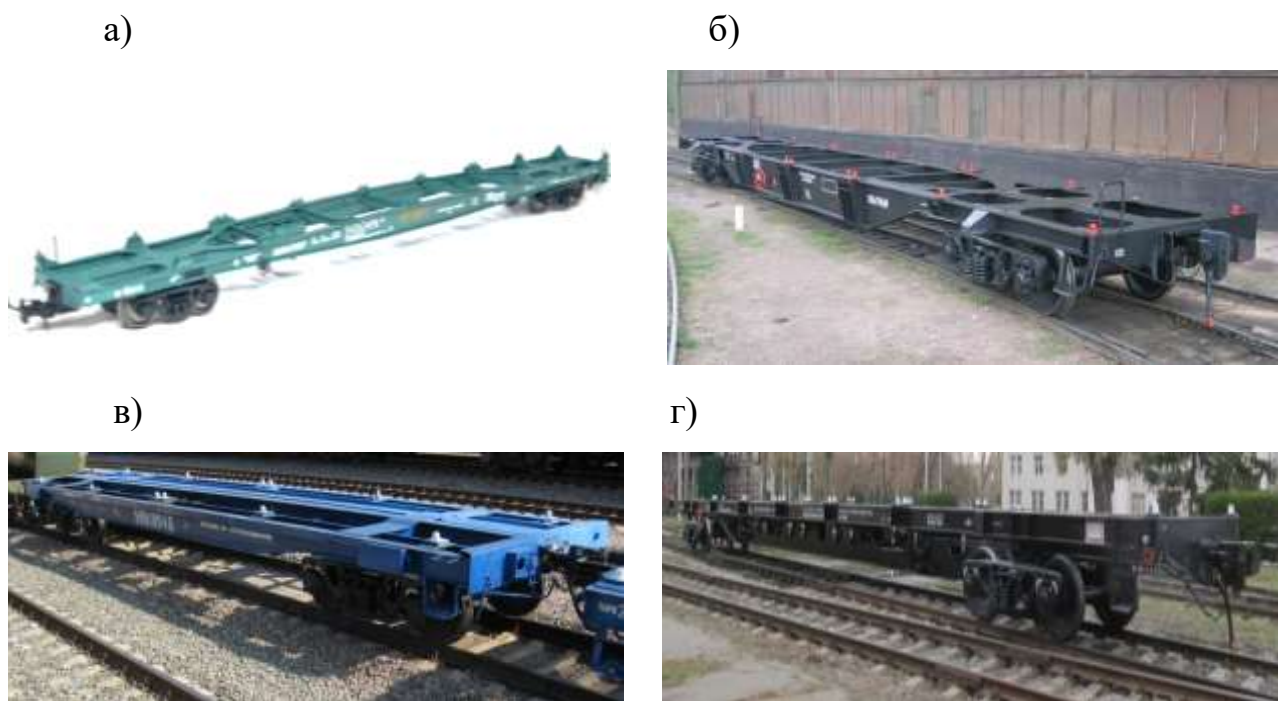


Рисунок 1.4 – Вагони-платформи для перевезень контейнерів

а) модель 13-7024; б) модель 13-4117; в) модель 13-4085-01; г) модель 13-7132

За даними 2021 р. (кінець календарного року) вантажний парк АТ “Укрзалізниця” налічував близько 5300 вагонів-платформ з середнім роком побудови – 1989 р. При цьому середній відсоток їх зносу складав 94,67%. В зазначену кількість вагонів-платформ входили і ті, які призначені для перевезень контейнерів – близько 4600 одиниць. Середній рік побудови – 1989 р. Середній відсоток їх зносу складав – 87,33%. Така ситуація сприяє ускладненню перевезень контейнерів залізницею, що пояснюється нестачею вагонів-платформ. У зв’язку з цим, розглянуто можливість залучення інших типів вагонів під такі перевезення, наприклад, напіввагонів (рисунок 1.5). Їх чисельність за даними того ж періоду складала більше 103000 одиниць із середнім роком побудови – 2001 рік та середнім відсотком зносу – 68,21%.

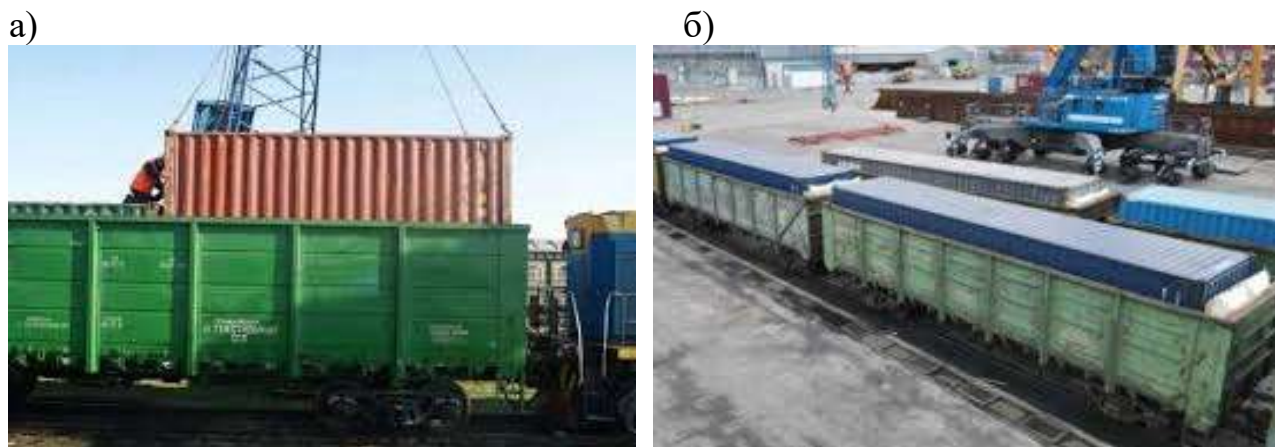


Рисунок 1.5 – Перевезення контейнерів в напіввагонах

а) завантаження контейнерів в напіввагон; б) розміщення контейнерів в напіввагоні

Але залучення напіввагонів під перевезення контейнерів вимагає адаптації їх конструкцій до таких цілей, адже відсутність закріплення контейнерів може сприяти пошкодженню вагона та викличе необхідність здійснення позапланових видів ремонту [57, 58], відшкодування спричинених збитків під час перевезень тощо. Крім того, відсутність адаптації напіввагонів до перевезень контейнерів є небезпечним і з екологічної точки зору в випадку перевезень небезпечних вантажів. Тому питання ситуаційної адаптації напіввагонів під контейнерні перевезення є досить актуальними і потребують дослідження.

1.2 Аналіз наукових публікацій із забезпечення міцності несучих конструкцій вагонів в експлуатації

Питання створення залізничного рухомого складу для перевезень контейнерів, а також удосконалення схем їх закріплень під час транспортування є досить актуальними. Наприклад, в роботі [65] розглянуто питання безпеки перевезень контейнерів у вагоні RgS. Кріплення контейнерів на цьому вагоні

здійснюється за допомогою спеціальних бовтів. Результати розрахунків, проведених авторським колективом, дозволили визначити найбільш раціональний тип бовтів для кріплення контейнерів. Однак поза увагою авторів залишилися питання визначення можливості кріплення контейнерів в напіввагонах із використанням такої схеми. Це може бути пов'язано з тим, що при проведенні дослідження розглянуто найбільш використовуваний тип вагону для перевезень контейнерів.

В роботі [87] для адаптації транспортних засобів до перевезень контейнерів запропоновано конструкцію знімного модуля типу FLAT RACK. Висвітлено результати розрахунку знімного модуля на міцність за умови його використання на вагоні-платформі. Результати розрахунку довели доцільність запропонованої конструкції знімного модуля. Разом з цим, авторами не досліджувалась можливість його використання для кріплення контейнерів в напіввагонах.

Особливості модернізації несучої конструкції вагона для можливості перевезень в ньому контейнерів висвітлюються в публікації [86]. Авторським колективом наведено результати експериментальних досліджень міцності рами вагона при маневровому співударянні. Встановлено, що запропонована модернізація є доцільною. Але дані дослідження проведено стосовно вагона-платформи. Тобто автори не досліджували доцільність подібної модернізації напіввагона.

В публікації [92] також розглянуто питання модернізації вантажного вагона для перевезень контейнерів. Авторами роботи запропоновано впровадження знімної рами. Така рама призначена для розміщення 20-ти та 40-футових контейнерів та кріпиться до рами вагона. Доведено, що запропоновані рішення щодо використання зазначеної рами є ефективними. Однак автори обмежилися обґрунтуванням застосування запропонованої рами на вагоні-платформі.

В роботі [71] наведено рішення щодо ситуативної адаптації напіввагонів до перевезень контейнерів. Запропоновано спеціальний знімний модуль для закріплення контейнерів в напіввагоні. Такий модуль є багатофункціональним та може бути використано для перевезень і інших типів вантажів. В статті наведено,

приклад його застосування для перевезень довгомірних вантажів. Однак авторами не приділялося уваги дослідженню міцності несучої конструкції напіввагона та контейнера з урахуванням використання такого модуля.

Особливості розрахунку на міцність підлоги 40-футового контейнера при його перевезенні водним транспортом розглянуто в роботі [63]. Дана робота має практичне значення, оскільки авторами досліджувався певний маршрут перевезень контейнерів. Запропоновані рекомендації щодо безпечної експлуатації даного типу контейнера за цим маршрутом. Однак ці рішення не є ефективними при його перевезенні залізничним транспортом, зокрема в напіввагонах.

В роботі [74] наведено обґрунтування впровадження інноваційних мультимодальних систем в експлуатацію. Дані системи розглядаються як альтернатива існуючим типам перевезень. Наведено обґрунтування застосування таких систем із економічної точки зору. Однак авторами даної роботи не приділялося уваги питанню ситуаційної адаптації транспортних засобів для підвищення ефективності контейнерних перевезень. Це сприяло би подальшому розвитку та рентабельності транспортної галузі в цілому.

Аналіз динамічної навантаженості вагона, завантаженого контейнерами при зчепленні (маневровому співударянні), проводиться в роботі [62]. Розглянуто випадок наявності власного ступеня вільності контейнера на вагоні. Сформовано математичну модель, яка дозволяє визначити динамічні навантаження, що діють на вагон і контейнер при зчепленні. Але автори не проводили застосування даної моделі для визначення навантаженості контейнерів в напіввагоні.

Робота [72] присвячена визначенню навантаженості напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Наведено розрахунок на міцність кузова вагона при сприйнятті ним повздовжніх навантажень від контейнерів через фітингові упори, приварені до підлоги. Запропоновано рішення щодо удосконалення схеми закріплення контейнерів в напіввагоні. Однак ці рішення зазначено як концепти. В роботі не наведено прикладів реалізації цих рішень.

Компанія GreenBrier Europe запропонувала конструкція вагона для перевезень легкових автомобілів, мікроавтобусів, а також контейнерів. Вагон оснащений колісними упорами для кріплення автотранспорту. При перевезенні контейнерів ці упори демонтуються, а на рамі вагона встановлюються спеціальні відкидні патрубки. Вагон спроектовано у відповідності до міжнародних стандартів.

Однак зазначені технології перевезень мають велику собівартість, оскільки вимагають впровадження в експлуатацію нових конструкцій транспортних засобів.

Пристрій для закріплення контейнерів в кузові напіввагона запропоновано колективом вчених, на чолі із Савушкіним Р. О. Пристрій складається з плити-основи, штирьової опори у вигляді профільного стрижневого елемента з заокругленою вершиною і плоскими бічними гранями. До складу пристрою також входять вісь, упорна плита, вушка, трубка, нижня плита та елементи фіксації. Даний пристрій має досить складну конфігурацію, що викликатиме труднощі технічного обслуговування та ремонту. До того ж при русі вагона рейковою колією можливим є додаткова навантаженість кузова за рахунок взаємодії зі складовими пристрою.

Колективом закордонних вчених у складі Лі Чжу, Дун Чжигана та Сунь Юншена запропоновано завантажувальний пристрій для кріплення вантажів, в тому числі, контейнерів, при залізничних перевезеннях. Пристрій містить основу рами, розділову перегородку і першу опору для вантажу. Перегородка розташована на кінці основи рами. Перша опора для вантажу та перегородка утворюють опорний канал. Перша опора містить першу верхню балку, перший елемент, що амортизує, і перше ребро жорсткості. Один кінець першого елемента, що амортизує, з'єднаний з нижньою балкою, а другий його кінець з'єднаний з першою верхньою балкою. Нижня частина першого ребра жорсткості упирається у верхню сторону основи рами. Бічна сторона першого ребра жорсткості упирається в першу нижню балку та/або перший елемент, що

амортизує. Однак дана конструкція пристрою не дозволяє адаптувати напіввагон до надійного перевезення контейнерів залізницею.

Особливості модернізації несучої конструкції вагона для можливості перевезень в ньому контейнерів висвітлюються в публікації [42]. Наведено результати експериментальних досліджень міцності рами вагона при маневровому співударянні. Встановлено, що запропонована модернізація є доцільною. Але дані дослідження проведено стосовно вагона-платформи. Тобто автори не досліджували доцільність подібної модернізації напіввагона.

Викликає наукову цікавість публікація Ющенка В. В. стосовно конструкції вагона для комбінованих перевезень різних вантажів як у кузові, так і в контейнерах без порожніх пробігів. Вагон для комбінованих перевезень має раму, ходову частину з візками, пристроями зчеплення, гальмівні пристрої та кузов. При цьому кузов виконано у вигляді напіввагона з бічними та торцевими стінками та днищем. Рама вагона забезпечена упорами для фіксації контейнерів. Упори встановлено по кутах кузова і вони можуть бути як фітингові, так і будь-які інші.

Колективом вчених у складі Кравченка А. М., Ведянкина А. В. та Чекоданова Є. В. запропоновано подібну конструкцію вантажного вагона, який містить кузов з рамою, що спирається на візки. Кузов складається з торцевих і бічних стін, а рама містить фітингові упори для установки контейнерів. Для спрямування контейнера при його завантаженні та вивантаженні на торцевих стінах встановлені кутові напрямні. На бічних стінах встановлені бічні напрямні. Бічні напрямні розташовані під кутом до бічної стіни і є знімними. Кутові напрямні складаються з двох частин.

Важливо сказати, що з урахуванням закріплення контейнерів за такими схемами, навантаження від них передається на кузов у вигляді зосередженого, тобто у чотирьох точках. За рахунок наявності технологічних зазорів в парах “фітингові упори – фітинги” може мати місце власна ступінь вільності контейнера при перевезеннях. Це сприяє навантаженню не тільки його конструкції, а і фітингового упору, що може призвести до їх пошкоджень.

Для дослідження можливості перевезень контейнерів в напіввагонах, підлога яких утворена кришками розвантажувальних люків, в роботі [77] проведено визначення їх міцності. До уваги прийнято два режими навантажень кришки люка: дія вертикального навантаження на кришку люка через фітинговий упор, а також дія вертикального та повздовжнього навантажень. Встановлено, що отримані величини напружень значно перевищують допустимі. Подібні дослідження висвітлює і робота [43], але розрахунок на міцність реалізовано при сприйнятті кришкою люка вертикального навантаження. Недоліком зазначених робіт є те, що рішень, спрямованих на забезпечення міцності кришок розвантажувальних люків при розглянутих схемах їх навантажень, авторами не запропоновано.

При перевезенні контейнерів в напіввагонах, підлога яких утворена кришками люків, важливим є розгляд питань щодо забезпечення їх міцності.

В роботі [7] для забезпечення схоронності кришок розвантажувальних люків напіввагонів запропоновано її удосконалення шляхом посилення конструкції додатковими поясами. Запропоноване удосконалення підтверджено результатами розрахунків на міцність кришки люка.

Кебалом І. Ю. також запропоновано удосконалення кришки люка напіввагона. Передбачено заміну профілю листа, який у частині кріплення має ступінчасту форму на більш раціональний профіль. Наведені результати розрахунків на міцність кришки люка. Разом з цим автором не проводилося визначення міцності кришки люка при навантаженні від контейнера.

Для забезпечення схоронності кришок розвантажувальних люків в процесі експлуатації є можливим використання новітніх матеріалів для їх виготовлення. Так, Каракаєвим А. К. та Зариповим Р. Ю. проведено обґрунтування використання полімерних композитних матеріалів для виготовлення кришок розвантажувальних люків. Представлені результати розрахунку на міцність кришки люка, які довели, що така реалізація є доцільною.

Подібне дослідження проведено і в роботі [95], де також пропонується використання композиційних матеріалів для виготовлення складових конструкцій вантажних вагонів, зокрема, настилу підлоги.

В роботі [10] автором проведено дослідження міцності кришок розвантажувальних люків напіввагонів при наднормованих режимах навантаження. Запропоновані рішення щодо удосконалення кришки люка, в тому числі, впровадженням енергопоглинального матеріалу в її конструкцію.

Однак авторами вищезазначених робіт не досліджувалося можливості перевезень контейнерів в напіввагонах, обладнаних такими кришками люків чи підлогою.

Для забезпечення схоронності кришки люка напіввагона при найбільш навантажених експлуатаційних режимах в публікації [85] запропоновано заходи щодо її удосконалення. Особливістю кришки люка є те, що вона складається з двох листів, які за периметром взаємодіють через Ш-подібне обв'язування. Простір, який утворюють листи та обв'язування, а також по периметру кришки люка, заповнений пружно (пружно-в'язкою) речовиною. Разом з цим така конструкція кришки люка викликає складнощі при технічному обслуговуванні і ремонті.

Нову конструкцію кришки люка напіввагона запропоновано і в статті [67]. Особливістю запропонованої кришки люка є те, що вона має випуклу конфігурацію. Таке рішення дозволяє збільшити вантажопідйомність напіввагона на 0,9 т у порівнянні з прототипом. Результати розрахунків на міцність довели раціональність запропонованої конструкції кришки люка. Однак в статті до уваги прийнято тільки один розрахунковий режим її навантаження.

В роботі [61] для покращення міцності бокових стін кузова напіввагона запропоновано посилення їх додатковими поясами. При цьому за трьома секціями кузова з боку консолей він посилений діагональними поясами, а в середній секції за висотою $1/3$ від нижнього обв'язування – горизонтальним поясом. Здійснено розрахунок на міцність кузова напіввагона при основних режимах його навантажень в експлуатації (I та III розрахункові режими).

Встановлено, що отримані напруження на 10,3 % нижчі за ті, що мають місце в типовій конструкції кузова напіввагона. Однак авторами не розглянуто можливості перевезень контейнерів в запропонованій конструкції напіввагона.

Особливості конструкції залізничного вагона, призначеного для перевезень великовагових вантажів висвітлюються у статті [69]. Зазначено гіпотези та припущення, прийняті при проектуванні даного вагона. Наведено результати визначення його напруженого стану при основних режимах експлуатації. Однак не зазначено особливостей навантаженості конструкції вагона при перевезенні контейнерів.

Конструкцію вантажного вагона для перевезень колісної техніки запропоновано авторами роботи [98]. Цікавість конструкції даного вагона полягає у тому, що є можливість перевантаження автомобілів за системою ACTS. Для цього вагон має спеціальну поворотну раму. Разом з рядом переваг даної конструкції вагона, авторами не оговорено можливості перевезень на ньому контейнерів.

Для можливості перевезень великовагових вантажів в роботі [96] авторами розроблено спеціальну конструкцію плоского вагона. Для забезпечення кріплення вантажу вагон оснащений вертикальними стійками. Описано технологію вантажно-розвантажувальних операцій на даному вагоні.

Схожу конструкцію вагона розробила компанія GreenBrier Europe [83]. Такий вагон призначений для перевезень колісної техніки, а також контейнерів. Для забезпечення нерухомості колісної техніки на вагоні передбачені спеціальні упори. У випадку перевезень контейнерів – в якості кріпильних засобів застосовуються відкидні патрубки.

Безумовно дані конструкції вагонів мають значні переваги в експлуатації у порівнянні з відомими. Разом з цим, розробниками не зазначено особливостей навантаженості даних конструкцій вагонів при перевезенні в них контейнерів з урахуванням наявності власного ступеня вільності, обумовленого технологічним зазором в парах “фітингові упори – фітинги”.

В роботі [73] розглянуто питання покращення міцності обшивки кузова напіввагона використанням гофр. За рахунок збільшення моменту опору обшивки в поперечній площині симетрії покращується її міцність при сприйнятті експлуатаційних навантажень. Дане рішення обґрунтоване теоретичними розрахунками на міцність несучої конструкції напіввагона. Однак авторами не досліджувалась можливість перевезення контейнерів в запропонованій конструкції вагона, що підвищило б ефективність його експлуатації.

В роботі [70] авторами запропоновано впровадження сталей марок 16Г2АФ та 18Г2АФпс для виготовлення складових кузова. З метою визначення оптимальної товщини складових кузова проведено відповідні обчислення. На послідовному етапі досліджено міцність удосконаленої конструкції кузова напіввагона та доведено доцільність запропонованих рішень.

В роботі [59] для покращення міцності кузова вагона запропоновано використання ламінованих композитних панелей. Авторським колективом визначено оптимальну товщину даних панелей за умови забезпечення міцності. Однак рішення, запропоновані в роботах [59, 70] не сприяють можливості залучення вагонів до перевезень контейнерів.

Доцільність впровадження композитних панелей для виготовлення обшивки стін кузова вагона проводиться в роботі [84]. Дане рішення запропоноване здебільшого з позиції зменшення корозійних пошкоджень кузова, а також полегшення його розвантаження в зимових умовах. Зазначено, що реалізувати дане удосконалення є можливим не тільки на стадії виготовлення, а і при модернізаціях вагонів. Досить цікавим було б дослідити навантаженість кузова такого напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів, але авторами не розглянуто такого питання.

Для покращення міцності кузова вантажного вагона в роботі [91] запропоновано його виготовлення із сендвіч-панелей. Кожна панель утворена двома листами між якими розміщений прошарок із енергопоглинального матеріалу. Покращення міцності бокових стін досягається за рахунок зменшення динамічних навантажень, що діють на кузов під час експлуатаційних режимів.

Наявність сендвіч-панелей у якості складових кузова сприяло б і зменшенню навантаженості контейнерів під час їх залізничних перевезень. Однак в роботі ці питання не досліджувалися.

В публікації [64] покращення міцності кузова напіввагона реалізується використанням композитного матеріалу. При цьому досягається також зменшення власної маси кузова, покращення корозійної стійкості тощо. Обґрунтування даного впровадження здійснено на прикладі торцевої стіни кузова. Однак автори зазначеної роботи не досліджували можливість залучення таких конструкцій вагонів під контейнерні перевезення.

В роботі [97] запропоновано нову конструкцію напіввагона, який має вантажопідйомність 80 т. Конструкційною особливістю даного напіввагона є те, що він має понижений центр ваги у порівнянні з наявними аналогами. Для покращення міцності вертикальних стійок кузова, вони мають змінний за висотою переріз з максимальною шириною у основи. Дана конструкція обґрунтована комплексом теоретичних розрахунків з використанням сучасних методів та засобів моделювання. Разом з цим, в конструкції напіввагона не передбачено рішень, спрямованих на можливість їх застосування під перевезення контейнерів.

В дисертаційній роботі Коваленка В. В. запропоновано заходи щодо покращення функціонування розвантажувальних пристроїв напіввагонів (кришок люків). При цьому автором удосконалено їх конструкцію, а також запропоновано нові методи розрахунку, які враховують наднормовані режими навантаження. На всі конструкції кришок люків отримано патенти України, наведені у списку літературних джерел до дисертаційної роботи. Разом з цим, автором не досліджувалися питання навантаженості кришок люків при контейнерних перевезеннях.

В публікації [12] запропоновано нову конструкцію контейнера, який містить жорсткий несучий каркас, до складу якого входять стійки кутові, балки поздовжні та торцеві верхні та нижні, стінки бокові, настил підлоги, дверні стулки та механізми запору дверей; в кутах верхніх та нижніх балок поздовжніх

та торцевих розміщені фітинги верхні та нижні. Торцеві та бокові стіни контейнера виконано із сендвіч-панелей, кожна з яких складається з двох металевих листів, між якими знаходиться енергопоглинальний матеріал. Каркас містить обв'язування верхнє та нижнє, стійки кутові та проміжні, балку основну поздовжню, виконану з двох прямокутних труб, заповнених енергопоглинальним матеріалом, та балки поперечні, які виконано з П-подібних профілів, перекритих горизонтальними листами та заповнених енергопоглинальним матеріалом. Підлога контейнера утворена кришками розвантажувальних люків, також контейнер оснащений знімним дахом. Однак треба зазначити, що авторським колективом не проводилися дослідження його навантаженості при перевезенні в напіввагоні.

Проведений аналіз літературних джерел доводить, що удосконалення транспортних засобів залізничного призначення є досить актуальним. Однак питання ситуаційної адаптації контейнерів до перевезень в напіввагонах є досі не розкриті належним чином. Тому виникає необхідність проведення досліджень в зазначеному напрямку.

1.3 Висновки за розділом 1

1. Проведено аналіз вантажоперевезень через територію України. Встановлено, що одними із найбільш частих типів вантажів, які перевозилися є зернові. Здебільшого ці вантажі перевозяться в вагонах-хоперах, а також контейнерах. При цьому контейнери є досить затребуваними і в міжнародному сполученні. Це можна пояснити тим, що вони є мобільними. Відповідно це сприяє їх перевезенню майже всіма видами транспорту. Залізницею контейнери перевозяться на вагонах-платформах.

Проведено аналіз вантажного парку вагонів-платформ АТ “Укрзалізниця”. За даними 2021 р. вантажний парк АТ “Укрзалізниця” налічував близько

5300 вагонів-платформ із середнім відсотком їх зносу – 94,67%. За відсутності поповнення вантажного парку вагонами-платформами є можливість залучення під перевезення контейнерів напіввагонів. Однак у зв'язку з відсутністю пристосованості їх конструкцій до закріплення контейнерів в кузові необхідним є проведення відповідного удосконалення.

2. Проведено аналіз наукових публікацій 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 їх виготовленні. Деякі роботи було присвячено питанням урахування уточнених навантажень при розрахунку кришки люка, а також режимів їх навантажень, які досі не враховувалися.

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 кузовів напіввагонів при перевезенні контейнерів не приділялося.

Із наявної кількості публікацій виділено і ті, що присвячені безпосередньо питанням перевезень контейнерів в напіввагонах. Однак ці публікації тільки декларують конструкційні удосконалення напіввагонів, але не містять відповідного наукового обґрунтування такого удосконалення.

Проведений огляд літературних джерел за тематикою дослідження встановив, що питання удосконалень кузовів напіввагонів для можливості перевезень контейнерів потребують подальшого розвитку.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ В НЬОМУ КОНТЕЙНЕРІВ

2.1 Дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням різних схем взаємодії із контейнерами

2.1.1 Дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням відсутності кріплення контейнерів в ньому

Для визначення навантаженості кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів проведено математичне моделювання. При цьому застосовано математичну модель, наведену у роботах [13]. Однак дану модель було доопрацьовано, оскільки у зазначеній роботі досліджувалася динамічна навантаженість вагона-платформи, завантаженого контейнерами-цистернами, які мають податливість наливного вантажу у середині котла.

В рамках даного дослідження враховано, що у напіввагоні знаходяться два контейнери типорозміру 1СС [15]. Розрахункову схему наведено на рисунку 2.1.

При складанні розрахункової схеми враховано, що напіввагон рухається у складі залізничного поїзда (ІІІ розрахунковий режим) [8]. Закордонним аналогом документу [8] є документ [68].

Прийнято до уваги наявність трьох ступенів вільності напіввагона та контейнерів, які характеризують повздовжнє, кутове навколо поперечної осі та вертикальне переміщення. В моделі враховано, що контейнери мають однакову завантаженість вантажем. Переміщення вантажу у контейнері до уваги не приймалося.

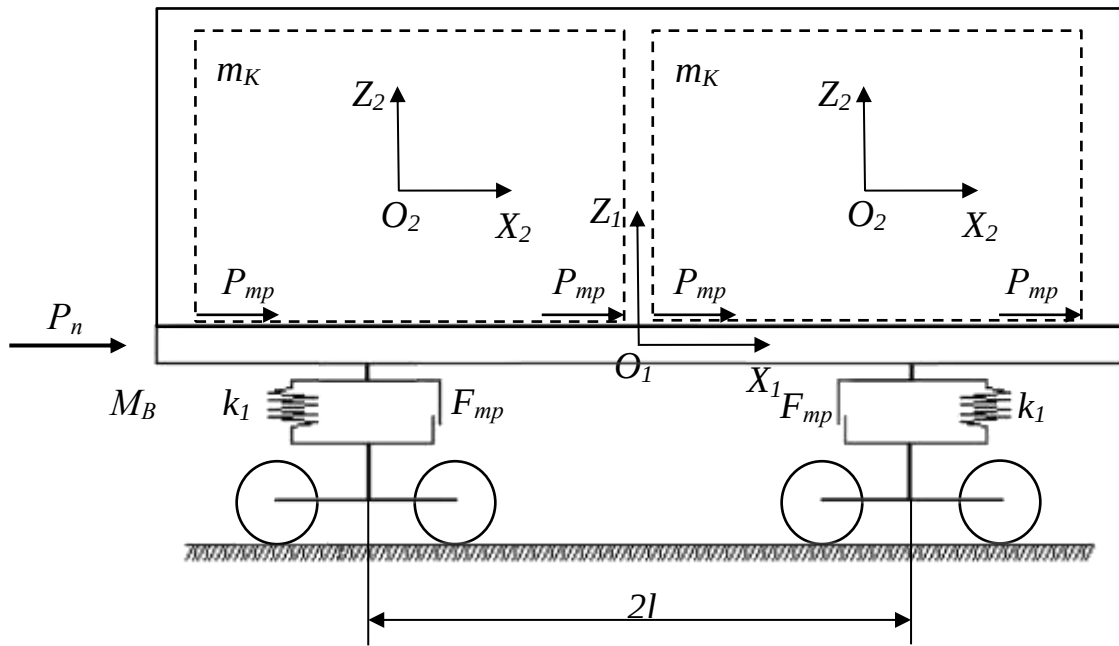


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами

Тоді математична модель, яка описує рух напіввагона, завантаженого контейнерами матиме вигляд [13]:

$$\left\{ \begin{array}{l} M'_B \cdot \ddot{x}_B + M_B \cdot h \cdot \ddot{\phi}_B = P_n - \sum_{i=1}^2 P_{mp}, \\ I_B \cdot \ddot{\phi}_B + M_B \cdot h \cdot \ddot{x}_B - g \cdot \phi_B \cdot M_B \cdot h = \\ = l \cdot F_{mp} \left(\text{sign}(z_B - l \cdot \phi_B)' - \text{sign}(z_B + l \cdot \phi_B)' \right) + \\ + l \left(k_1 \cdot (z_B - l \cdot \phi_B) - k_2 \cdot (z_B + l \cdot \phi_B) \right), \\ M_B \cdot \ddot{z}_B = k_1 \cdot (z_B - l \cdot \phi_B) + k_2 \cdot (z_B + l \cdot \phi_B) - \\ - F_{mp} \left(\text{sign}(z_B - l \cdot \phi_B)' - \text{sign}(z_B + l \cdot \phi_B)' \right), \\ m_K \cdot \ddot{x}_K + (m_K \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{\phi}_K = P_{mp}, \\ I_K \cdot \ddot{\phi}_K + (m_K \cdot z_{ci}) \cdot \ddot{x}_i - g \cdot (m_K \cdot z_{ci}) \cdot (\phi_B - \phi_i) = 0, \\ m_K \cdot \ddot{z}_i = F_z - g \cdot m_i, \end{array} \right. \quad (2.1)$$

де M'_B – маса напіввагона; M_B – маса несучої конструкції напіввагона; I_B – момент інерції напіввагона відносно повздовжньої осі; P_n – величина повздовжньої сили, яка діє на автозчеп; F_{mp} – сила тертя, що виникає між фітингами контейнера та

підлогою напіввагона; l – половина бази напіввагона; F_{mp} – абсолютне значення сили сухого тертя у ресорному комплекті візка (візок моделі 18-100 із стандартним ресорним підвішуванням); k_1, k_2 – жорсткість пружин ресорного підвішування візків напіввагона; m_K – маса контейнера; z_{ci} – висота центру ваги контейнера; I_K – момент інерції i -го контейнера; x_B, φ_B, z_B – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому, кутовому навколо поперечної осі та вертикальному переміщенню напіввагона; x_i, φ_i, z_i – координати, що відповідають, відповідно, повздовжньому, кутовому навколо поперечної осі та вертикальному переміщенню контейнера.

Розв’язок математичної моделі (2.1) здійснено в програмному комплексі MathCad, який реалізує метод Рунге – Кутта [3, 56, 75, 89]. Початкові умови прийняті рівними нулю [9, 39 – 41]. Результати розрахунків показали, що максимальні прискорення, які діють на контейнер складають близько $33,2 \text{ м/с}^2$, а на напіввагон – близько $35,4 \text{ м/с}^2$.

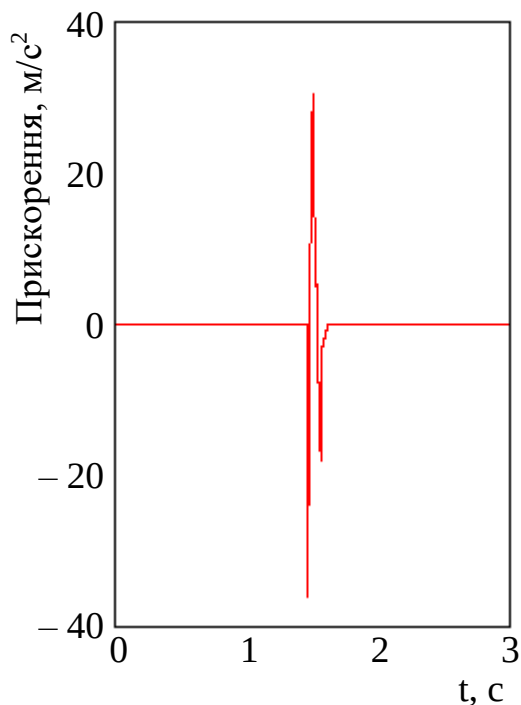
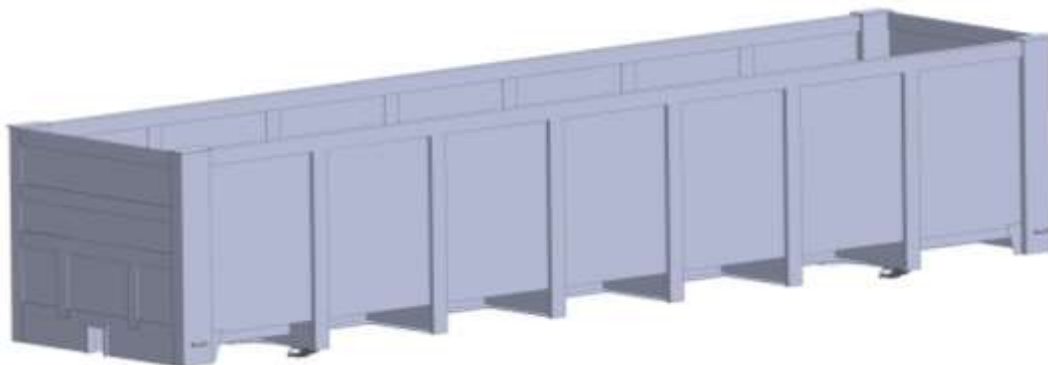


Рисунок 2.2 – Прискорення, які діють на напіввагон, завантажений контейнерами

Отриману величину прискорення враховано при розрахунках на міцність несучої конструкції напіввагона. Розрахунок реалізовано за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation [11, 55, 71]. Для цього на підставі відповідних креслень створено просторову модель несучої конструкції напіввагона (рисунок 2.3). В якості прототипу обрано напіввагон з глухим кузовом моделі 12-295.

а)



б)

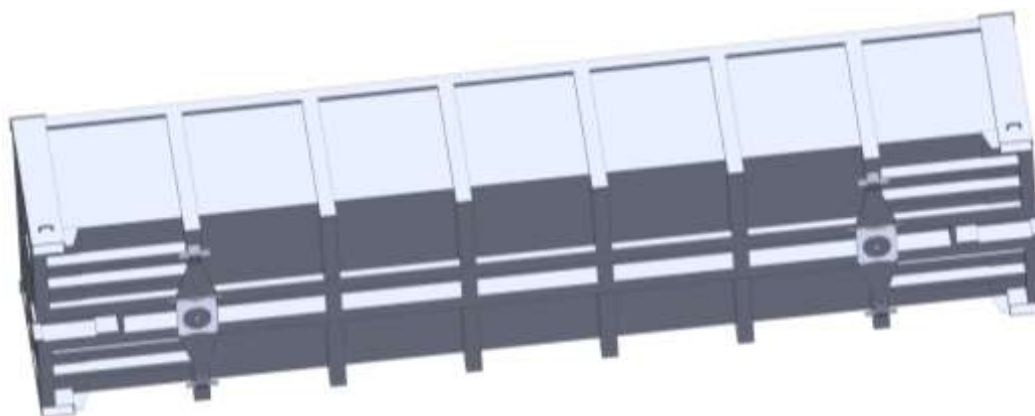


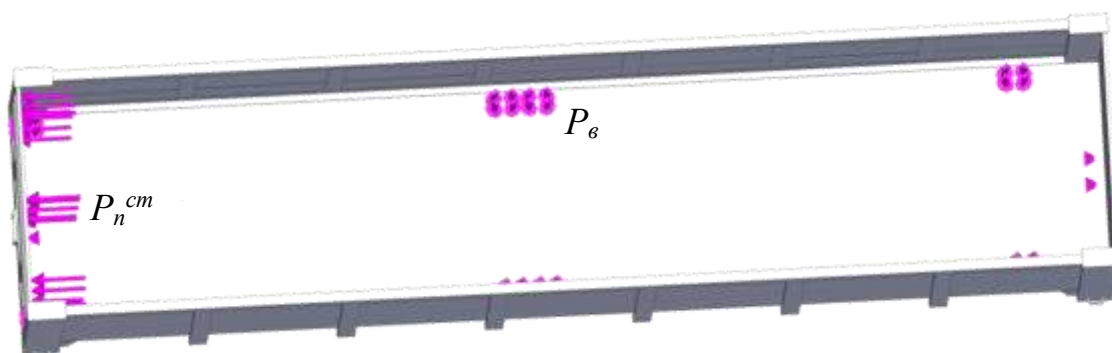
Рисунок 2.3 – Просторова модель несучої конструкції напіввагона

а) вид зверху; б) вид знизу

При створенні скінчено-елементної моделі застосовано тетраедри. Сітка створювалася на твердому тілі [80 – 82, 88, 100]. Кількість вузлів сітки склала 786565, елементів – 2410633. Максимальний розмір елементу дорівнює 25 мм, а мінімальний – 5 мм.

Розрахункова схема кузова напіввагона (рисунок 2.4) враховує такі навантаження: вертикальне P_v , повздовжнє P_n^{cm} – прикладене до торцевої стіни, а також повздовжнє P_n – прикладене до упорів автозчепу та урівноважене з протилежного боку силами інерції мас вагона.

а)



б)

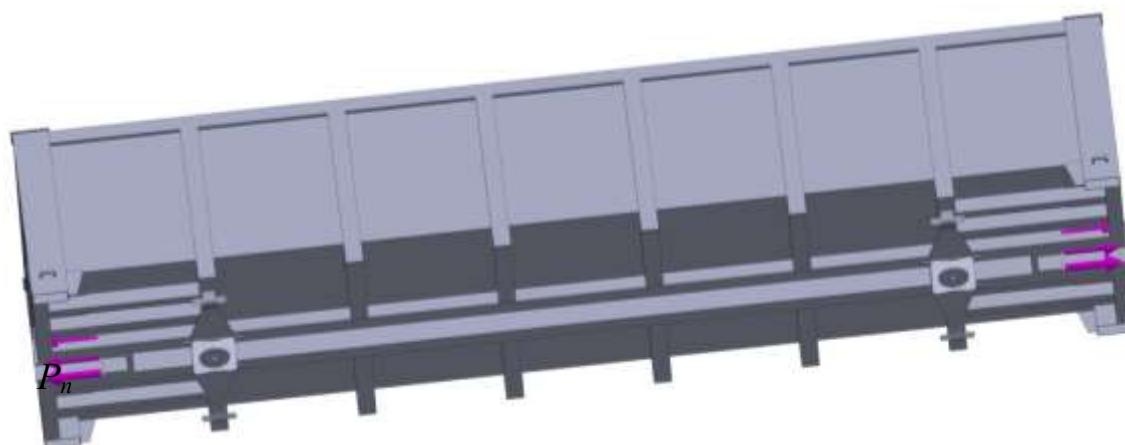


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона

а) вид зверху; б) вид знизу

Вертикальне навантаження P_v прикладалося до підгоги вагона через накладки, геометрія яких ідентична до геометрії фітингів контейнерів. Враховано, що несуча конструкція напіввагона завантажена двома контейнерами типорозміру 1СС.

Закріплення несучої контрукції напіввагона здійснено за п'ятники. При цьому не враховувалися сили тертя, які можуть виникати між п'ятником та підп'ятником.

При проведенні розрахунків використано критерій Мізеса [30, 76, 79]. Результати розрахунків наведено на рисунках 2.5 – 2.7. Максимальні напруження в несучій конструкції напіввагона зафіксовано в зоні взаємодії поперечних поясів торцевої стіни з кутовими стійками і склали 371,3 МПа. Отримані напруження майже вдвічі перевищують допустимі, які для III розрахункового режиму складають 210 МПа [8].

Максимальні переміщення в вузлах конструкції зафіксовано в верхній частині торцевої стіни – 8,2 мм. Це пояснюється тим, що її нижня та бокові частини взаємодіють з каркасом кузова, а верхня – є вільною.

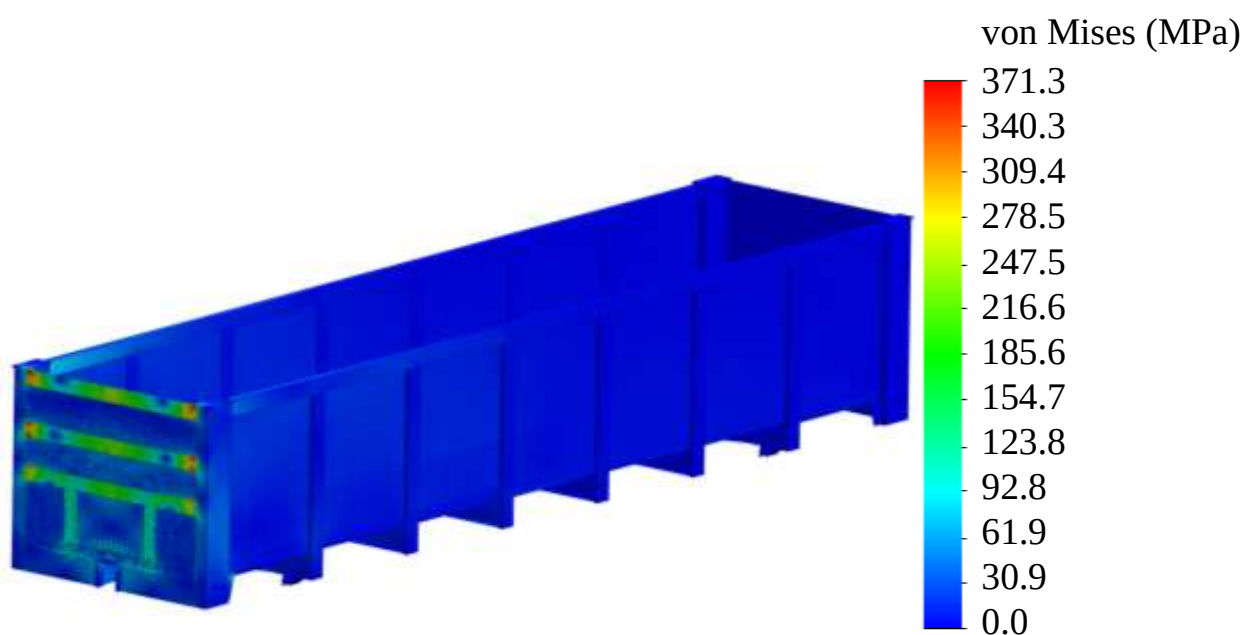


Рисунок 2.5 – Напружений стан несучої конструкції напіввагона

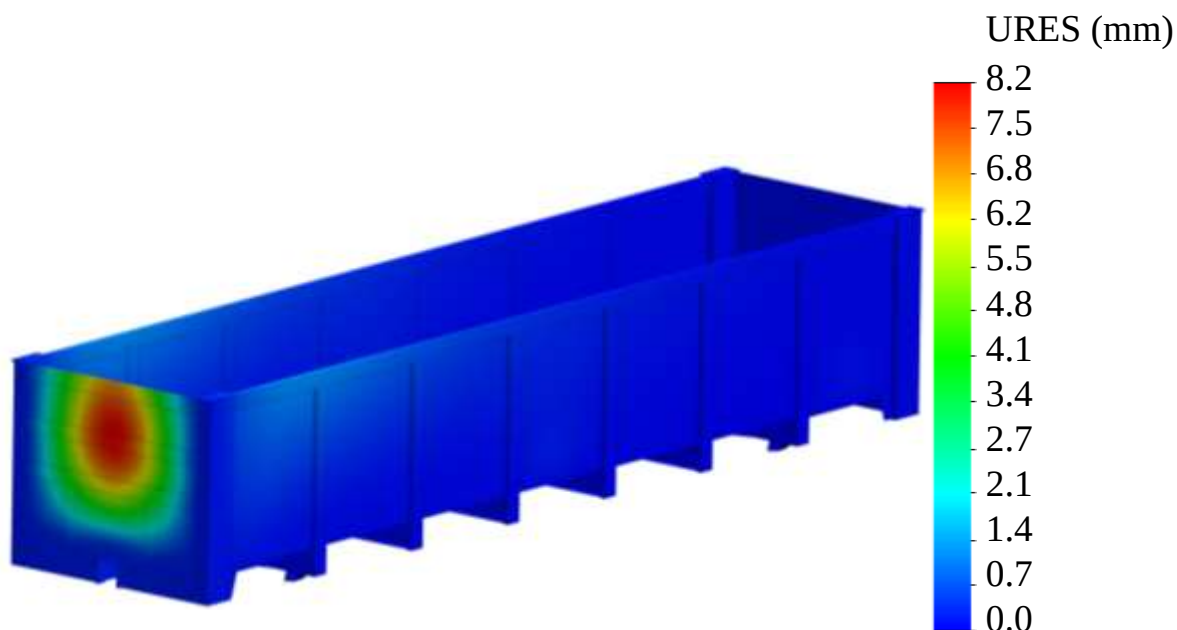


Рисунок 2.6 – Переміщення в вузлах несучої конструкції напіввагона

Проведені розрахунки доводять, що при відсутності закріплень контейнерів в кузові вагона міцність його конструкції не дотримується. У зв'язку з цим виникає необхідність впровадження рішень, спрямованих на забезпечення закріплення контейнерів у кузові напіввагона.

2.1.2 Дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням кріплення в ньому контейнерів через фітингові упори

Для забезпечення міцності напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів пропонується встановлення на його підлогу фітингових упорів [54, 72]. Для визначення міцності кузова напіввагона з урахуванням такої модернізації проведено його розрахунок. Розрахунок реалізовано за методом скінчених елементів в програмному комплексі SolidWorks Simulation. Для цього на підставі відповідних креслень створено просторову модель несучої конструкції напіввагона з фітинговими упорами (рисунок 2.7).

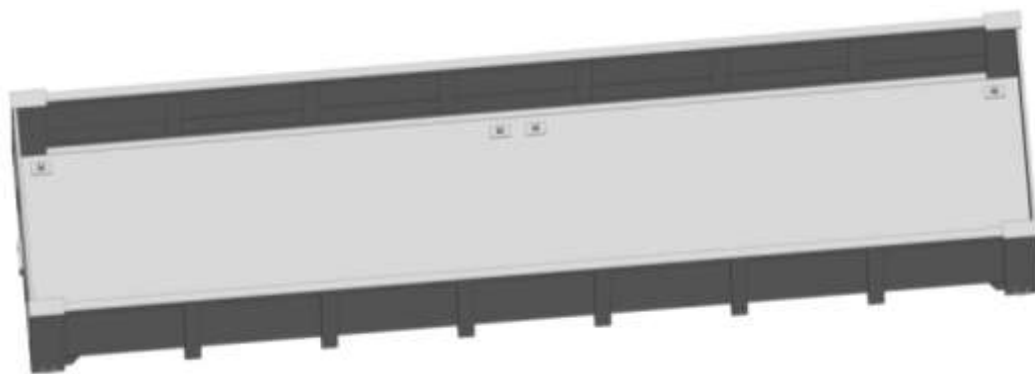


Рисунок 2.7 – Просторова модель несучої конструкції напіввагона з фітинговими упорами

При складанні розрахункової схеми кузова враховано, що він сприймає вертикальне навантаження від ваги контейнерів, розміщених у ньому P_v (рисунок 2.8). Також до уваги приймалося повздовжнє динамічне навантаження, яке діє на фітинговий упор від фітинга P_n . До передніх упорів автозчепу прикладалося повздовжнє навантаження P_{yn} . Величина повздовжнього навантаження приймалася рівною 2,5 МН, тобто імітувався режим руху напіввагона у складі поїзда – “ривок”.

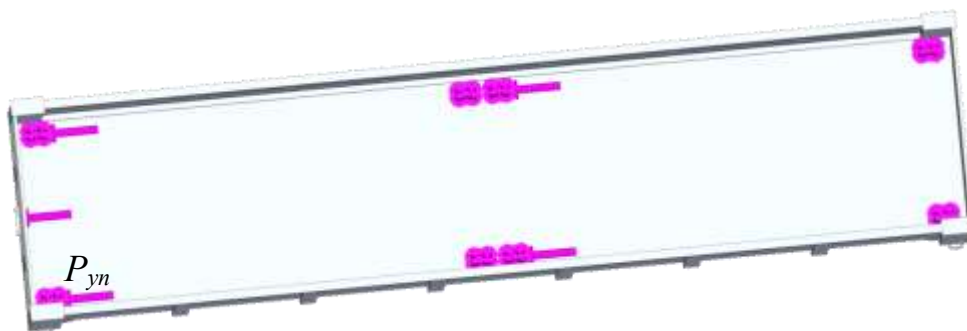


Рисунок 2.8 – Розрахункова схема кузова напіввагона

Скінчено-елементна модель кузова напіввагона утворена тетраедрами. Найбільший розмір тетраедра склав 80 мм, а найменший – 16 мм. Модель налічує 93163 вузла та 280205 елементів. Розрахунок проведений за умови виготовлення

кузова зі сталі 09Г2С. Закріплення моделі кузова здійснювалося за п'ятники. Сили тертя між п'ятниками та підп'ятниками не враховувалися.

При проведенні розрахунків використано критерій Мізеса. Результати розрахунків наведено на рисунках 2.9, 2.10. Встановлено, що максимальні напруження виникають у фітингових упорах і дорівнюють 142 МПа (рисунок 2.9). Дані напруження не перевищують допустимі для сталі марки 09Г2С [8]. Максимальні переміщення виникають в зонах розміщення фітингових упорів за центром кузова і складають 4,2 мм (рисунок 2.10).

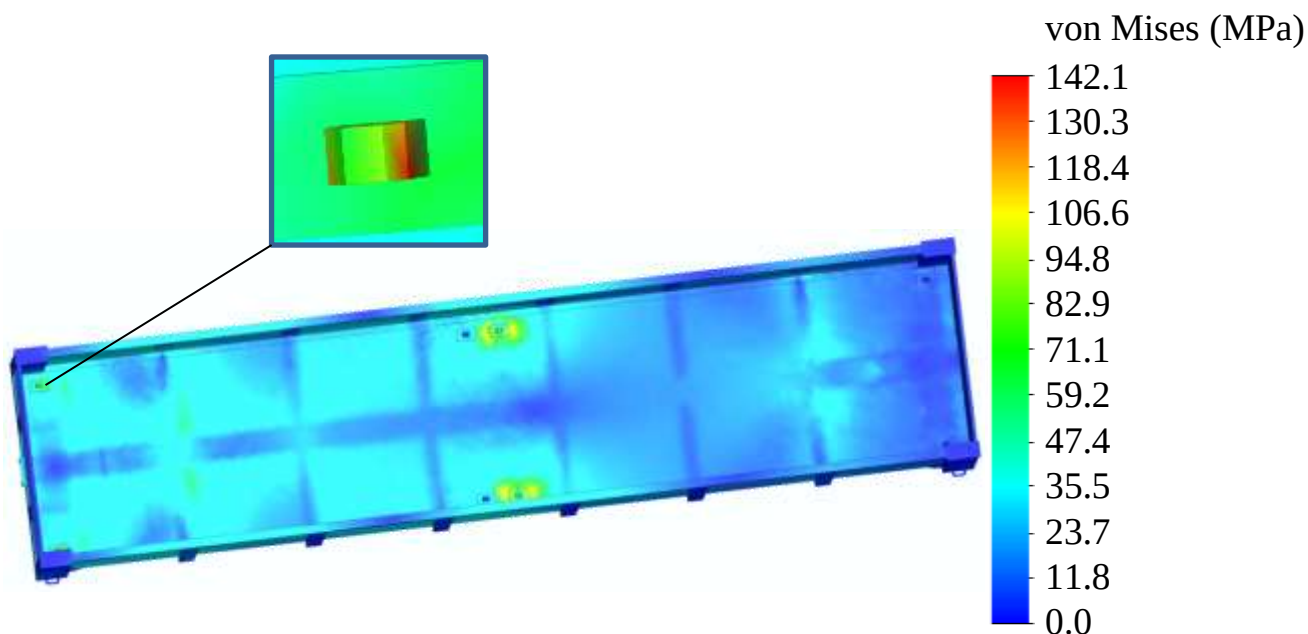


Рисунок 2.9 – Напружений стан кузова напіввагона

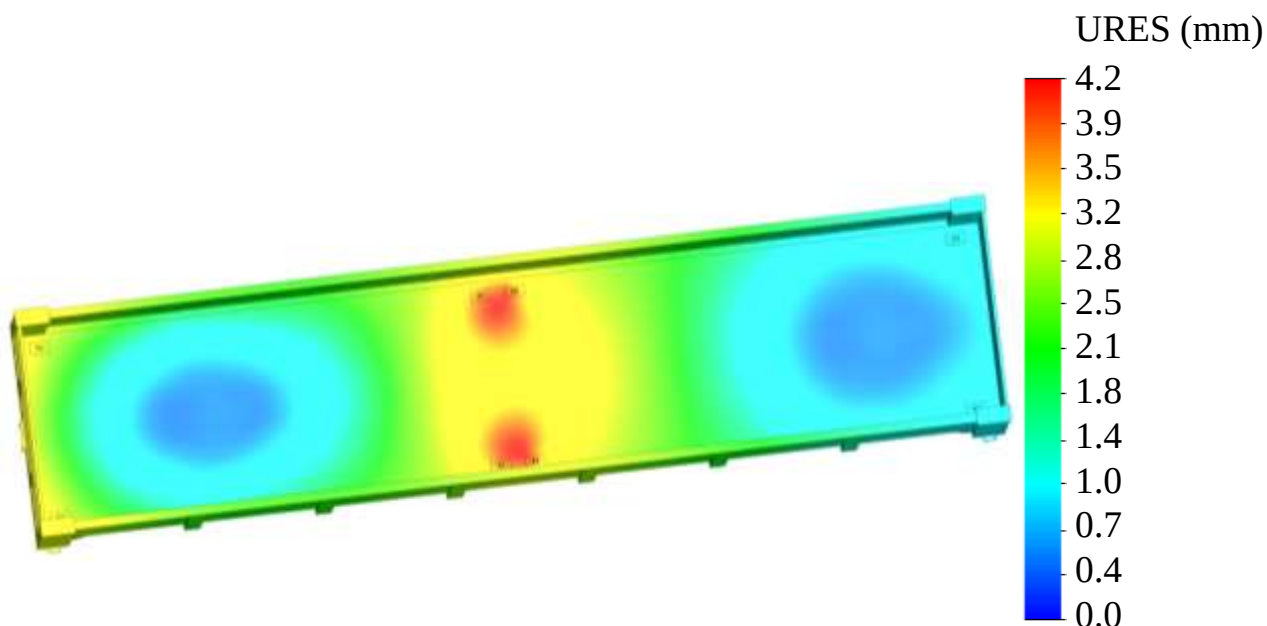


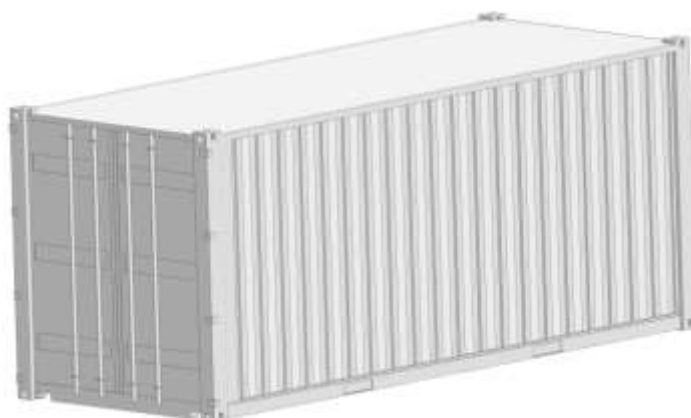
Рисунок 2.10 – Переміщення в кузові напіввагона

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.

2.2 Визначення міцності контейнера при перевезенні його у напіввагоні

Для визначення напруженого стану контейнера при перевезенні його в напіввагоні з урахуванням закріплення за фітинги здійснено відповідні розрахунки [14, 16 – 19]. Для цього побудовано просторову модель контейнера типорозміру 1СС (рисунок 2.11). Графічні роботи виконувались в SolidWorks.

а)



б)

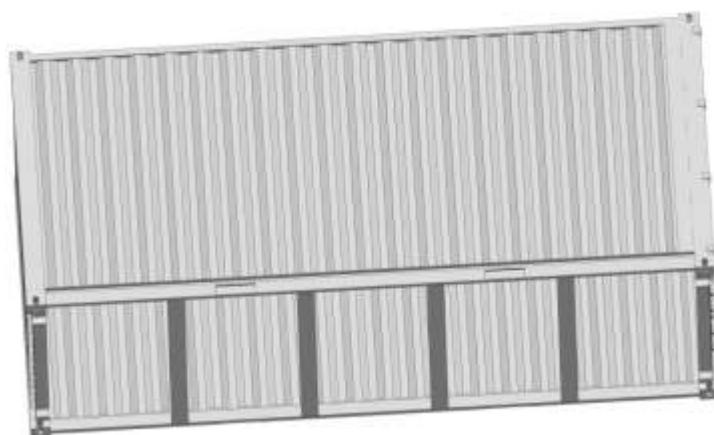


Рисунок 2.11 – Просторова модель контейнера

а) вид збоку; б) вид знизу

Визначення напруженого стану контейнера здійснено за методом скінчених елементів в SolidWorks Simulation. При складанні розрахункової схеми враховано, що контейнер сприймає такі навантаження [6]: вертикальне статичне P_s , яке прикладалося до поперечних балок, а також повздовжнє динамічне P_n , прикладене до фітингів, в зонах їх взаємодії з фітинговими упорами (рисунок 2.12).

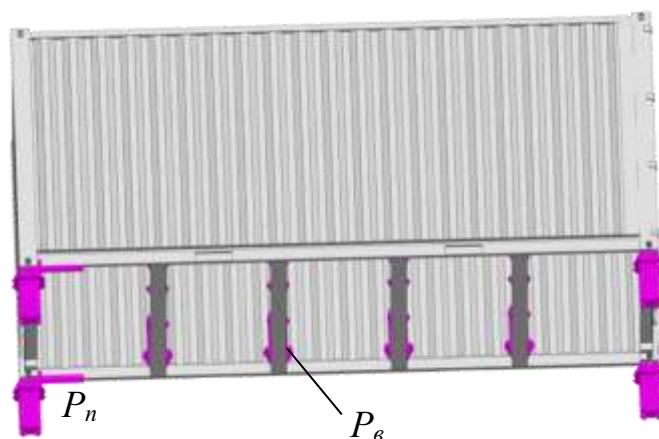


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема контейнера

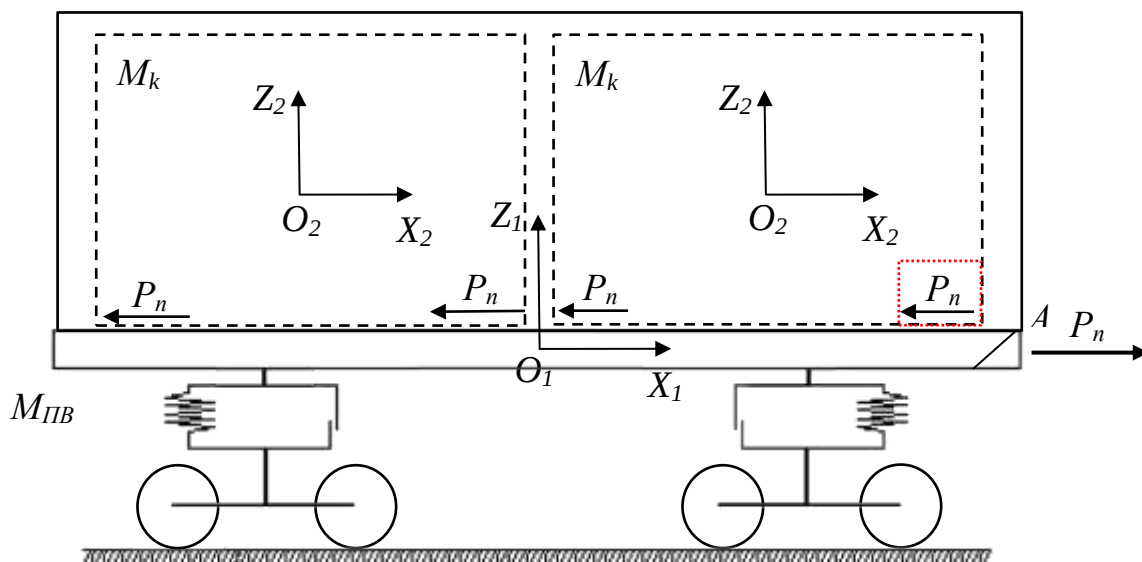
Для визначення повздовжнього динамічного навантаження, яке діє на фітинги контейнера, проведено математичне моделювання його динамічної навантаженості [20 – 24, 93]. Розрахункову схему наведено на рисунку 2.13. До уваги прийнято повздовжню навантаженість контейнера при його перевезенні в напіввагоні з урахуванням наявності зазорів між фітингами та фітинговими упорами [27 – 29]. Досліджувався розрахунковий режим руху вагона – “ривок”. При цьому величина повздовжньої сили на передні упори автозчепу приймається рівною 2,5 МН [8]. Зв’язок між фітингом та фітинговим упором розглядався як жорсткий.

Математична модель, яка описує динамічну навантаженість контейнера при перевезенні його в напіввагоні має вигляд [31]:

$$\begin{cases} M_{ПВ} \cdot \ddot{q}_1 = P_n - \sum_{i=1}^n (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi (q_1 - q_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_\phi \cdot (q_1 - q_2)), \end{cases} \quad (2.2)$$

де $M_{ПВ}$ – маса-брутто напіввагона; P_n – повздовжня сила, що діє на передні упори автозчепного пристрою; n – кількість контейнерів, які розміщені в напіввагоні; F_{TP} – сила тертя між фітинговими упорами напіввагона та фітингами контейнера;

M_k – маса бруто контейнера; C_ϕ – жорсткість зв'язку між фітингами та фітинговими упорами; q_1, q_2 – координати, що визначають переміщення, відповідно, напіввагона та контейнера відносно повздовжньої осі.



A (збільшено)

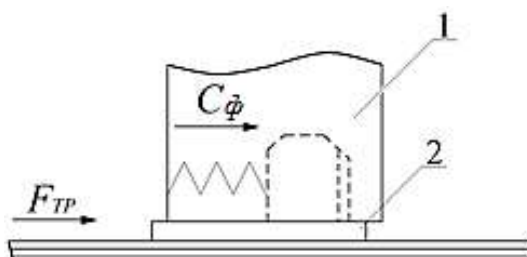


Рисунок 2.13 – Розрахункова схема контейнера

1 – фітинг контейнера; 2 – фітинговий упор, розміщений в напіввагоні

$F_{тр}$ – сила тертя, яке виникає між фітингом та фітинговим упором;

C_ϕ – жорсткість зв'язку між фітингом та фітинговим упором

Жорсткість зв'язку між фітингом и фітинговим упором визначена із умови:

$$C_{\phi} = \frac{P}{f}, \quad (2.3)$$

де P – сила, яка діє на фітинговий упор; f – переміщення, які виникають в фітинговому упорі.

З метою визначення переміщень, які виникають в фітинговому упорі проведено його розрахунок на міцність за методом скінчених елементів [25, 26]. Розрахункову схему фітингового упору наведено на рисунку 2.14. Закріплення фітингового упору здійснювалося за його опорну частину, тобто з боку прилягання до підлоги напіввагона. Враховано, що на фітинговий упор діє повздовжня сила P , а також вертикальна P'_{ϕ} , обумовлена вагою контейнера. Чисельне значення повздовжньої сили визначалося за відомою залежністю опору матеріалів, яка використовується для визначення напружень в дослідному зразку при сприйнятті ним повздовжньої сили:

$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad (2.4)$$

де A – площа поверхні на яку діє повздовжня сила ($A=0,002 \text{ м}^2$); σ – напруження, які виникають в дослідному зразку.

Звідси, за умови, що $\sigma = [\sigma]$, можна записати

$$P = A \cdot [\sigma], \quad (2.5)$$

де $[\sigma]$ – допустимі напруження для матеріалу виготовлення фітингового упору (низьколегована сталь марки 09Г2С).

При цьому $[\sigma]$ для III розрахункового режиму з урахуванням завданого матеріалу виготовлення фітингового упору прийнято рівними 210 МПа [8].

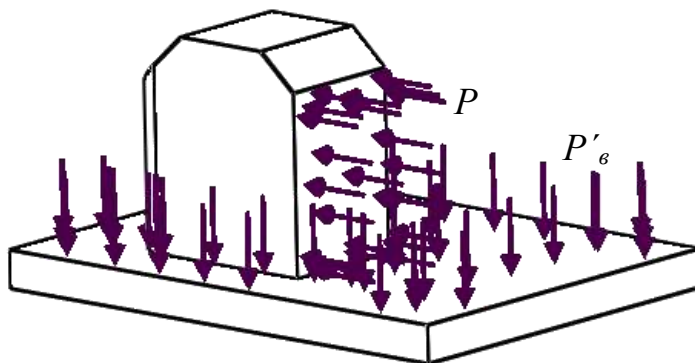


Рисунок 2.14 – Розрахункова схема фітингового упора

На підставі проведених розрахунків сила P , яка діє на фітинговий упор склала близько 420 кН. Дана сила врахована при розрахунку на міцність фітингового упору. Скінчено-елементна модель утворена тетраедрами (рисунок 2.15). Їх оптимальну чисельність визначено графоаналітично [32, 33] і склала 2706. Чисельність вузлів дорівнює 768. Максимальний розмір елементу скінчено-елементної моделі – 15 мм, мінімальний – 5 мм.

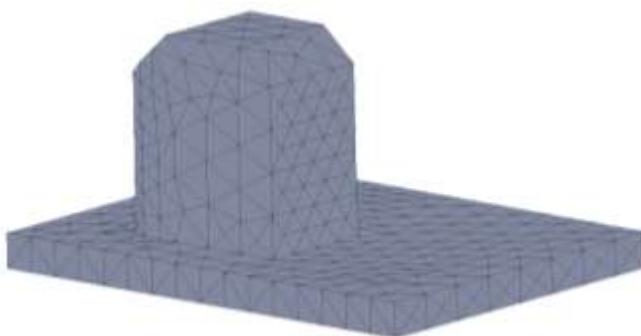


Рисунок 2.15 – Скінчено-елементна модель фітинга

На підставі проведених розрахунків визначено переміщення в фітинговому упорі, які склали 0,24 мм (рисунок 2.16).

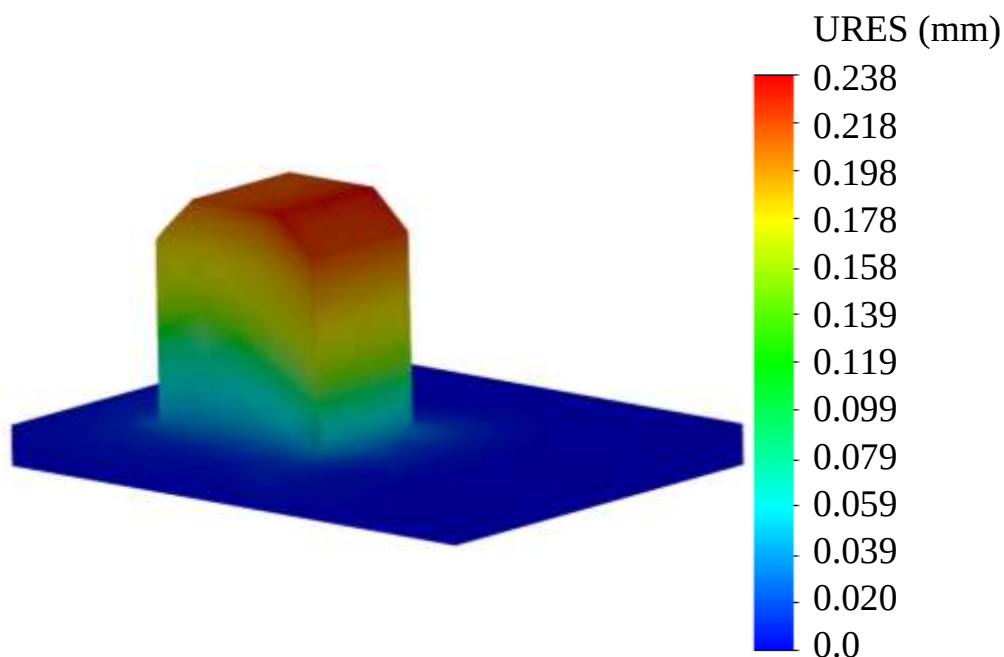


Рисунок 2.16 – Переміщення в вузлах фітингового упора

Проведені розрахунки показали, що максимальні переміщення виникають в верхній частині упора. З урахуванням цього жорсткість зв'язку між фітингом та фітинговим упором дорівнює близько 16400,0 кН/м.

Отримана величина жорсткості була врахована при розв'язку диференціальних рівнянь (2.2). При цьому використано програмний комплекс MathCad, який реалізує метод Рунге-Кутта. Початкові умови покладені рівними нулю. Встановлено, що прискорення, яке діє на контейнер складає близько 20 м/с^2 .

На наступному етапі досліджень проведено розрахунок на міцність контейнера за розрахунковою схемою, наведеною на рисунку 2.12. Закріплення моделі проводилося за фітинги [34 – 38, 52]. Матеріал металоконструкції контейнера – сталь марки 09Г2С. При проведенні розрахунку прийнято припущення, що вантаж в контейнері не має власного ступеня вільності та не спричиняє вплив на стіни контейнера [47]. Скінчено-елементну модель утворено тетраедрами. Чисельність елементів сітки склала – 123391, а вузлів – 40050.

Максимальний розмір елементу скінчено-елементної моделі – 120 мм, мінімальний – 24 мм.

Результати розрахунку наведено на рисунках 2.17, 2.18. При цьому максимальні напруження виникають у фітингах контейнера і складають близько 350 МПа (рисунок 2.17). Максимальні переміщення виникають в поперечному брусі контейнера і складають близько 1 мм (рисунок 2.18). Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що міцність контейнера не забезпечується [8].

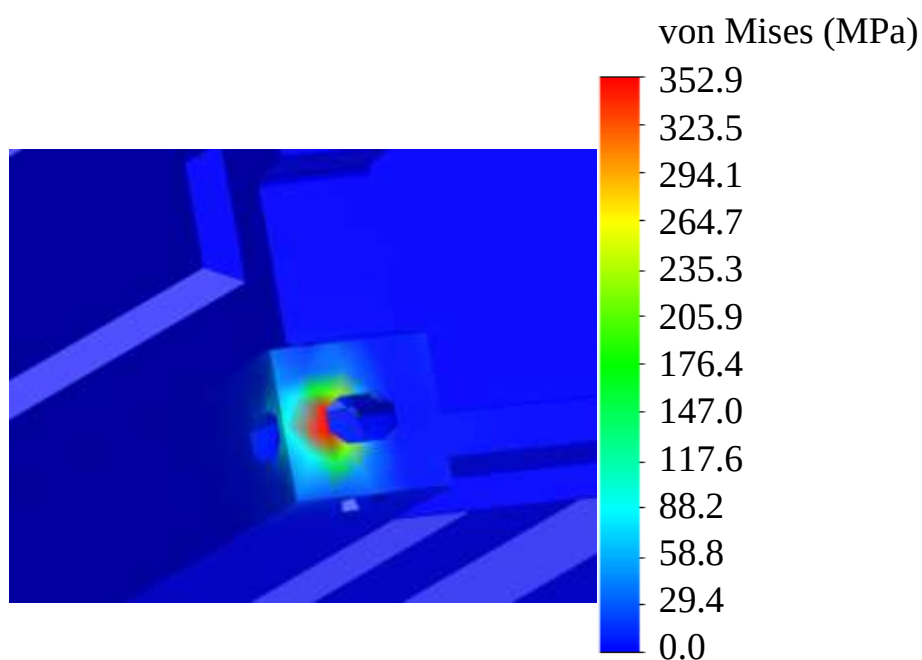


Рисунок 2.17 – Напружений стан фітинга контейнера

Розрахунок на міцність контейнера проведено і для випадку дії повздовжньої сили від вантажу його на торцеву стіну. Розрахункову схему контейнера наведено на рисунку 2.19. При цьому навантаження P_T на торцеву стіну визначено з урахуванням отриманого за математичною моделлю (2.4) прискорення.

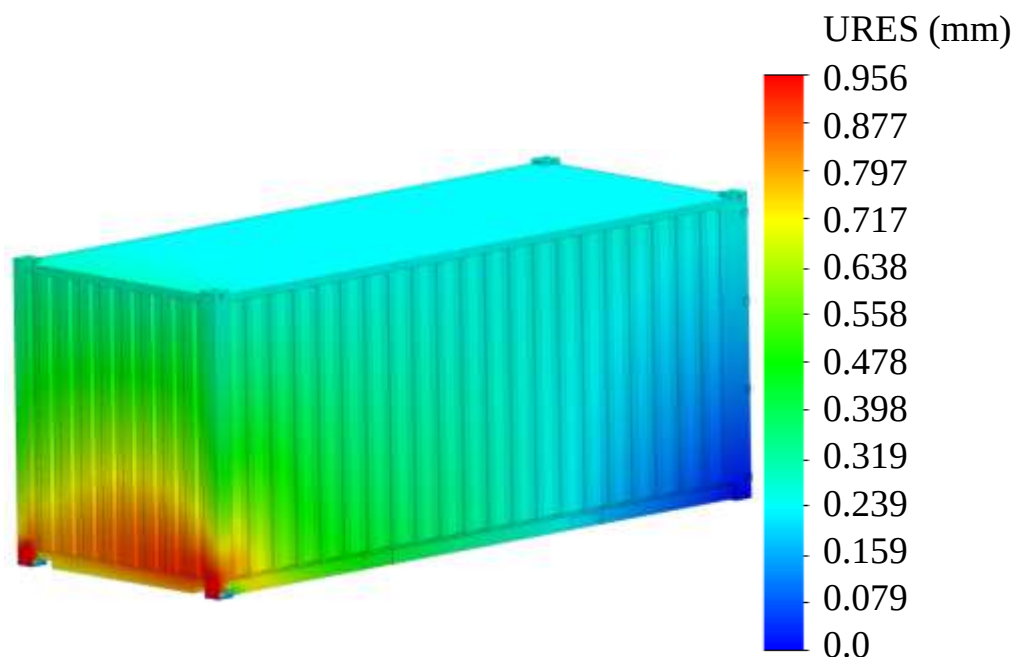


Рисунок 2.18 – Переміщення в вузлах контейнера

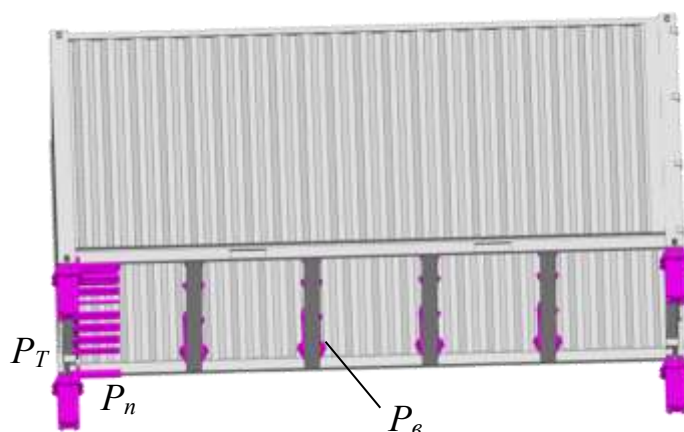


Рисунок 2.19 – Розрахункова схема контейнера
при дії на торцеву стіну повздовжнього навантаження

Результати розрахунку наведено на рисунках 2.20, 2.21. Максимальні напруження при цьому виникають у фітингах і складають 364,8 МПа (рисунок 2.20). Максимальні переміщення мають місце в середній частині торцевої стіни і дорівнюють 4,2 мм (рисунок 2.21).

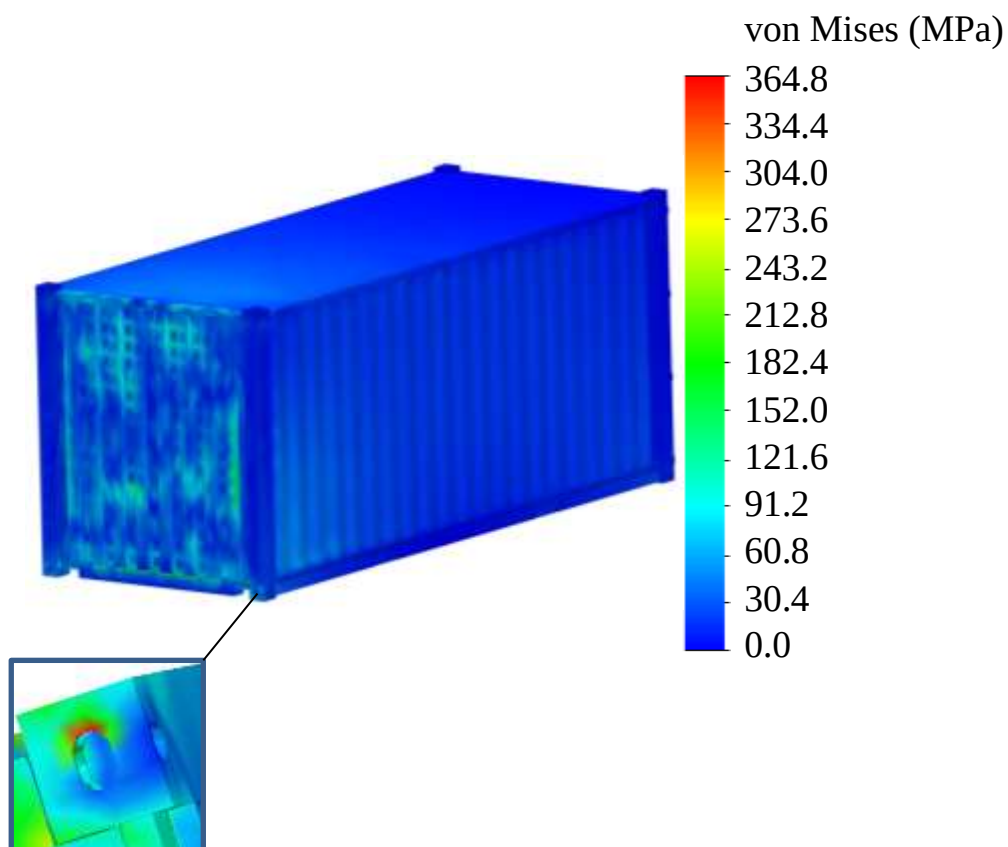


Рисунок 2.20 – Напружений стан контейнера при дії на торцеву стіну
повздожнього навантаження

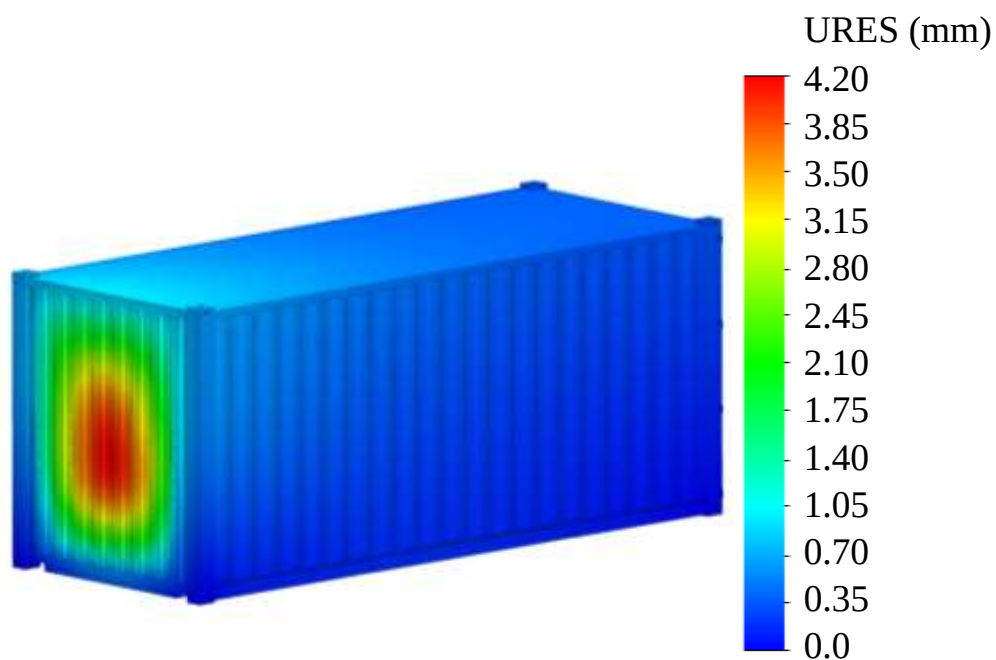


Рисунок 2.21 – Переміщення в вузлах контейнера при дії на торцеву стіну
повздожнього навантаження

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що міцність контейнера не забезпечується [8].

2.3 Дослідження міцності кришки люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів

Для дослідження можливості перевезень контейнерів у напіввагонах, підлога яких утворена кришками люків, доцільним є проведення розрахунку на міцність кришки люка [5, 44, 46]. При цьому використано метод скінчених елементів, який реалізовано в SolidWorks Simulation. Графічні роботи зі створення просторової моделі кришки люка здійснено в SolidWorks (рисунок 2.22). Враховано, що для закріплення контейнерів в напіввагоні використовуються стаціонарні фітингові упори. Тому при побудові просторової моделі на полотно кришки люка встановлений фітинговий упор. При цьому модель є монолітною та не враховує зварювальних швів між її складовими.

При проведенні розрахунків кришки люка враховано, що на неї діє вертикальне навантаження P_v (рисунок 2.23). При цьому дане навантаження розглянуто як суму вертикального статичного та динамічного навантажень. Вертикальне статичне навантаження визначено як $\frac{1}{4}$ ваги бруто контейнера (контейнер типорозміру 1СС).



Рисунок 2.22 – Просторова модель кришки люка з фітинговим упором

Вертикальне динамічне навантаження розраховано за класичною формулою [8]

$$P_{\delta}^{\partial} = P_{\delta}^{cm} \cdot k_{\delta\partial}, \quad (2.6)$$

де $k_{\delta\partial}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки.

При цьому,

$$k_{\delta\partial} = \frac{\bar{k}_{\delta\partial}}{\beta} \cdot \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - P(k_{\delta\partial})}\right)}, \quad (2.7)$$

де $\bar{k}_{\delta\partial}$ – математичне очікування;

β – коефіцієнт розподілу, для вантажних вагонів $\beta = 1,15$;

$P(k_{\delta\partial})$ – імовірність коефіцієнта вертикальної динаміки, $P(k_{\delta\partial}) = 0,97$.

$$\bar{k}_{\delta\partial} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \cdot \frac{V - 15}{f_{ст}}, \quad (2.8)$$

де a – безрозмірний коефіцієнт;

b – коефіцієнт осності, який розраховується за формулою

$$b = \frac{n' + 2}{2 \cdot n'}, \quad (2.9)$$

де n' – число осей у візку або у групі візків під одним кінцем вагона;

V – конструкційна швидкість вагона;

$f_{ст}$ – статичний прогин ресорного підвішування візка.

Також при складанні розрахункової схеми кришки люка до запорних кронштейнів прикладалися реакції P_p на дію вертикального навантаження P_σ .

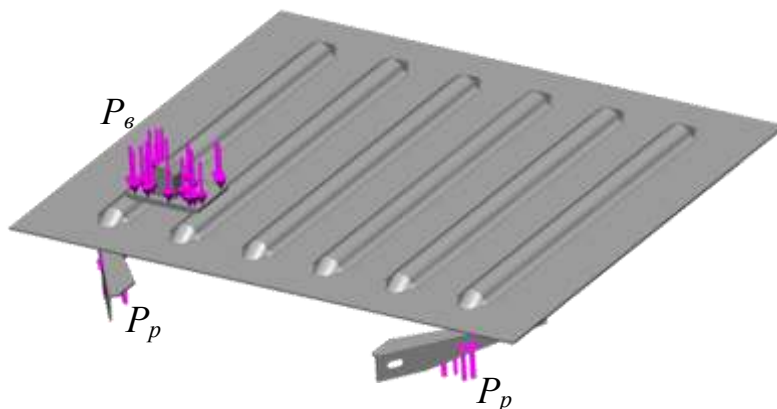


Рисунок 2.23 – Розрахункова схема кришки люка

Закріплення моделі відбувалося за петлі. У якості матеріалу виготовлення кришки люка, а також фітингового упору застосовано низьколеговану сталь марки 09Г2С.

Скінчено-елементна модель утворювалася ізопараметричними тетраедрами (рисунок 2.24). Їх чисельність визначено графоаналітичним шляхом і склала 96345. Чисельність вузлів дорівнює 32015. Максимальний розмір елемента становить 40 мм, а мінімальний – 8 мм.

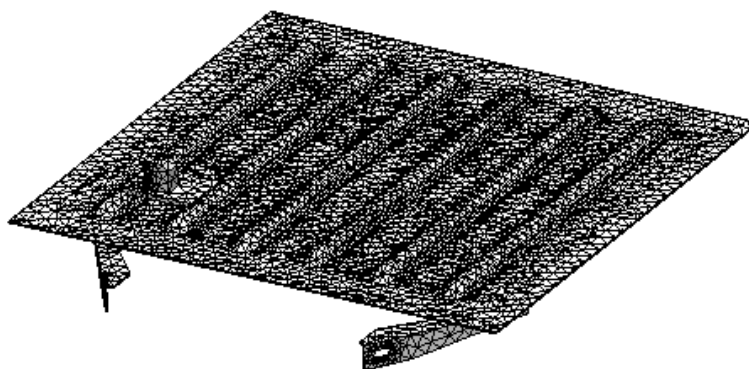


Рисунок 2.24 – Скінчено-елементна модель кришки люка

У якості розрахункового застосовано критерій Мізеса. Результати розрахунку наведено на рисунках 2.25 – 2.28. При цьому максимальні

напруження виникають в петлі кришки люка (рисунки 2.24 – 2.26) і складають 366,7 МПа. Отримані напруження вищі за допустимі [8], що доводить неможливість такої схеми перевезень контейнерів.

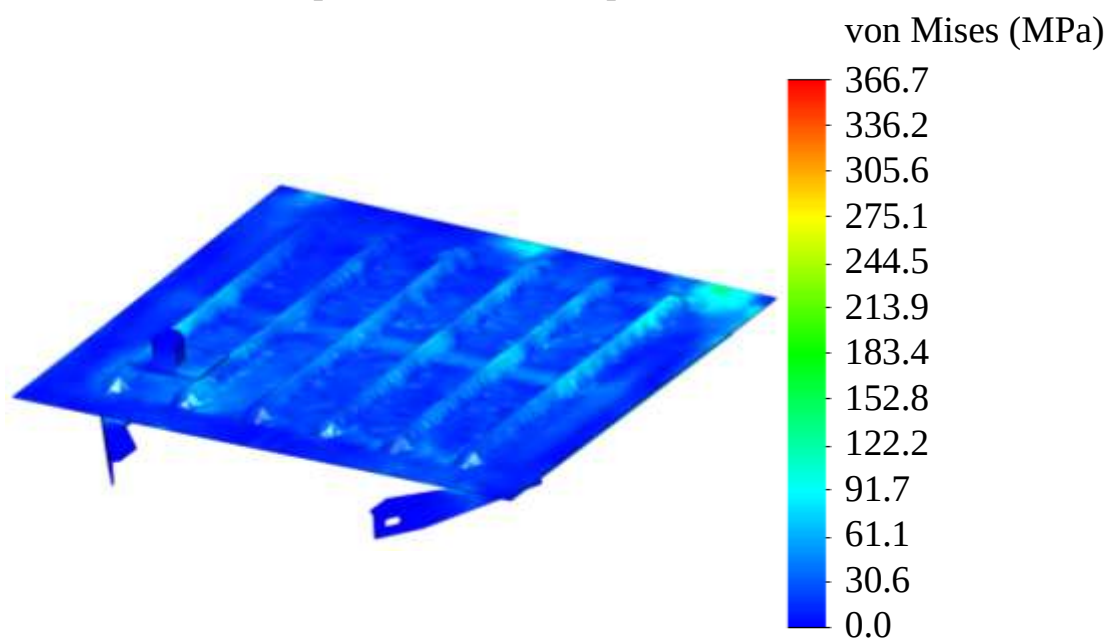


Рисунок 2.25 – Напружений стан кришки люка

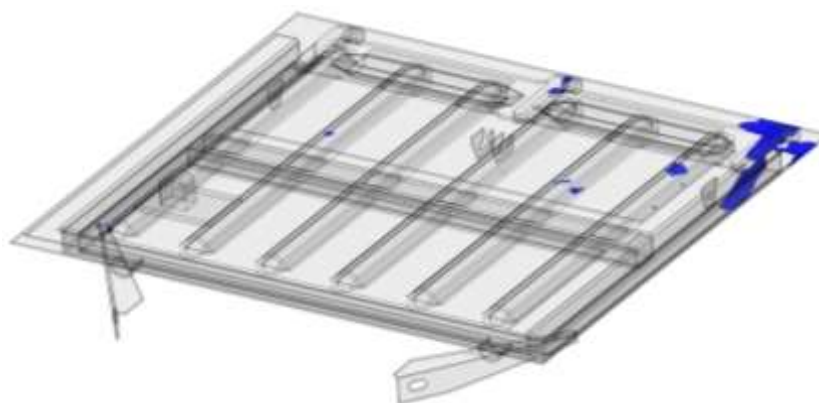


Рисунок 2.26 – Найбільш навантажені зони кришки люка

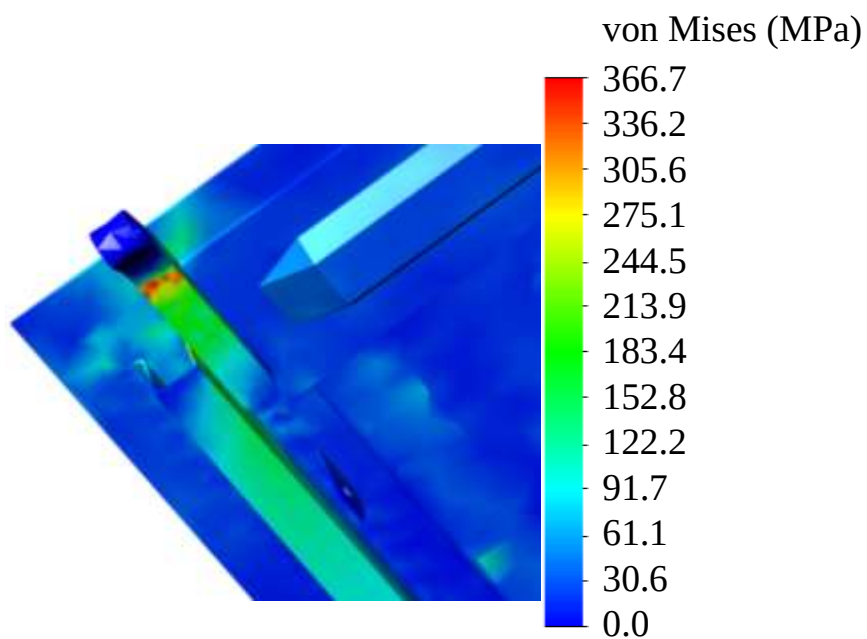


Рисунок 2.27 – Напруження в петлі кришки люка

Максимальні переміщення в кришці люка виникають у кутовій частині полотна, розміщеній протилежно від фітингового упору і складають 14,5 мм (рисунок 2.28).

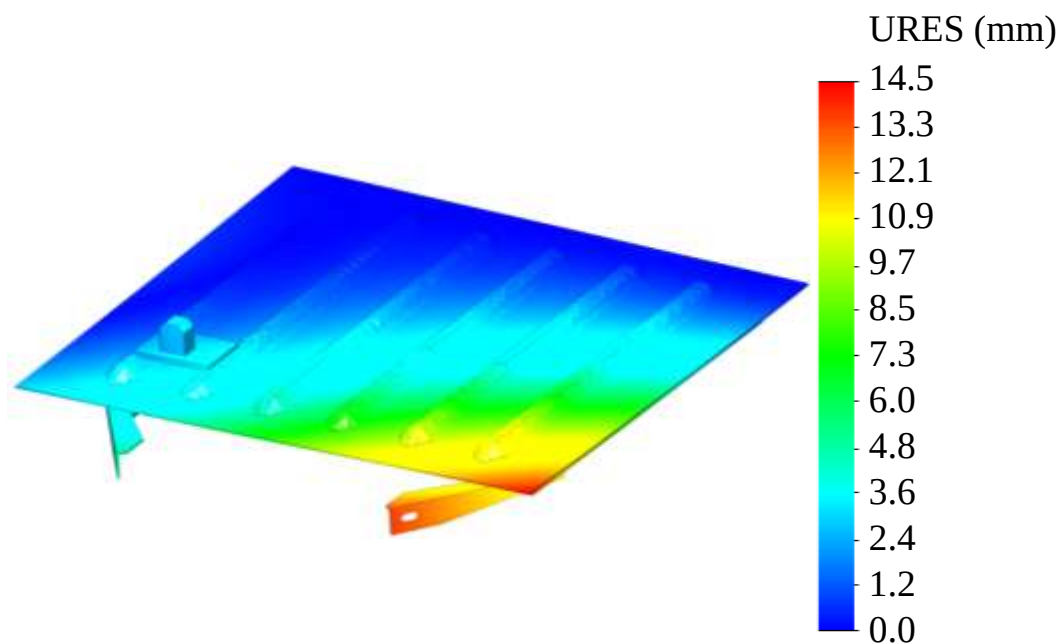


Рисунок 2.28 – Переміщення в кришці люка

Такий розподіл полів переміщень обумовлений тим, що фітинговий упор, через який передається навантаження на кришку люка, розміщений з протилежного боку від правої частини полотна.

2.4 Визначення навантаженості контейнера при його закріпленні в напіввагоні за допомогою пневмооболонок

Для забезпечення нерухомості контейнерів в повздовжній площині знайшли використання пневмооболонки, які встановлюються між торцевою стіною напіввагона та контейнером (рисунок 2.29).

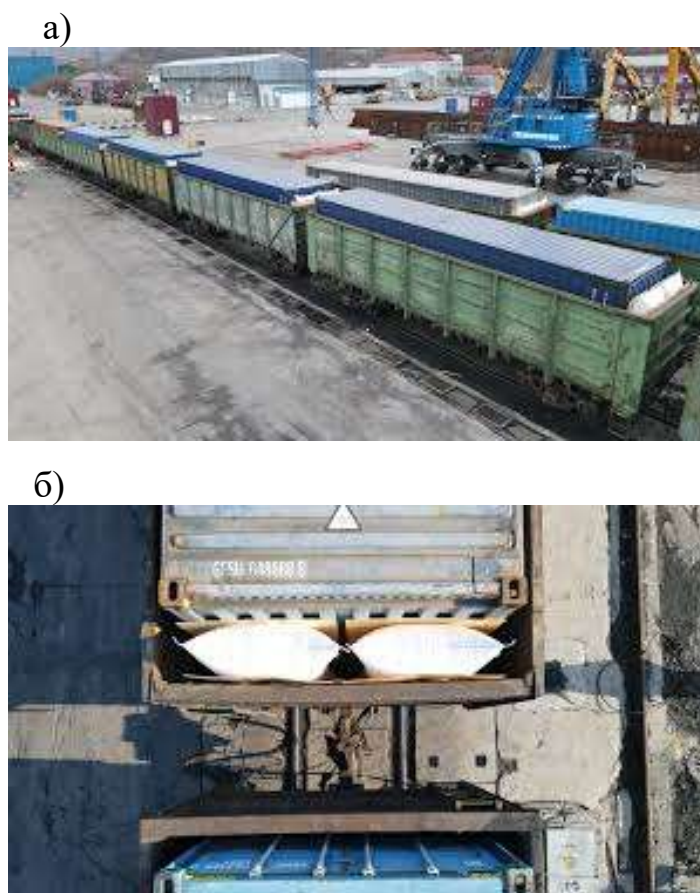


Рисунок 2.29 – Закріплення контейнера в напіввагоні за допомогою пневмооболонок

а) вид збоку; б) вид зверху

Зазвичай такі пневмооболонки мають стандартні розміри і характеристики [45, 60]. Наприклад, можуть застосовуватися пневмооболонки розміром 900x1200 мм (рисунок 2.30).



Рисунок 2.30– Пневмооболонка для кріплення вантажів в вагонах

Для дослідження ефективності застосування пневмооболонок для кріплення контейнерів в напіввагоні необхідним є визначення їх навантаженості в умовах експлуатаційних режимів. Тому дослідження, присвячені визначенню навантаженості контейнера при його закріпленні в напіввагоні за допомогою пневмооболонок є актуальними.

Для визначення ефективності застосування пневмооболонок для кріплення контейнерів в напіввагоні проведено математичне моделювання. Для цього використано математичну модель (2.4)

В рамках даного дослідження зазначену модель було доопрацьовано шляхом врахування сили від пневмооболонки на контейнер. Прийнято припущення, що пневмооболонка повністю розподілена відносно торцевої стіни контейнера. Враховано, що обпирання контейнера та його кріплення в напіввагоні здійснюється через фітинги, які взаємодіють з фітинговими упорами. За рахунок наявності технологічного зазору виникають сили тертя між горизонтальними поверхнями фітингів та фітингових упорів. Контейнер

завантажений умовним вантажем із використанням повної вантажопідйомності. Переміщення вантажу в контейнері до уваги не приймалося. Зазор між пневмооболонкою та стінкою контейнера відсутній. Попереднє статичне стиснення пневмооболонки в моделі не враховувалося. Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами, наведена на рисунку 2.31. На цій схемі пневмооболонки позначено сірим кольором.

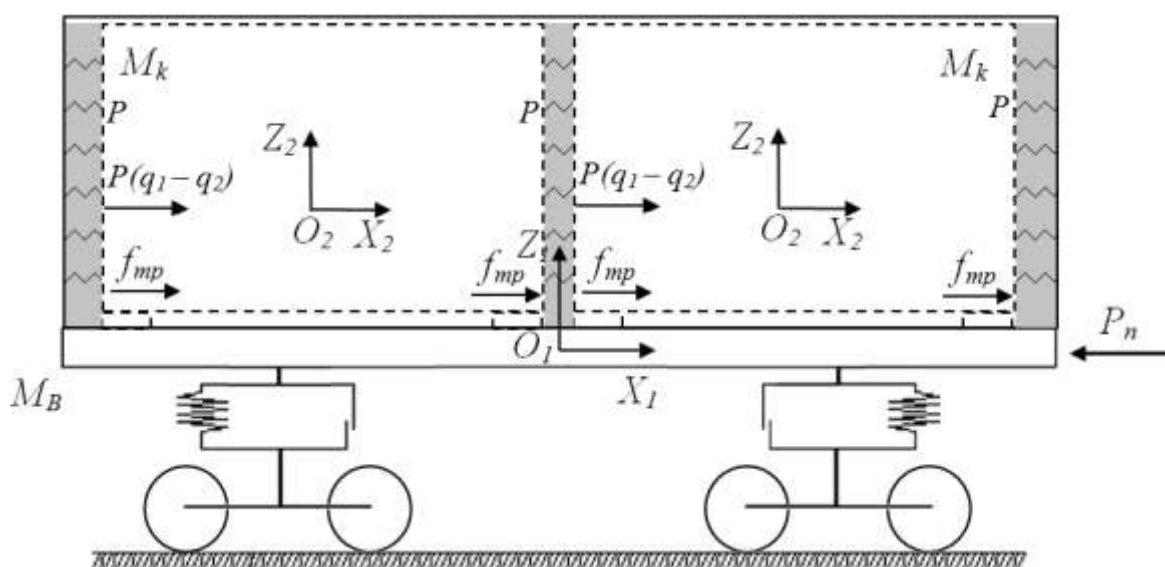


Рисунок 2.31 – Розрахункова схема напіввагона,
завантаженого контейнерами

Результати розрахунку встановили, що для дотримання прискорень контейнера в межах 20 м/с^2 , жорсткість пневмооболонки повинна складати не менше 2500 кН/м (рисунок 2.32).

Важливо сказати, що в умовах наднормованих режимів експлуатації дана величина жорсткості повинна мати ще більше значення.

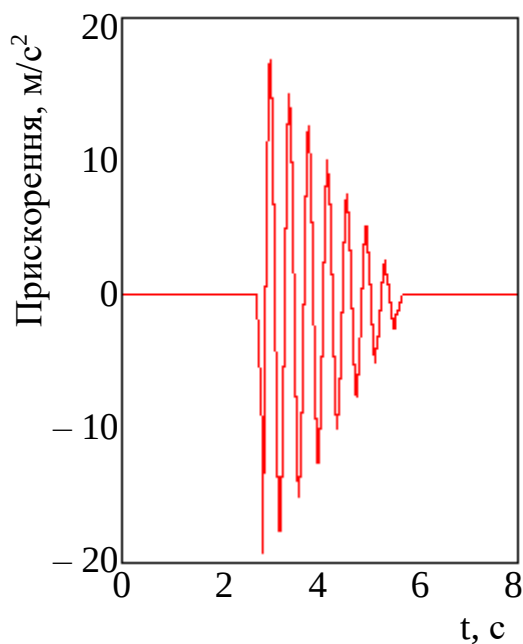


Рисунок 2.31 – Прискорення, які діють на контейнер

Для визначення міцності контейнера з урахуванням закріплення його за допомогою пневмооболонки в напіввагоні проведено розрахунок у SolidWorks Simulation. Розрахункову схему контейнера наведено на рисунку 2.32.

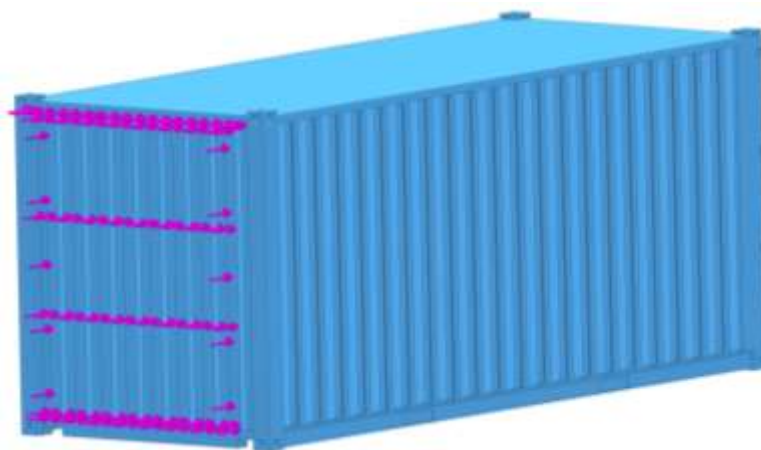


Рисунок 2.32 – Розрахункова схема контейнера

Враховано, що на торцеву стіну діє навантаження від пневмооболонки, яке рівномірно розподілене за її площею (2,591x2,438 м). Контейнер знаходиться у завантаженому стані із використанням повної вантажопідйомності. Закріплення

контейнера відбувалося за фітингові упори. Матеріал конструкції – сталь 09Г2С [8].

Скінчено-елементна модель контейнера утворена тетраедрами. Їх оптимальну чисельність визначено графоаналітично. При цьому модель налічує 123391 елемент та 40050 вузлів. Максимальний розмір елементу скінчено-елементної моделі склав 120 мм, а мінімальний – 24 мм. Результати розрахунку наведено на рисунках 2.33, 2.34.

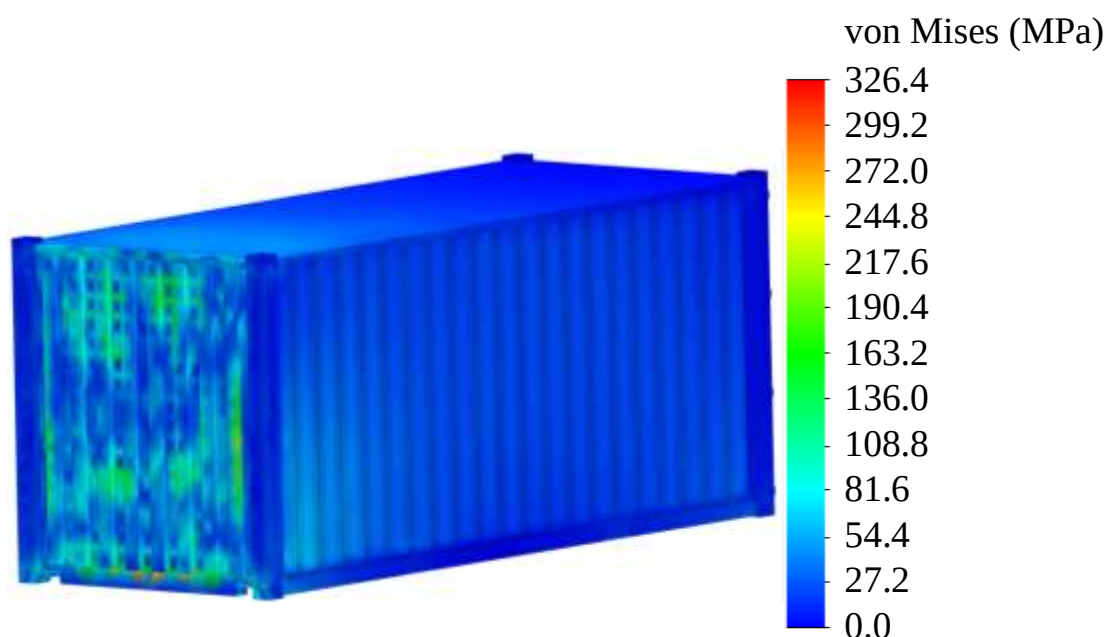


Рисунок 2.33 – Напружений стан контейнера

Максимальні напруження в контейнері зафіксовано в середній частині бокової балки і склали 326,4 МПа. В обшивці торцевої стіни ці напруження склали близько 290 МПа. Максимальні переміщення в торцевій стіні виникають за її центром і дорівнюють 3,8 мм.

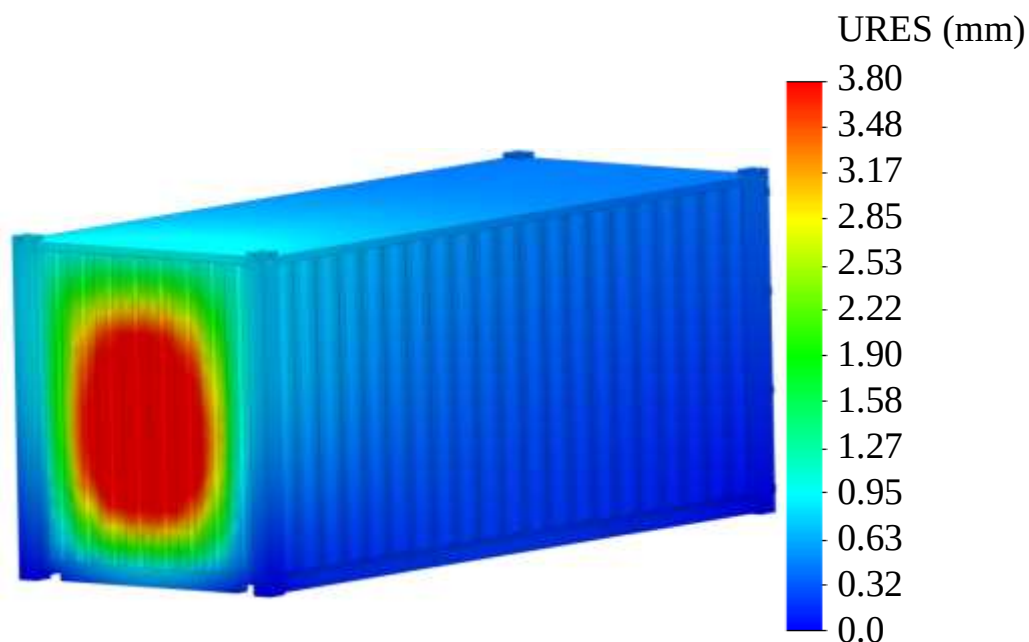


Рисунок 2.34 – Переміщення в контейнері

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

2.5 Висновки за розділом 2

1. Визначено динамічну навантаженість кузова напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. Встановлено, що максимальні прискорення, які діють на контейнер складають близько $33,2 \text{ м/с}^2$, а на напіввагон – близько $35,4 \text{ м/с}^2$. Дані прискорення враховано при визначенні міцності кузова напіввагона, завантаженого контейнерами.

Результати розрахунку на міцність кузова напіввагона показали, що максимальні напруження в його конструкції виникають в зоні взаємодії поперечних поясів торцевої стіни з кутовими стійками і складають $371,3 \text{ МПа}$. Отримані напруження майже вдвічі перевищують допустимі, які для III розрахункового режиму складають 210 МПа .

Максимальні переміщення в вузлах конструкції кузова напіввагона зафіксовано в верхній частині торцевої стіни – 8,2 мм. Це пояснюється тим, що її нижня та бокові частини взаємодіють з каркасом кузова, а верхня – є вільною.

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.

2. Проведено визначення повздовжньої динамічної навантаженості контейнера при перевезенні його у напіввагоні. Встановлено, що прискорення, яке діє на контейнер складає близько 40 м/с^2 .

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.

3. Проведено розрахунок на міцність кришки люка універсального напіввагона. Враховано, що кришка люка сприймає вертикальне навантаження від фітингового упору. Результати розрахунку показали, 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.

4. Проведено математичне моделювання повздовжньої навантаженості контейнера, розміщеного в напіввагоні та закріпленого пневмооболонками. Встановлено, що для дотримання прискорень контейнера в межах 20 м/с^2 , жорсткість пневмооболонки повинна складати не менше 2500 кН/м. У зв'язку з великою різноманітністю за технічними характеристиками пневмооболонок, визначення тиску повітря, яке відповідає даній величині жорсткості на даному етапі дослідження не здійснювалося.

Розраховано на міцність контейнер при його закріпленні в напіввагоні за допомогою пневмооболонок. 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. Тому питання удосконалення схеми закріплення контейнерів в напіввагонах потребують подальших досліджень.

РОЗДІЛ 3

АДАПТАЦІЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ДО ПЕРЕВЕЗЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ

3.1 Рішення щодо безпечного перевезення контейнерів в напіввагонах

Для безпечного перевезення контейнерів в напіввагоні пропонується використання знімного модуля [4, 48, 51, 53]. Даний модуль працює за принципом проміжного адаптера між контейнером та кузовом напіввагона (рисунок 3.1). Модуль складається із рами, яку утворюють поперечні балки 1, кінцеві балки 2, повздовжні балки 3, торцеві надбудови 4 та розкоси 5. Для кріплення модуля в напіввагоні він оснащений кутовими фітингами 6. Кріплення контейнерів в модулі здійснюється через фітингові упори 7. Розміщення контейнера в модулі наведено на рисунку 3.2.

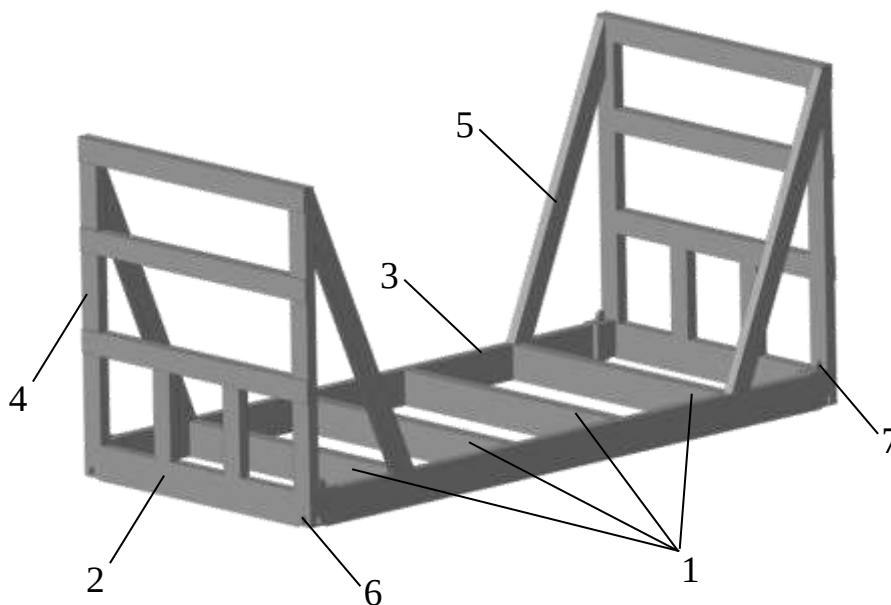


Рисунок 3.1 – Модуль для кріплення контейнерів в напіввагон



Рисунок 3.2 – Розміщення контейнера в модулі

Кріплення самого модуля в напіввагоні здійснюється через фітингові упори, які розміщуються на підлозі напіввагона [90]. При цьому фітинги знімного модуля мають поглиблення (рисунок 3.3, 3.4), яке забезпечує можливість передачі навантаження від знімного модуля за всією площею рами.

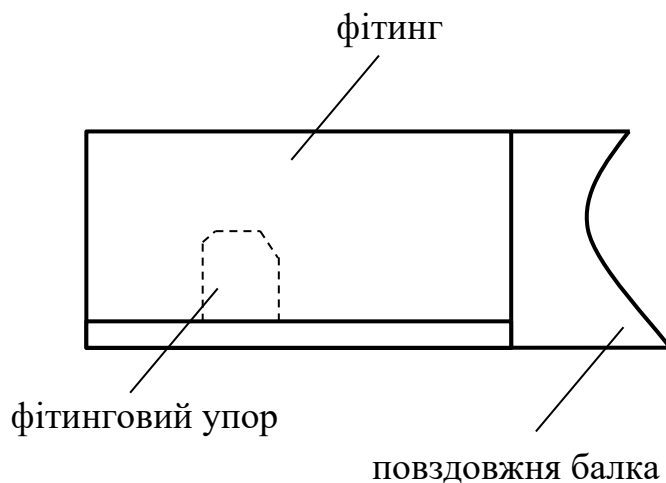


Рисунок 3.3 – Схема взаємодії фітингового упору з фітингом

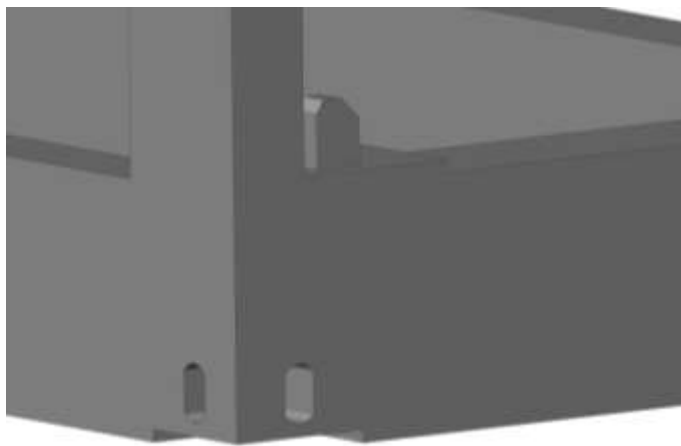


Рисунок 3.4 – Фітинг знімного модуля

Розміщення контейнерів в напіввагоні, закріплених за новою схемою, наведено на рисунку 3.5.

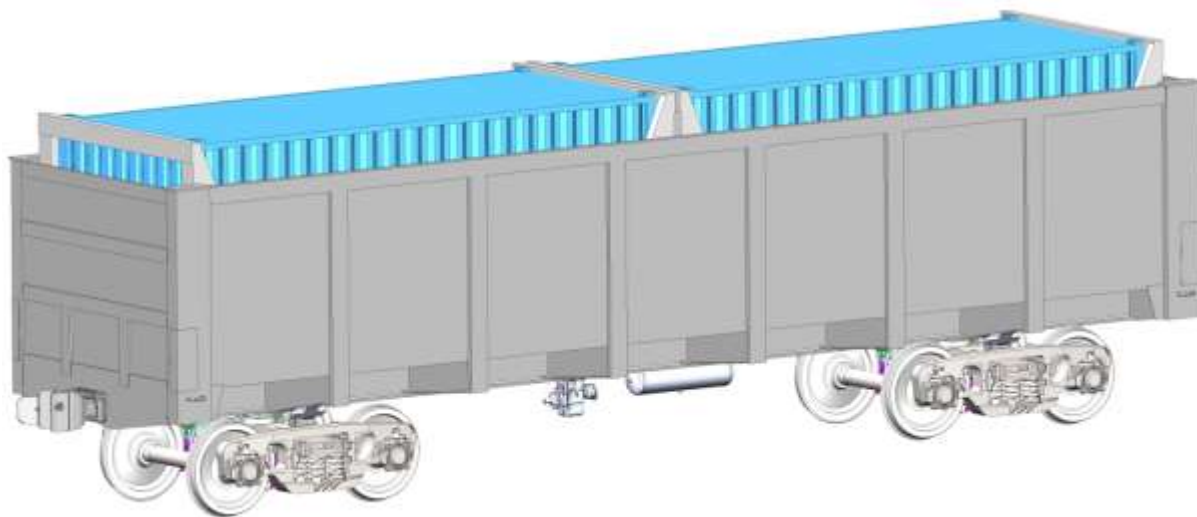


Рисунок 3.5 – Розміщення контейнерів в напіввагоні

Для обґрунтування застосування знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні проведено відповідні розрахунки, наведені в наступних підрозділах роботи.

3.2 Формування математичної моделі динамічної навантаженості контейнера, закріпленого за новою схемою в напіввагоні

Для визначення повздовжнього динамічного навантаження, яке діє на контейнер, закріплений за новою схемою в напіввагоні, проведено математичне моделювання [90]. Враховано, що знімні модулі закріплені в кузові напіввагона через фітинги. Їх переміщення відносно підлоги обмежується фітинговими упорами. Контейнер закріплений в знімному модулі та має власну ступінь вільності в повздовжній площині, яка обмежується величиною технологічного зазору між фітингами та фітинговими упорами. Зв'язок між фітинговими упорами та фітингами, відповідно напіввагона та знімних модулів, знімних модулів та контейнерів, прийнято як жорсткий. Величину жорсткості зв'язку визначено в розділі 2 роботи. Розрахункова схема наведена на рисунку 3.6.

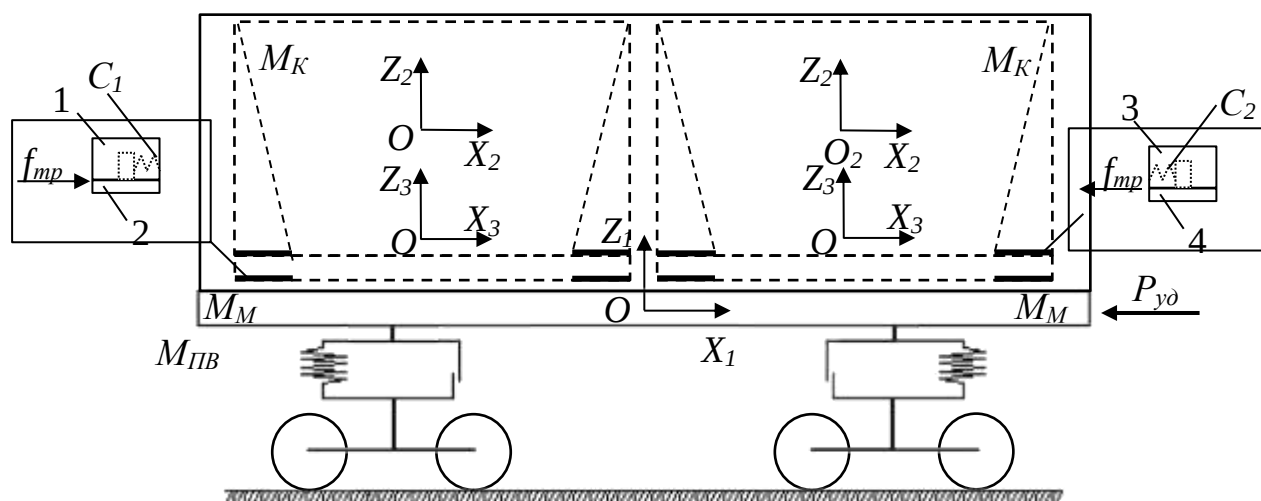


Рисунок 3.6 – Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами

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

$$\begin{cases} M_{ПВ} \cdot \ddot{q}_1 = P_{y\partial} - \left(\sum_{i=1}^n f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_1(q_1 - q_2) \right), \\ M_M \cdot \ddot{q}_2 = \left(f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + C_1(q_1 - q_2) \right) - \left(f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_2 - \dot{q}_3) + C_2 \cdot (q_2 - q_3) \right), \\ M_K \cdot \ddot{q}_3 = f_{mp} \cdot \text{sign}(\dot{q}_2 - \dot{q}_3) - C_2 \cdot (q_2 - q_3), \end{cases} \quad (3.1)$$

де $M_{ПВ}$ – маса-брутто напіввагона; $P_{y\partial}$ – величина повздовжньої сили, що діє на автозчеп (3,5 МН); 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. Початкові умови було прийнято рівними нулю.

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні прискорення, які діють на напіввагон складають 40,6 м/с², на знімний модуль – 33,4 м/с², а на контейнер – близько 33,7 м/с² (рисунок 3.7).

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. Просторову модель несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами із урахуванням нової схеми їх закріплення, наведено на рисунку 3.7.

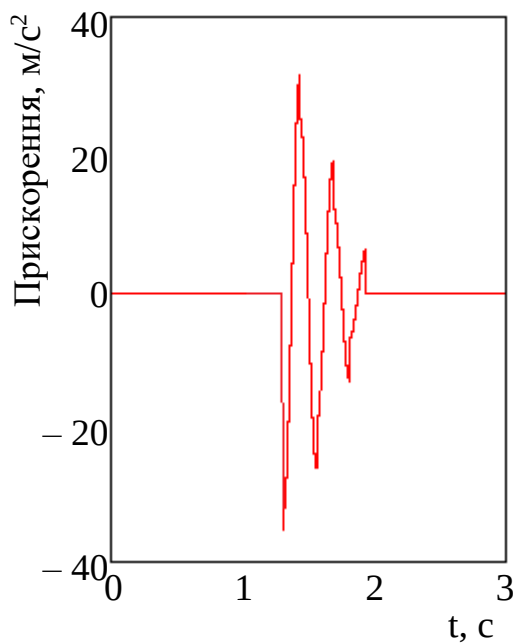


Рисунок 3.6 – Прискорення, які діють на контейнер

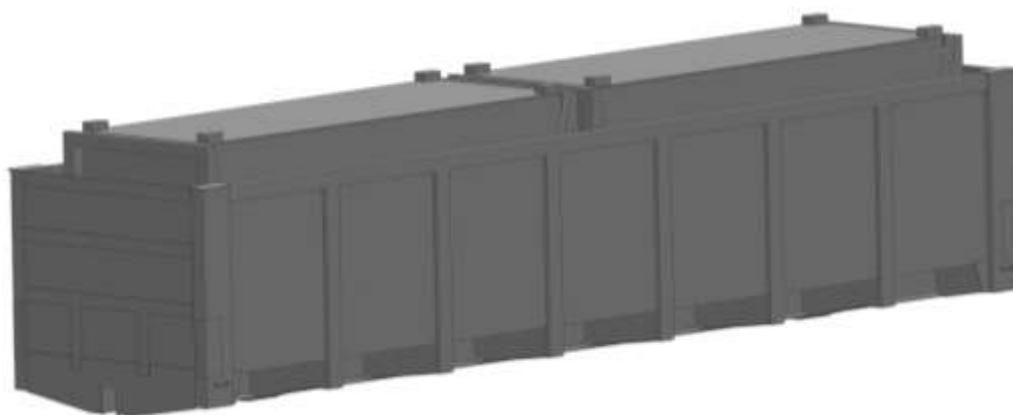


Рисунок 3.7 – Просторова модель несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами із урахуванням нової схеми їх закріплення

При складанні розрахункової схеми враховано, що на задній упор автозчепу діє повздовжня сила у 3,5 МН (рисунок 3.8). З протилежного боку ця сила урівноважена силами інерції мас вагона.

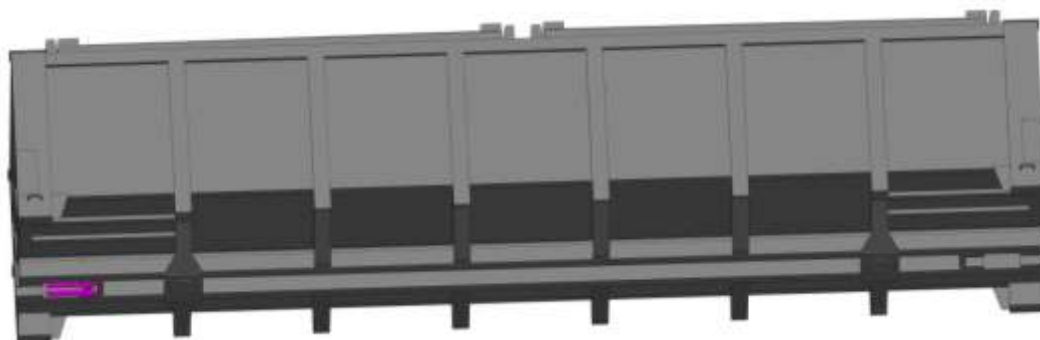


Рисунок 3.8 – Розрахункова схема несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами

Закріплення моделі здійснювалося за п'ятники. При цьому застосовано жорсткий зв'язок, тобто можливі переміщення п'ятника відносно підп'ятника не враховувалися. Між фітингами та фітинговими упорами встановлювався пружний зв'язок (рисунок 3.9) [31].

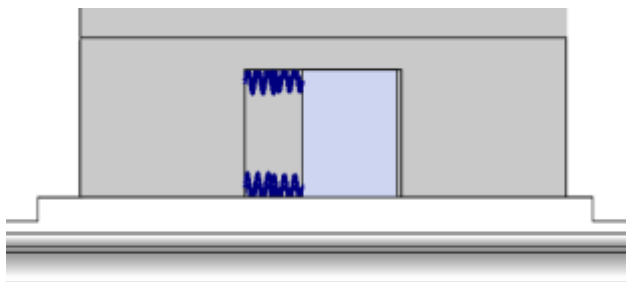


Рисунок 3.9 – Моделювання пружного зв'язку між фітингом та фітинговим упором

Утворення скінчено-елементної моделі здійснено тетраедрами (рисунок 3.10). Їх оптимальну чисельність визначено графоаналітично. Чисельність вузлів моделі склала 154524, а елементів – 469389 із максимальним розміром – 100 мм і мінімальним – 20 мм.

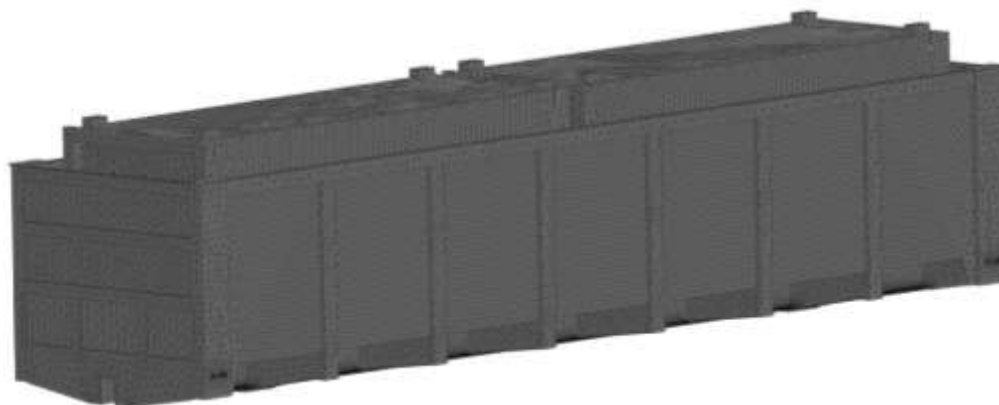


Рисунок 3.10 – Скінчено-елементна модель несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами

Матеріал конструкції – сталь марки 09Г2С, яка є типовою для виготовлення несучих конструкцій вагонів та контейнерів. Результати розрахунку наведено на рисунку 3.11. Максимальні прискорення, які діють на несучу конструкцію напіввагона зосереджені в середній частині його рами і складають $39,1 \text{ м/с}^2$. Мінімальне значення прискорення спостерігається в зонах закріплення кузова.

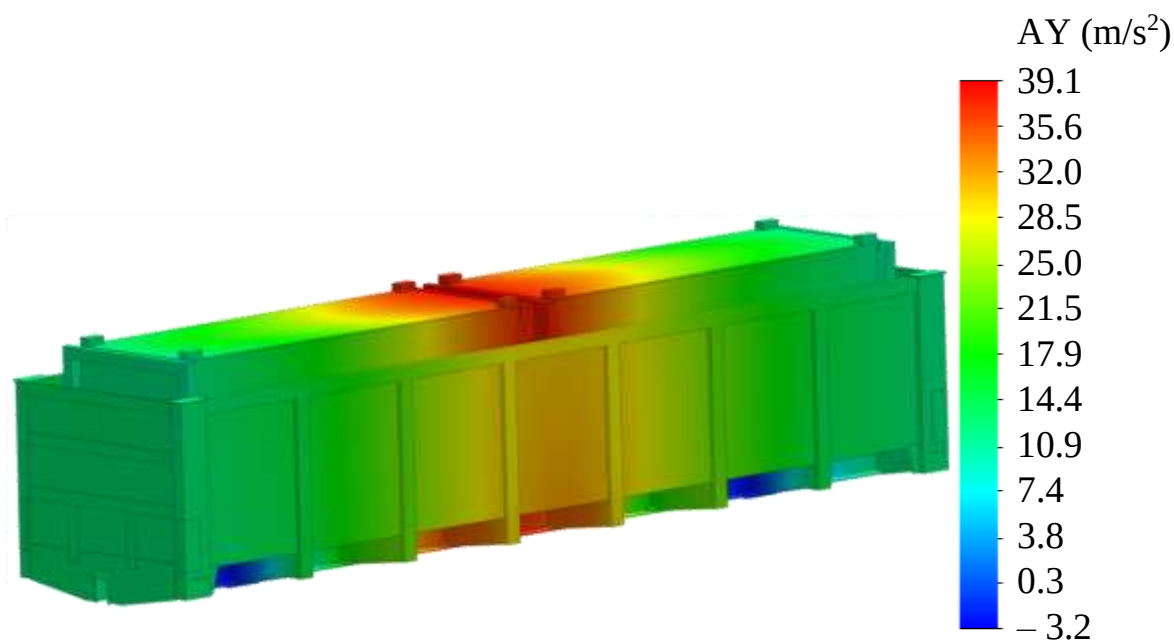


Рисунок 3.11 – Поля розподілень прискорень, які діють на несучу конструкцію напіввагона, завантаженого контейнерами

Максимальне прискорення, яке діє на знімні модулі склало $35,2 \text{ м/с}^2$. Дане прискорення розподілене за боковими частинами знімних модулів, що розміщені за центром кузова напіввагона.

Максимальна величина прискорення, яке діє на контейнери склало $36,2 \text{ м/с}^2$. Це прискорення також розподілене за боковими частинами контейнерів, розміщених за центром кузова напіввагона.

Отримані результати використано для верифікації математичної моделі (3.1). При цьому застосовано F-тест. Верифікацію проведено шляхом співставлення двох вибірок, отриманих математичним моделюванням та за методом скінчених елементів (таблиця 3.1). Оптимальне число вимірів визначено за критерієм Стюдента. Результати розрахунку показали, що кількість вимірів повинна бути не менше 10.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання навантаженості контейнера, закріпленого в напіввагоні за новою схемою

Модель	Сила удару, МН									
	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Математична	25,2	25,7	26,7	27,8	28,7	29,7	30,6	31,7	32,8	33,7
Комп'ютерна	26,7	27,8	28,4	30,2	31,3	32,2	33,1	34,4	35,1	36,2

У якості варіаційного параметру застосовано силу удару вагона в автозчеп. Проведені розрахунки показали, що залежність прискорень від сили удару є лінійною (рисунок 3.12).

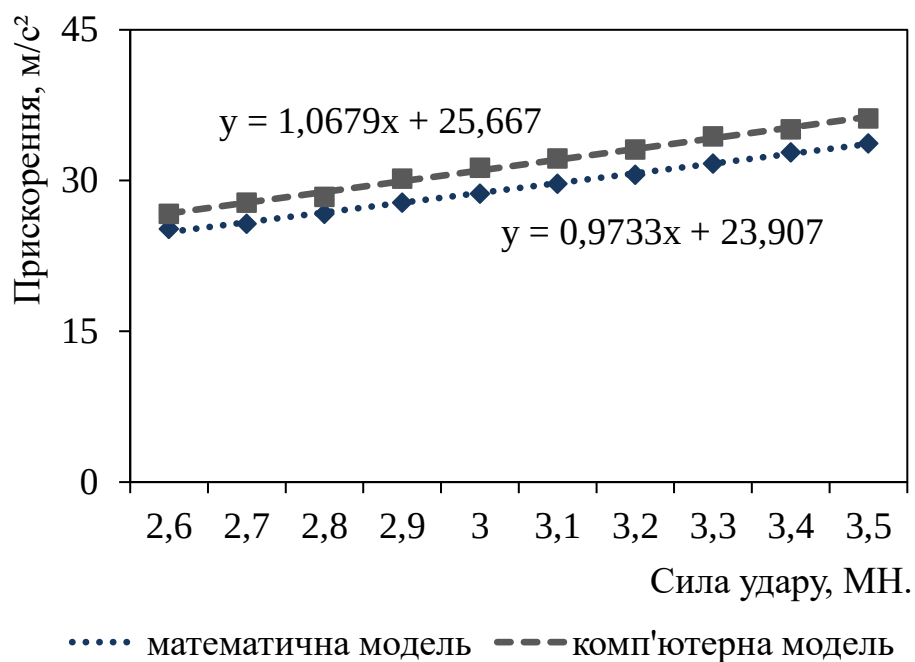


Рисунок 3.12 – Залежність прискорень, які діють на контейнер від сили удару напіввагона в автозчеп

Максимальна розбіжність між результатами моделювання склала 8,3% і має місце при силі удару у 3,0 МН (рисунок 3.13).

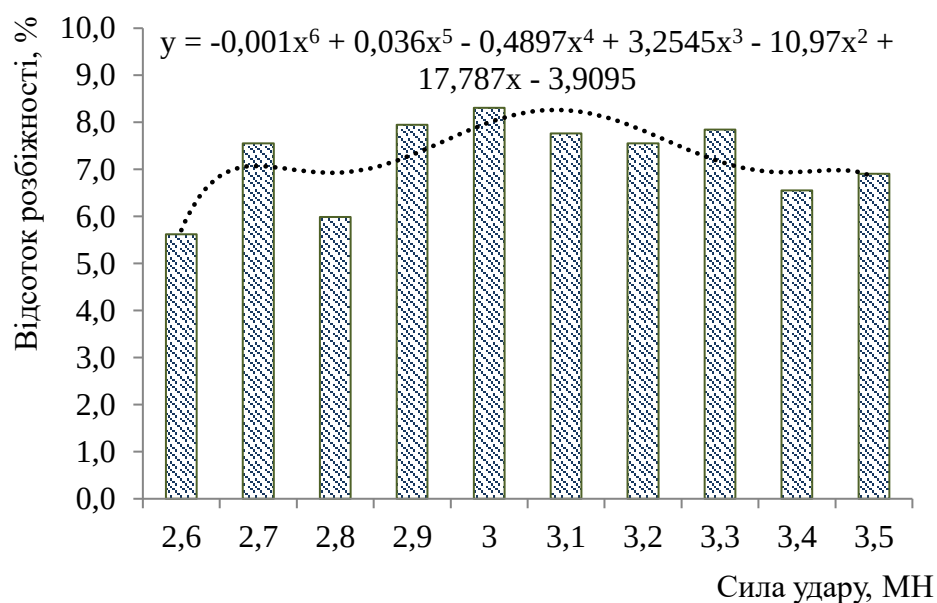


Рисунок 3.13 – Розбіжність між результатами моделювання

На підставі проведених розрахунків у відповідності до даних, наведених у таблиці 3.1, встановлено, що розрахункове значення критерію складає 1,2. Дане значення критерію менше за табличне. Отже гіпотеза про адекватність моделі не відхиляється.

За розрахунковою схемою, наведеною на рисунку 3.8, також проведено модальний аналіз несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами. При цьому використано опції програмного комплексу SolidWorks Simulation. Метою даного аналізу було визначення власних частот та форм коливань. За першою власною частотою коливань проведено оцінку безпеки руху напіввагона. У таблиці 3.2 наведено чисельні значення власних частот коливань несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами.

Таблиця 3.2 – Значення власних частот коливань напіввагона

Мода	Частота, Гц	Мода	Частота, Гц
1	21,77	6	41,7
2	25,25	7	44,12
3	34,47	8	57,59
4	35,58	9	65,21
5	41,01	10	65,53

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 3.2, можна зробити висновок, що безпека руху напіввагона з точки зору модального аналізу забезпечується, оскільки значення першої власної частоти коливань більше за 8 Гц.

На рисунку 3.14 у якості прикладу наведено перші шість форм коливань несучої конструкції напіввагона.

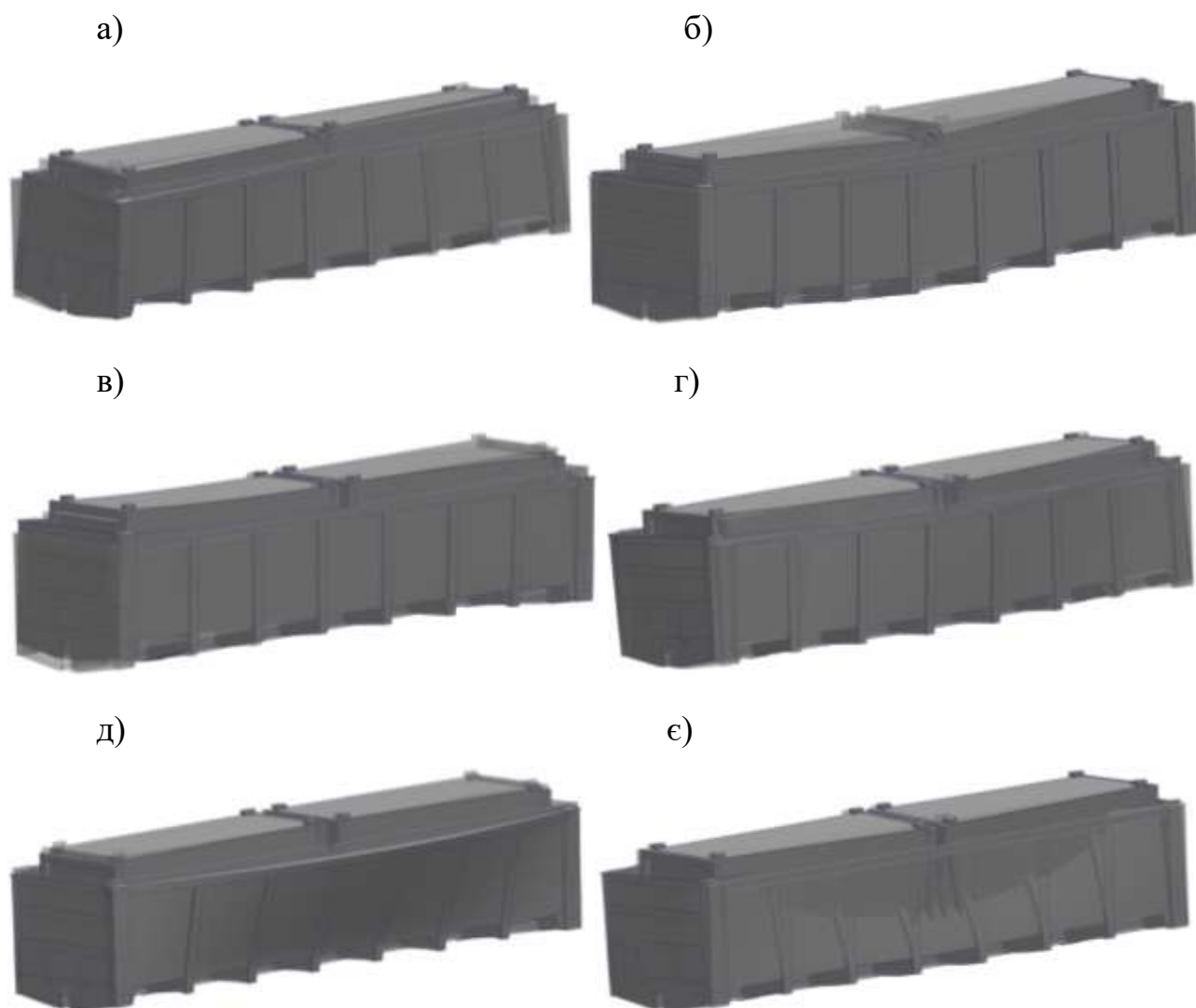


Рисунок 3.14 – Форми коливань несучої конструкції напіввагона,
завантаженого контейнерами

а) перша мода; б) друга мода; в) третя мода; г) четверта мода;
д) п'ята мода; е) шоста мода

При цьому матовим кольором показано стаціонарне положення несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами, а прозорим – деформований стан у масштабі збільшення 30:1.

3.3 Проектування конструкції знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні

Вибір профілів виконання балок каркасу знімного модуля здійснено за моментами опору їх складових. Для цього було побудовано стрижневу систему каркасу знімного модуля (рисунки 3.15, 3.16) та проведено його розрахунок з використанням програмного комплексу Ліра – САПР [2, 94]. Даний комплекс дозволяє визначати внутрішні фактори, що діють в стрижнях при прикладанні до них зовнішнього навантаження. У якості зовнішнього навантаження враховано повздожнє, яке діє на торцеву стіну знімного модуля (рисунок 3.17). Оскільки рама знімного модуля прилягає до підлоги напіввагона, то вертикальне навантаження, яке діє на неї не враховувалося [50].

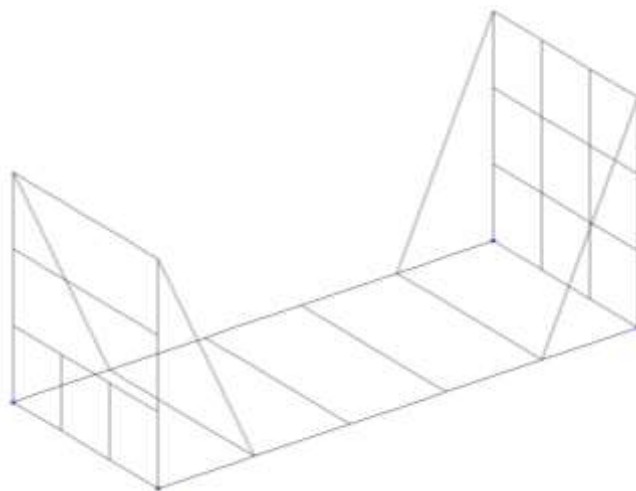


Рисунок 3.14 – Стрижнева система каркасу знімного модуля

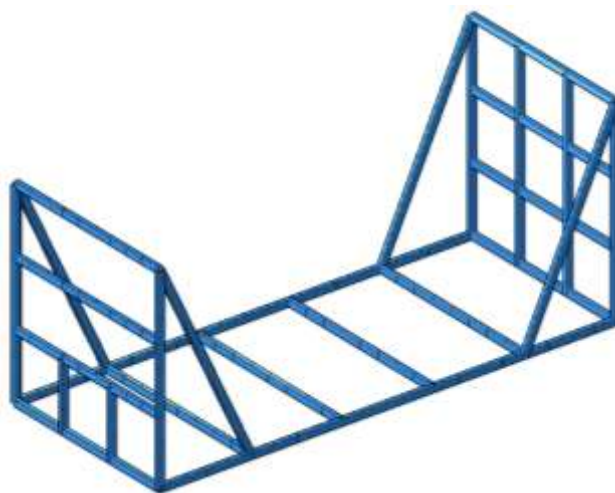


Рисунок 3.15 – Просторова модель каркасу знімного модуля
з нанесенням сітки

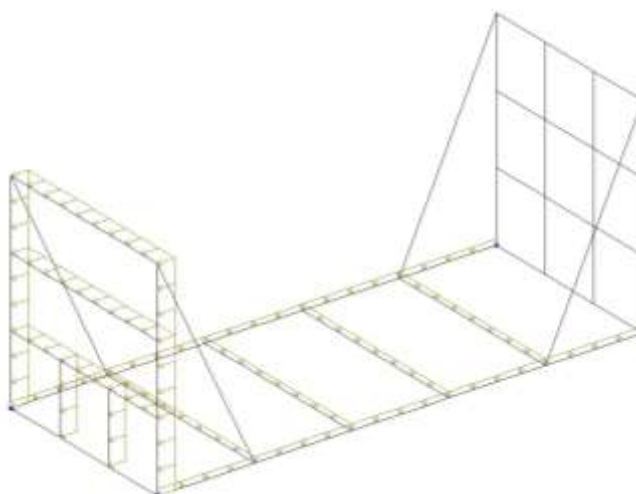


Рисунок 3.16 – Розрахункова схема каркасу знімного модуля

В зонах обпирання каркасу на фітингові упори встановлювалися жорсткі зв'язки, тобто таким чином моделювалася взаємодія знімного модуля з напіввагоном.

На підставі проведених розрахунків отримано епюри моментів, які діють в складових каркасу знімного модуля (рисунки 3.17 – 3.22). Помаранчевим кольором показані додатні значення силових факторів, а блакитним – від'ємні.

Відносно повздовжньої осі знімного модуля діє крутний момент (рисунок 3.17). Його максимальне значення спостерігається у нижньому поясі торцевої стіни і дорівнює $8,176 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

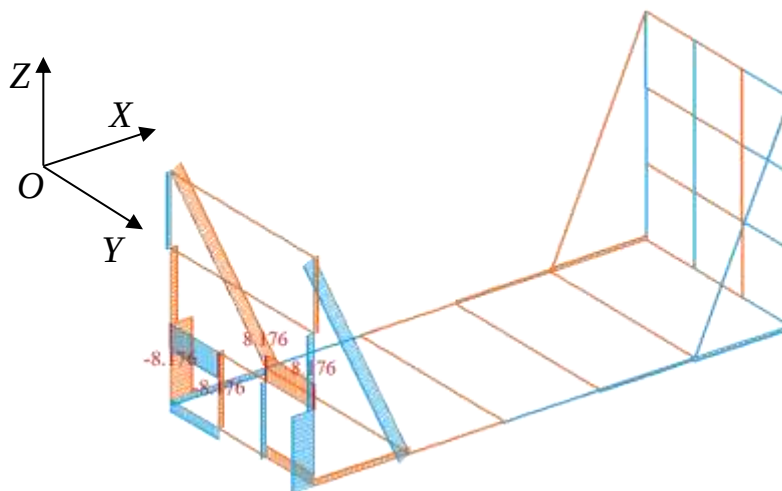


Рисунок 3.17 – Епюра крутних моментів,
що діють у каркасі відносно осі X ($\text{кН} \cdot \text{м}$)

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 3.18).

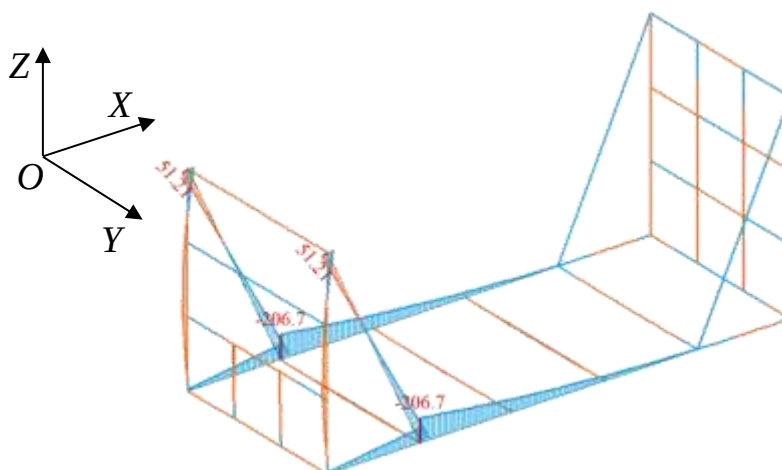


Рисунок 3.18 – Епюра згинальних моментів,
що діють у каркасі відносно осі Y ($\text{кН} \cdot \text{м}$)

Відносно вертикальної осі на знімний модуль діє згинальний момент із максимальним значенням $21,52 \text{ кН} \cdot \text{м}$ (рисунок 3.19).

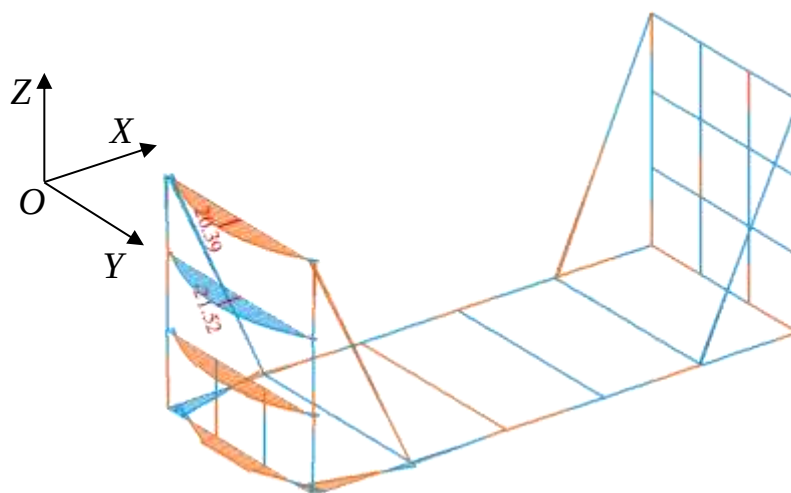


Рисунок 3.19 – Епюра згинальних моментів,
що діють у каркасі відносно осі Z ($\text{кН} \cdot \text{м}$)

Також на конструкцію знімного модуля діють повздовжні сили (рисунок 3.20) та поперечні (рисунки 3.21, 3.22). Максимальне значення повздовжнього сили спостерігається в розкосах і дорівнює 246 кН (рисунок 3.20).

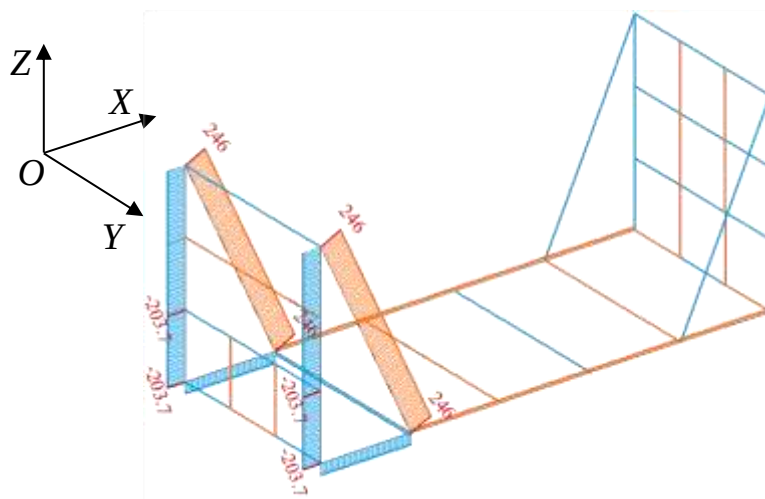


Рисунок 3.20 – Епюра повздовжніх сил, що діють у каркасі (кН)

Максимальні поперечні сили відносно осі Y виникають у нижньому поясі торцевої стіни і складають 42,28 кН (рисунок 3.21).

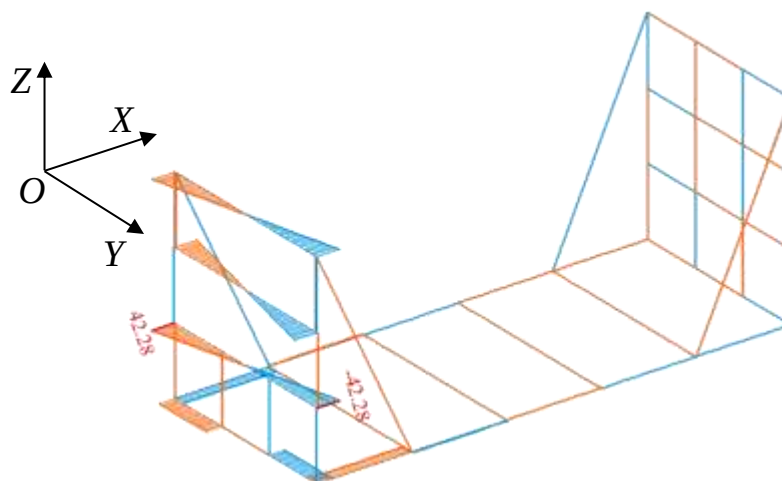


Рисунок 3.21 – Епюра поперечних сил, що діють у каркасі відносно осі Y (кН)

Відносно осі Z максимальне значення поперечної сили виникає у вертикальній стійці торцевої стіни і складає 105,1 кН (рисунок 3.22).

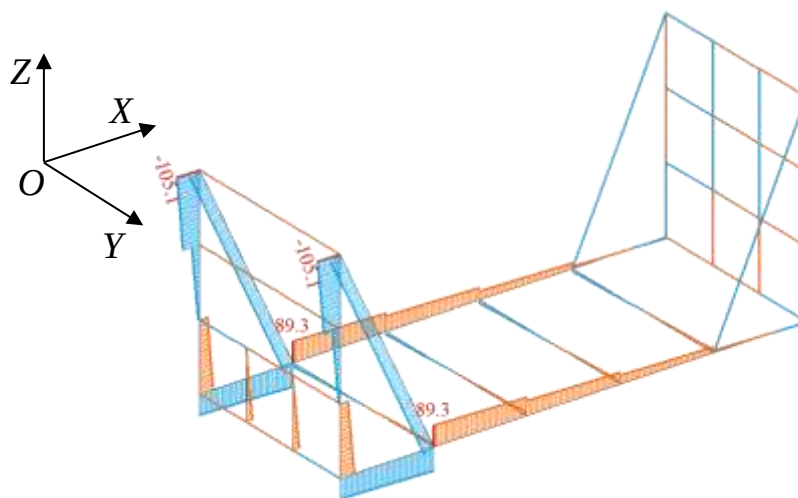


Рисунок 3.22 – Епюра поперечних сил, що діють у каркасі відносно осі Z (кН)

Під дією зовнішнього навантаження конструкція знімного модуля буде випробовувати деформації. На рисунку 3.23 наведено ці деформації у збільшеному масштабі. Тобто з урахуванням дії зовнішніх навантажень на знімний модуль його рама вигинається вгору, а торцеві стіни – назовню.

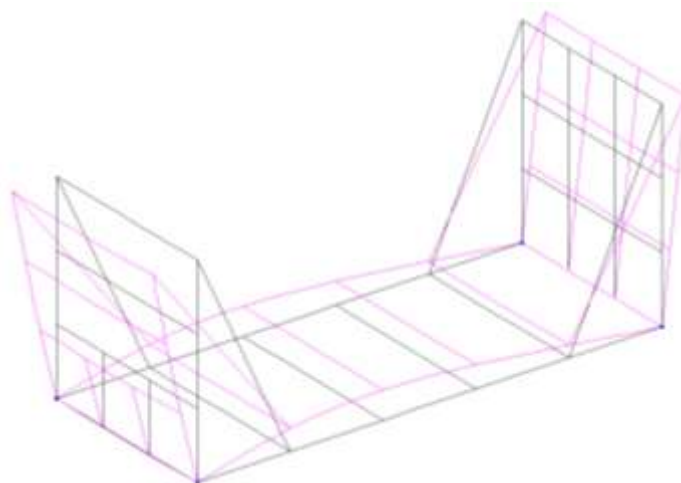


Рисунок 3.23 – Деформації в конструкції знімного модуля

За максимальним згинальним моментом M , що діє в каркасі знімного модуля через момент опору W та відомими допустимими напруженнями $[\sigma]$ підібрано профіль виконання балок каркасу. Для цього застосовано відомий вираз: $W = M/[\sigma]$. Враховано, що модуль складається зі сталі марки 09Г2С, яка має $[\sigma] = 310,5$ МПа [8]. Тоді, $W = 546,8$ см³.

За даним моментом опору у якості профілю виконання каркаса пропонується застосування прямокутної труби (рисунок 3.24).

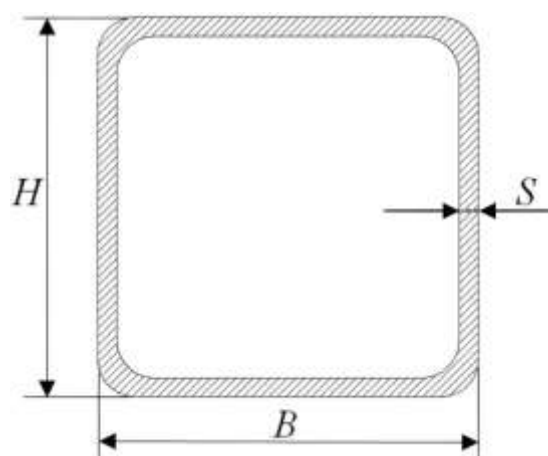


Рисунок 3.24 – Переріз труби

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

Даний профіль є досить зручним і з технологічних міркувань, а саме, монтажу і обслуговування. Параметри профілів, які обрано за сортаментом труб, наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри профілів виконання каркаса

Висота та ширина профілю, см	Момент опору, см^3	Товщина стінки, мм	Маса 1 м, кг
25	547,19	7,5	55,59
30	561,13	5,0	45,81

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 3.3, можна зробити висновок, що найбільш раціональним є застосування профілю висотою та шириною 30 см.

В рамках дослідження також проведено оптимізацію профілю виконання каркаса знімного модуля. Переріз балки каркаса знімного модуля наведено на рисунку 3.25.

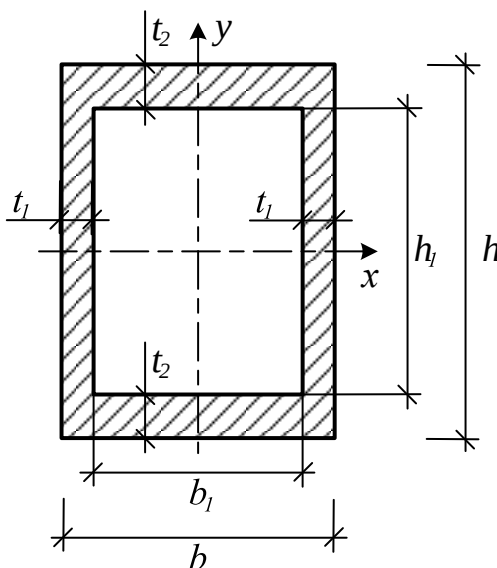


Рисунок 3.25 – Переріз поздовжньої балки знімного модуля

Для перерізу поздовжньої балки виконується оптимізація геометричних розмірів його складових з метою зниження матеріалоемності.

Для вирішення оптимізаційної задачі по знаходженню геометричних розмірів складових перерізу функція цілі та обмеження мають вигляд

$$\begin{aligned} m(\bar{X}) &\rightarrow \min \\ \bar{X} &\in D_x \in D \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} D &= \{t_1, t_2, b, h \mid 4\text{мм} \leq t_1 \leq 8\text{мм}; 4\text{мм} \leq t_2 \leq 8\text{мм}; 180\text{мм} \leq b \leq 340\text{мм}; 180\text{мм} \leq h \leq 300\text{мм}\} \\ D_x &= \{t_1, t_2, b, h \mid m \rightarrow \min; W_x \leq [W_x]; 4\text{мм} \leq t_1 \leq 8\text{мм}; \\ &\quad 4\text{мм} \leq t_2 \leq 8\text{мм}; 180\text{мм} \leq b \leq 340\text{мм}; 180\text{мм} \leq h \leq 300\text{мм}\} \end{aligned} \quad (3.3)$$

де m – маса одного погонного метра повздовжньої 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 повздовжньої балки знімного модуля відносно горизонтальної осі x прийняті по результатам розрахунку для І розрахункового режиму та складають $[W_x] = 546,8 \text{ см}^3$.

Вирішення поставленої задачі виконується за наведеною нижче послідовністю.

1) Формуються 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) Виконується 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 3.4), що дозволяє складати математичний план, маючи відповідну матрицю планування.

Таблиця 3.4 – 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 (таблиця 3.5) складається ортогональний математичний план другого порядку для чотирьох керованих змінних, що варіюються на трьох рівнях (таблиця 3.6).

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

$$m = (b \cdot h - b_1 \cdot h_1) \cdot l \cdot \gamma, \quad (3.4)$$

$$W_x = \frac{(b \cdot h^3 - b_1 \cdot h_1^3)}{6 \cdot h}, \quad (3.5)$$

де l – довжина одного погонного метра поздовжньої балки знімного модуля (100 см); γ – питома вага сталі (0,0078 кг/см³).

Таблиця 3.5 – Ортогональний математичний план другого порядку для чотирьох змінних, що варіюються на трьох рівнях

<i>№ режиму</i>	$x_{t_1}, \mathcal{M}$	$x_{t_2}, \mathcal{M}$	$x_b, \mathcal{M}$	$x_h, \mathcal{M}$
1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1
3	1	1	-1	1
4	1	1	-1	-1
5	1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1
7	1	-1	-1	1
8	1	-1	-1	-1
9	-1	1	1	1
10	-1	1	1	-1
11	-1	1	-1	1
12	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1
14	-1	-1	1	-1
15	-1	-1	-1	1
16	-1	-1	-1	-1
17	0	0	0	0
18	1	0	0	0
19	-1	0	0	0
20	0	1	0	0
21	0	-1	0	0
22	0	0	1	0
23	0	0	-1	0
24	0	0	0	1
25	0	0	0	-1

Таблиця 3.6 – Ортогональний математичний план другого порядку для чотирьох змінних з дійсними параметрами, що варіюються на трьох рівнях (м)

<i>№ режиму</i>	x_{t_1}	x_{t_2}	x_b	x_h
1	0,008	0,008	0,34	0,3
2	0,008	0,008	0,34	0,18
3	0,008	0,008	0,18	0,3
4	0,008	0,008	0,18	0,18
5	0,008	0,004	0,34	0,3
6	0,008	0,004	0,34	0,18
7	0,008	0,004	0,18	0,3
8	0,008	0,004	0,18	0,18
9	0,004	0,008	0,34	0,3
10	0,004	0,008	0,34	0,18
11	0,004	0,008	0,18	0,3
12	0,004	0,008	0,18	0,18
13	0,004	0,004	0,34	0,3
14	0,004	0,004	0,34	0,18
15	0,004	0,004	0,18	0,3
16	0,004	0,004	0,18	0,18
17	0,006	0,006	0,26	0,24
18	0,008	0,006	0,26	0,24
19	0,004	0,006	0,26	0,24
20	0,006	0,008	0,26	0,24
21	0,006	0,004	0,26	0,24
22	0,006	0,006	0,34	0,24
23	0,006	0,006	0,18	0,24
24	0,006	0,006	0,26	0,3
25	0,006	0,006	0,26	0,18

4) Розв'язується задача (3.2), (3.3).

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:

$$t_1 = 0.601 \text{ см}, t_2 = 0.773 \text{ см}, b = 23.3 \text{ см}, h = 27.6 \text{ см}, m = 52.50 \text{ кг}, W_x = 598.1 \text{ см}^3.$$

При зафіксованих значеннях параметрів $b = 23.3 \text{ см}$, $h = 27.6 \text{ см}$, для оптимізації t_1 та t_2 можна скористатися графічним методом. Для цього за допомогою отриманих апроксимацій були обчислені функції m та W_x на сітці 100×100 та побудовані ізолінії цих функцій (рисунках 3.26 – 3.28).

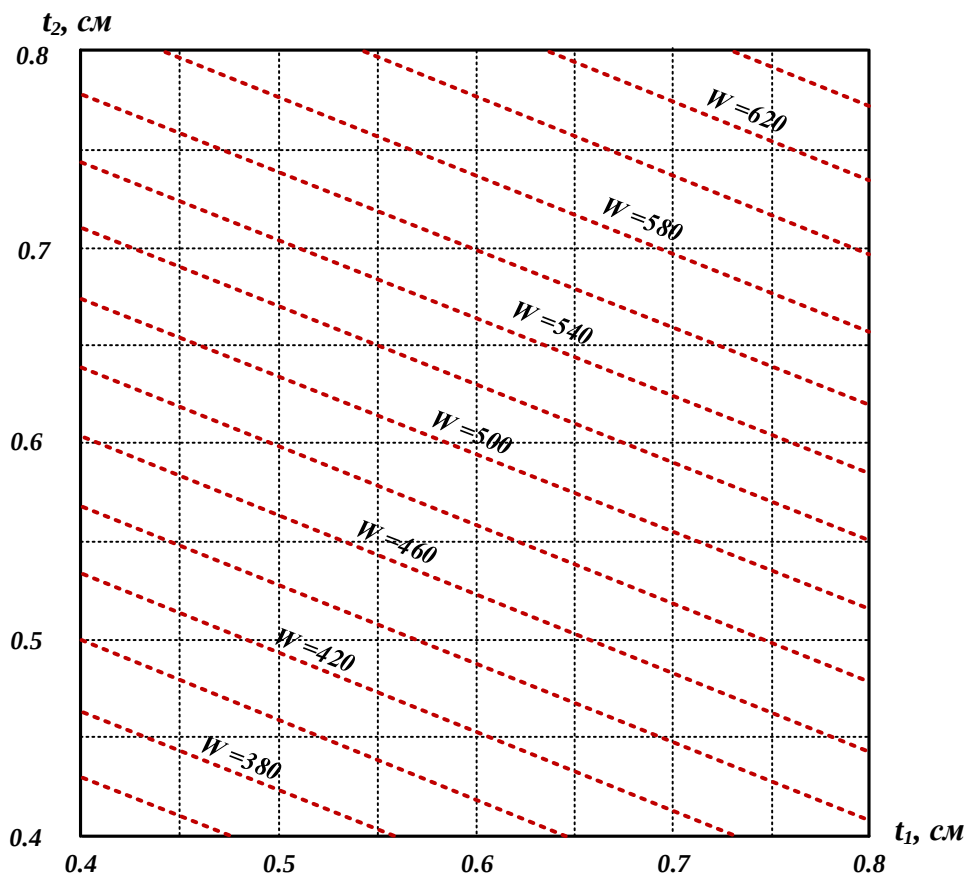


Рисунок 3.26 – Графік ізоліній $W_x = f(t_1, t_2)$, при $b = 23.3 \text{ см}$, $h = 27.6 \text{ см}$

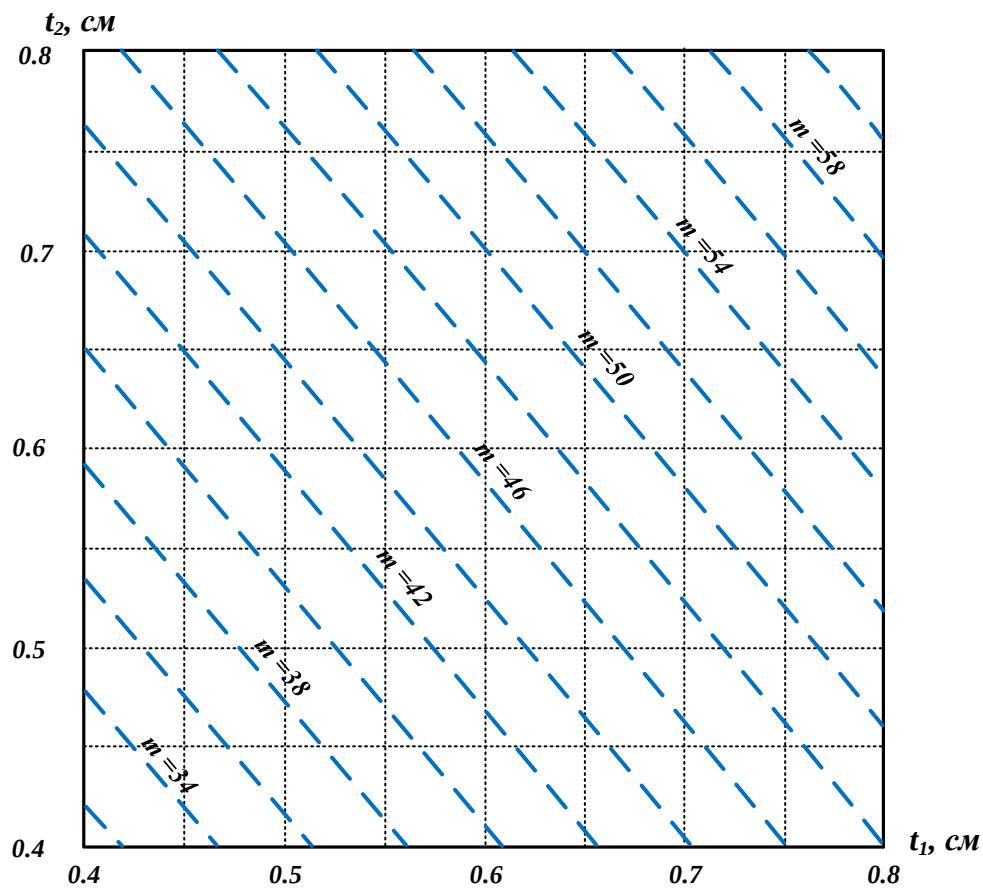
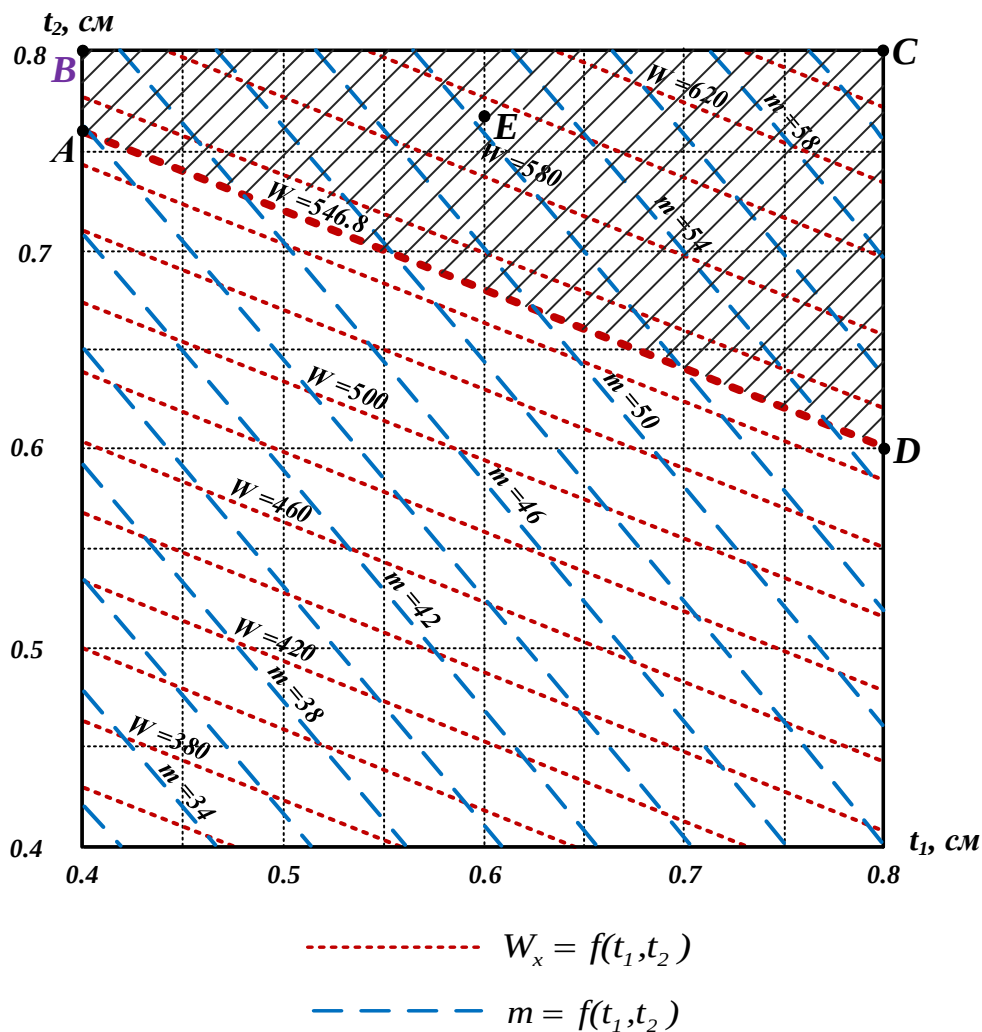


Рисунок 3.27 – Графік ізолій $m = f(t_1, t_2)$, при $b = 23.3 \text{ см}$, $h = 27.6 \text{ см}$



ABCD – область допустимих рішень

Рисунок 3.28 – Графік визначення оптимальних параметрів конструкції t_1 та t_2

З аналізу графіку (рисунок 3.28) видно, що оптимальними є параметри в точці **B**: $t_1 = 0.4$ см, $t_2 = 0.8$ см, $b = 23.3$ см, $h = 27.6$ см. Пошук, що здійснювався в області допустимих рішень D_x , дав можливість у якості оптимальних визначити такі величини параметрів, що розглядаються: $t_1 = 0.4$ см, $t_2 = 0.8$ см, $b = 23.3$ см, $h = 27.6$ см. Таке рішення обґрунтовується встановленими нормованими значеннями листового прокату ($\delta = 4$ мм, 5 мм, 6 мм, 7 мм, 8 мм...). При цих параметрах значення маси та моменту опору складають:

$$m = 45.3 \text{ кг}, W_x = 570.1 \text{ см}^3.$$

З урахуванням визначених параметрів профілю виконання каркаса побудовано його просторову модель та проведено розрахунок на міцність. При розрахунках на міцність застосовано метод скінчених елементів, який здійснено в SolidWorks Simulation. При створенні моделі не враховувалися зварювальні шви між окремими складовими каркаса. Скінчено-елементу модель каркаса утворено тетраедрами (рисунок 3.29), оскільки сітка створювалася на твердому тілі. Число тетраедрів, які утворюють сітку розраховано графоаналітично. З урахуванням цього чисельність вузлів склала – 40688, а елементів – 110331. Найбільший елемент мав розмір 100 мм, найменший – 20 мм. Розрахунок реалізовано для двох схем навантажень знімного модуля:

- дія вертикального навантаження (рисунок 3.30);
- дія вертикального та повздовжнього навантажень (рисунок 3.31).

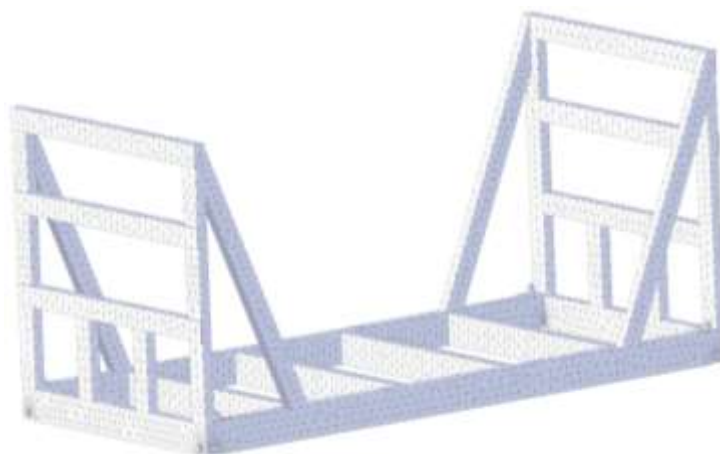


Рисунок 3.29 – Скінчено-елементна модель знімного модуля



Рисунок 3.30 – Розрахункова схема знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних навантажень

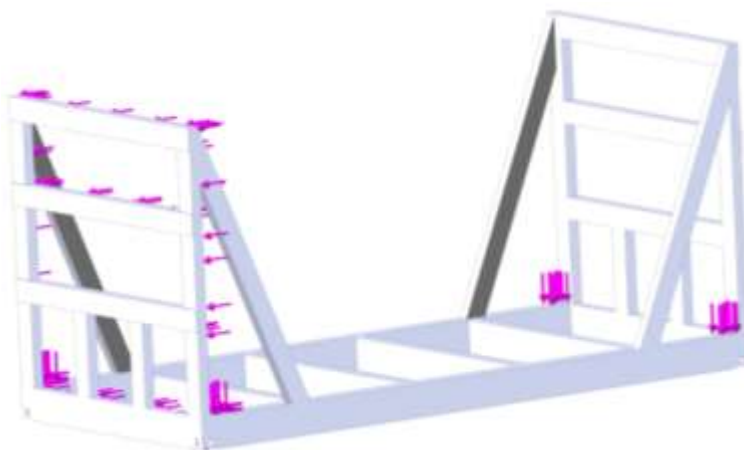


Рисунок 3.31 – Розрахункова схема знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних та повздовжніх навантажень

З урахуванням проведених розрахунків для випадку сприйняття знімним модулем вертикального навантаження максимально навантаженими зонами є зони взаємодії поперечних балок із повздовжніми (рисунок 3.32).

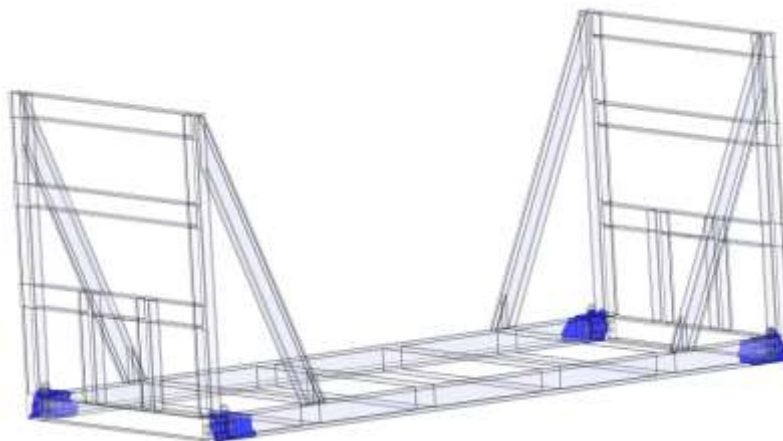


Рисунок 3.32 – Найбільш навантажені зони знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних навантажень

Максимальні напруження, які виникають в цих зонах склали 112,5 МПа (рисунок 3.33), що нижче за допустимі для марки сталі 09Г2С.

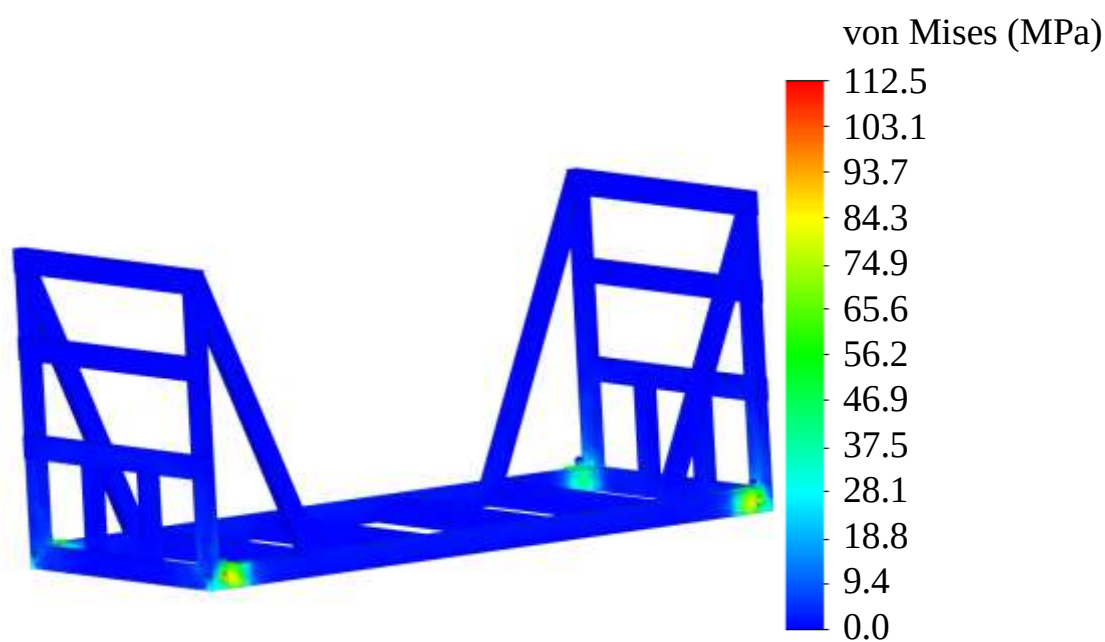


Рисунок 3.33 – Напружений стан знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних навантажень

Максимальні переміщення виникають в верхніх частинах надбудов і дорівнюють близько 1 мм (рисунок 3.34).

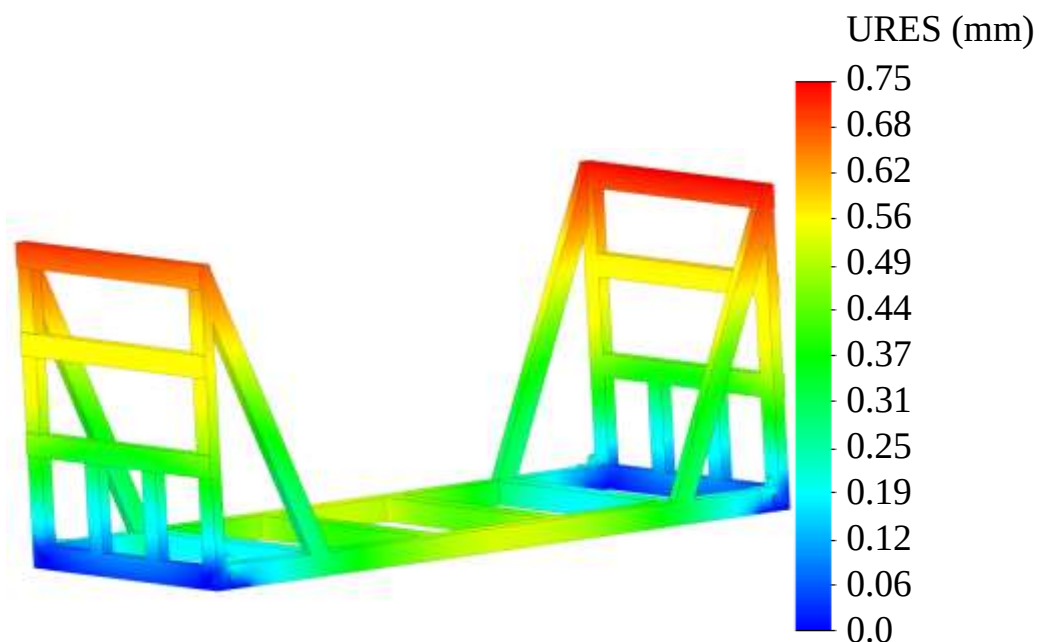


Рисунок 3.34 – Переміщення в вузлах знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних навантажень

Для випадку сприйняття знімним модулем вертикального та повздовжнього навантажень максимально навантаженими зонами є зони взаємодії поперечних балок із повздовжніми, які розміщені з боку навантажених фітингів (рисунок 3.35).

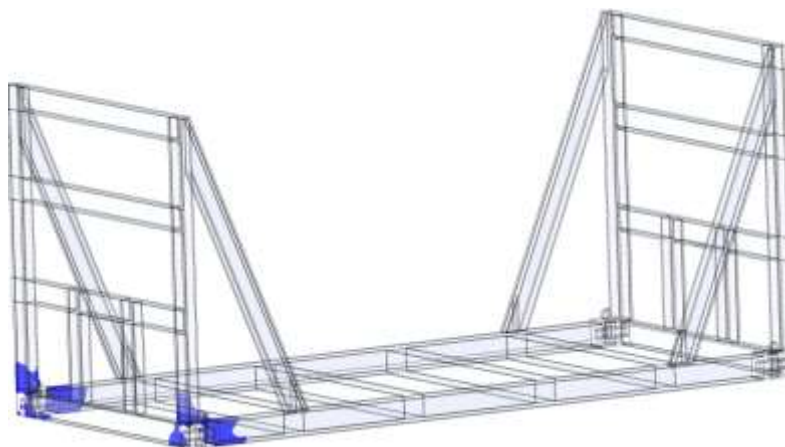


Рисунок 3.35 – Найбільш навантажені зони знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних та повздовжніх навантажень

Максимальні напруження, які виникають в цих зонах склали 287,6 МПа (рисунок 3.36), що нижче за допустимі на 7,4%.

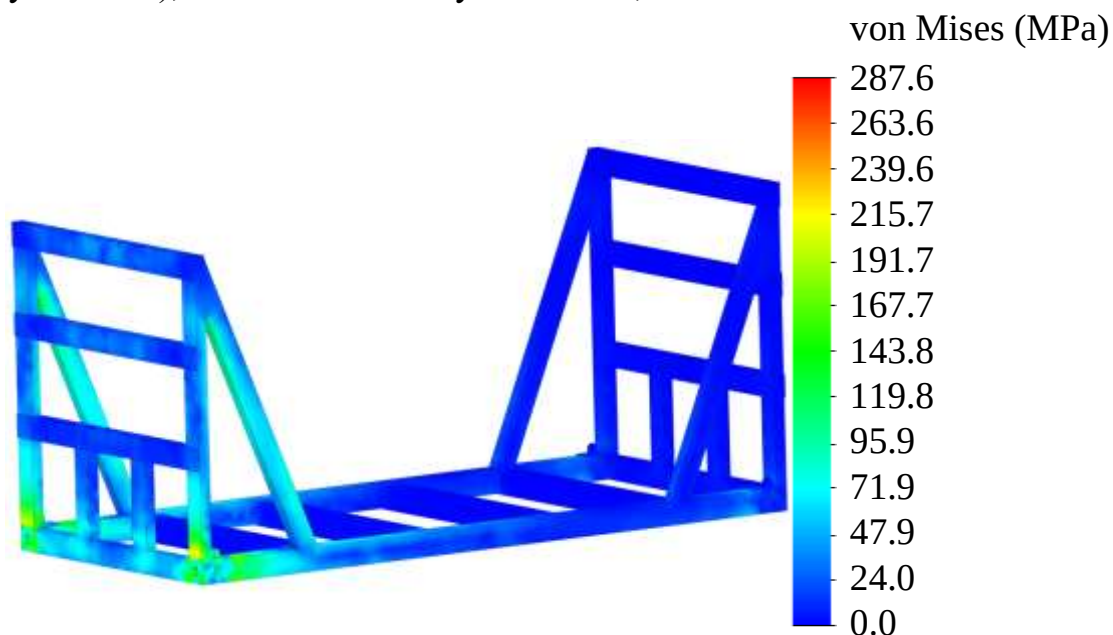


Рисунок 3.36 – Напружений стан знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних та повздовжніх навантажень

Максимальні переміщення в конструкції знімного модуля виникають у торцевій стіні, розміщеній з боку прикладення навантаження до нього (рисунок 3.37). Ці переміщення склали 2,16 мм.

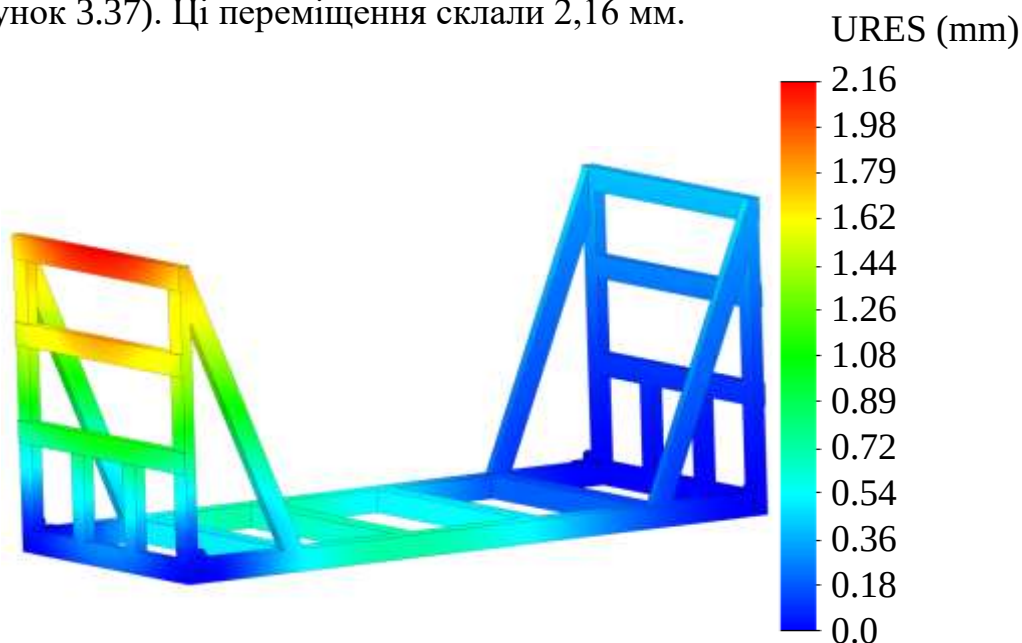


Рисунок 3.37 – Переміщення в вузлах знімного модуля при сприйнятті ним вертикальних та повздовжніх навантажень

3.4 Визначення міцності знімного модуля для кріплення контейнерів в напіввагоні при вантажно-розвантажувальних операціях

Завантаження знімного модуля з контейнерами до напіввагона передбачається підвісними (рисунок 3.38) або іншими типами вантажо-розвантажувальних пристроїв [51].

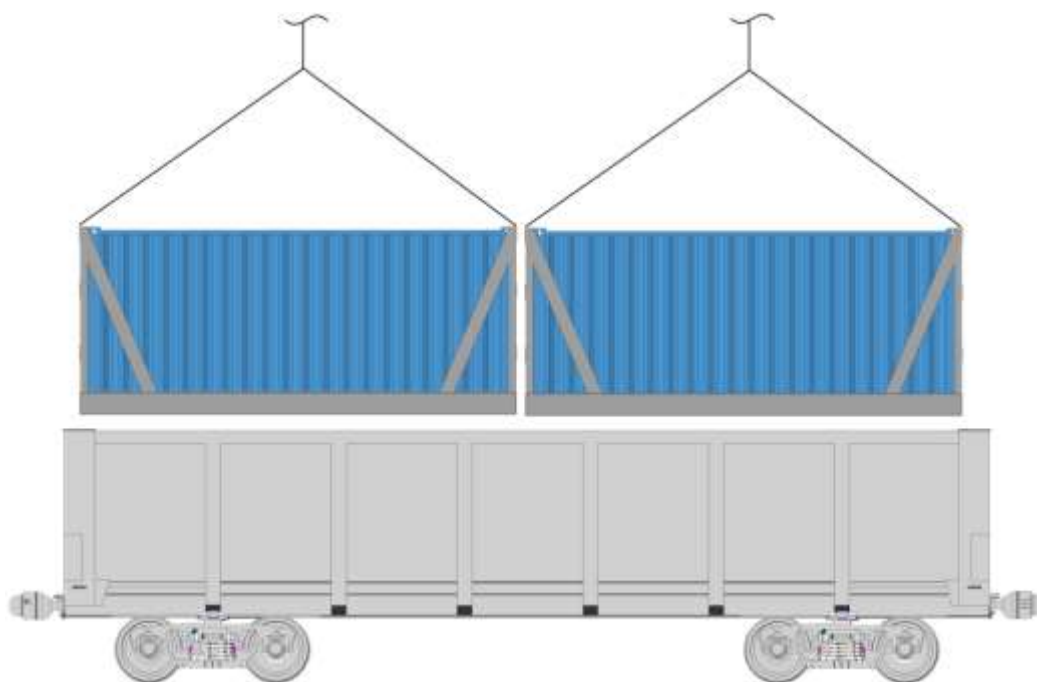


Рисунок 3.38 – Завантаження знімних модулів з контейнерами до напіввагона

При цьому взаємодія підвісних пристроїв зі знімним модулем передбачається за 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).

Розрахунок на міцність знімного модуля проведено в програмному комплексі SolidWorks Simulation із застосуванням методу скінчених елементів. Розрахункову схему знімного модуля при його підйомі за нижні фітинги наведено на рисунку 3.39.

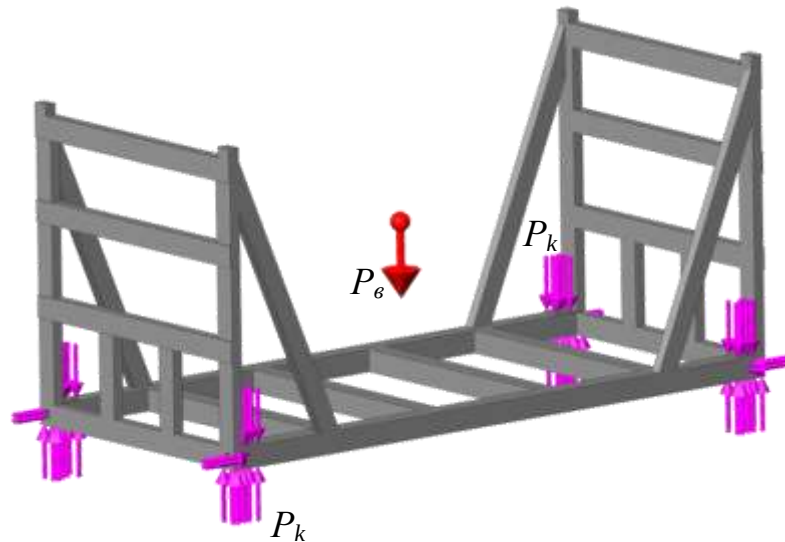


Рисунок 3.39 – Розрахункова схема знімного модуля при його підйомі за нижні фітинги

Враховано, що знімний модуль навантажено силою P_v , а також вагою бруто контейнера P_k . В зонах взаємодії знімного модуля зі стропами (нижні кутові фітинги) прикладалося навантаження P_c , яке розкладалося на дві складові (вертикальну і горизонтальну) із урахуванням кута нахилу стропа (45°).

Скінчено-елементна модель знімного модуля утворена тетраедрами (рисунок 3.40). Визначення їх оптимальної чисельності здійснено графоаналітичним шляхом. З урахуванням проведених розрахунків число елементів, які налічує скінчено-елементна модель склало 95235 з максимальним розміром 100 мм і мінімальним – 20 мм, а вузлів – 33147.

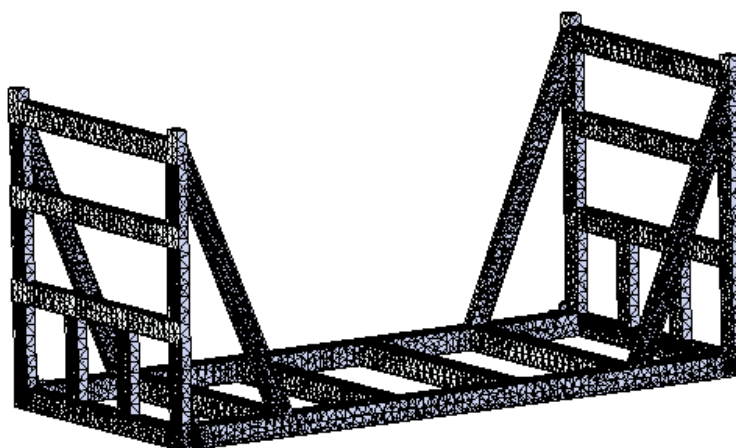


Рисунок 3.40 –Скінчено-елементна модель знімного модуля

Матеріал конструкції знімного модуля – сталь марки 09Г2С. Результати розрахунку знімного модуля на міцність при підйманні його за нижні фітинги наведено на рисунках 3.41, 3.42. Встановлено, що максимальні напруження мають місце в зонах взаємодії повздовжніх балок модуля з нижніми фітингами і складають 115,2 МПа (рисунок 3.41). Дані напруження не перевищують допустимі для сталі марки 09Г2С.

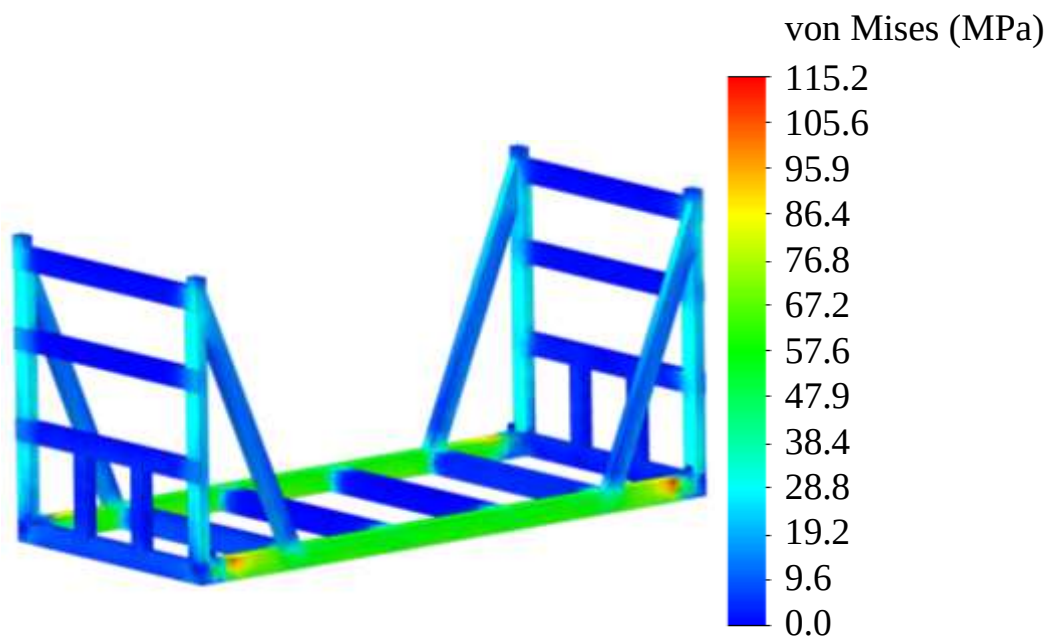


Рисунок 3.41 – Напружений стан знімного модуля
при його підйомі за нижні фітинги

В середній частині повздовжніх балок напруження мають менші значення і складають близько 60 МПа (рисунок 3.42). Отже міцність знімного модуля при заданому режимі навантаження його конструкції забезпечується.

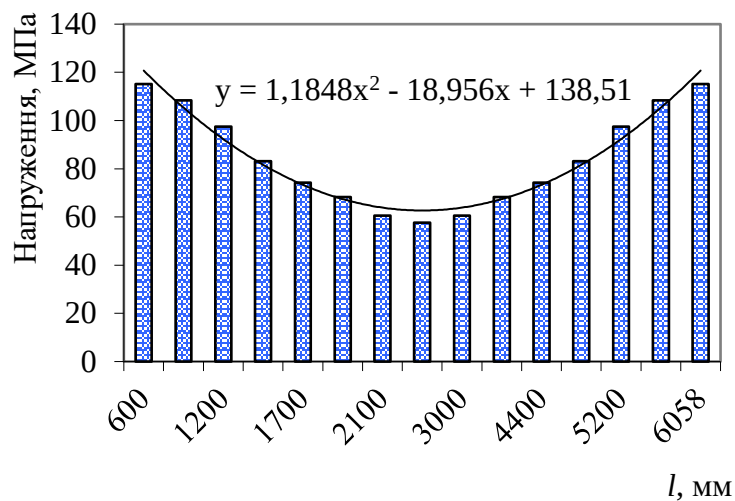


Рисунок 3.42 – Розподілення напружень за довжиною повздовжньої балки знімного модуля

Максимальні переміщення виникають в середній частині рами знімного модуля і дорівнюють 1,51 мм (рисунки 3.43, 3.44).

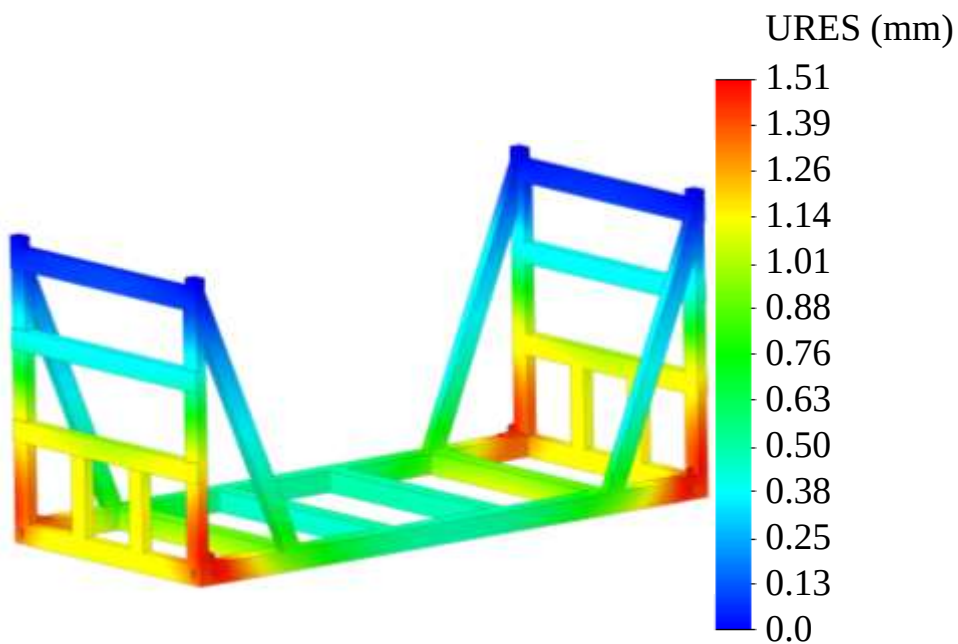


Рисунок 3.43 – Переміщення у вузлах знімного модуля при його підйомі за нижні фітинги

Таке розподілення полів переміщень обумовлено тим, що закріплення знімного модуля відбувається за кутові фітинги, а рама випробовує дію вертикального навантаження.

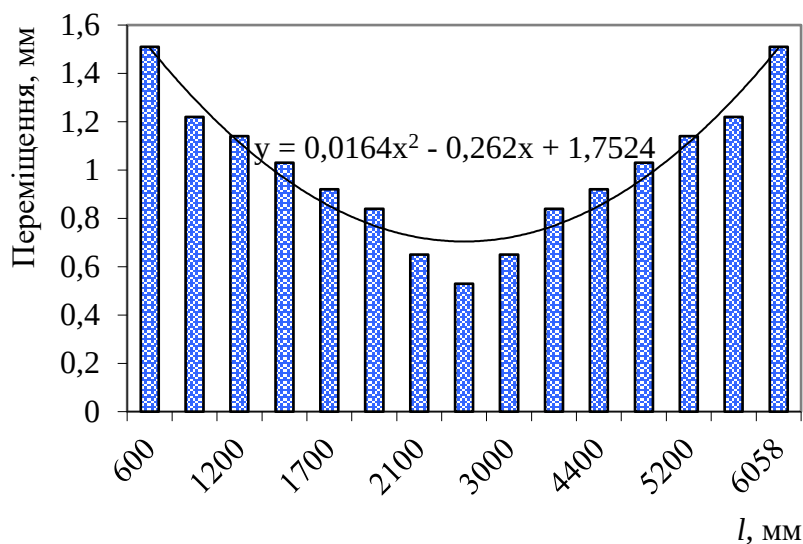


Рисунок 3.44 – Розподілення переміщень за довжиною
повздожньої балки знімного модуля

На наступному етапі досліджено міцність знімного модуля при його підйомі за верхні кутові фітинги. Розрахункову схему знімного модуля наведено на рисунку 3.45. При її складанні враховано, що знімний модуль навантажено силою P_v , а також вагою брутто контейнера P_k . В зонах взаємодії знімного модуля зі стропами (верхні кутові фітинги) прикладалося навантаження P_c , яке розкладалося на дві складові.

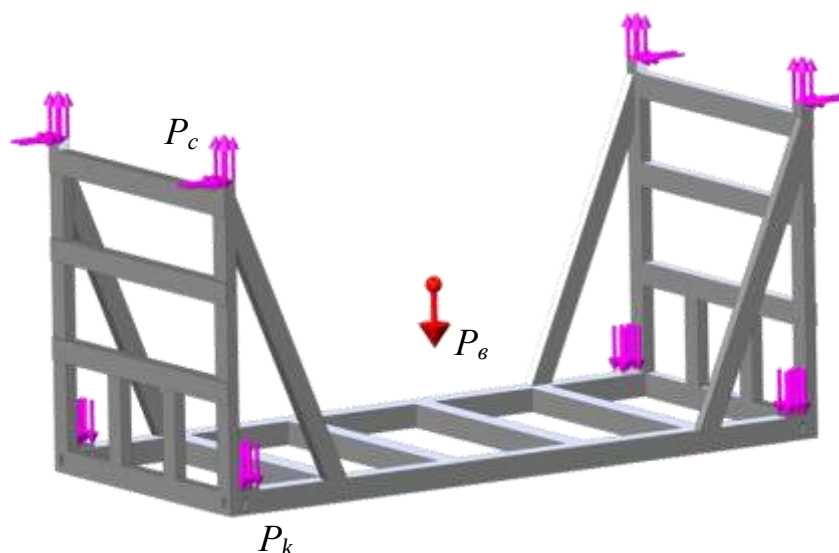


Рисунок 3.45 – Розрахункова схема знімного модуля при його підйомі за верхні фітинги

Результати розрахунку знімного модуля на міцність наведено на рисунках 3.46, 3.47. Максимальні напруження зафіксовано в зонах взаємодії вертикальних стійок з повздовжніми балками. Ці напруження склали 124,5 МПа (рисунок 3.46), але вони не перевищують допустимі [8].

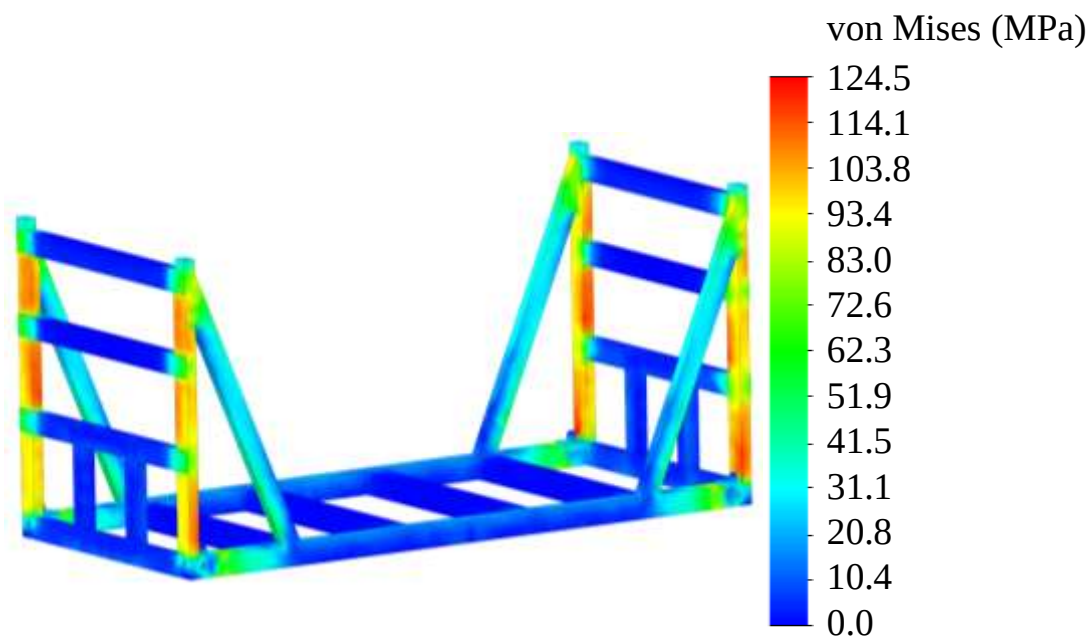


Рисунок 3.46 – Напружений стан знімного модуля при його підйомі за верхні фітинги

Розподілення напружень за висотою вертикальної стійки наведено на рисунку 3.47. З цього рисунка видно що дані напруження мають змінний характер. Така картина пояснюється наявністю посилюючих поясів в торцевих надбудовах, а відповідно змінною жорсткістю стійки за висотою.

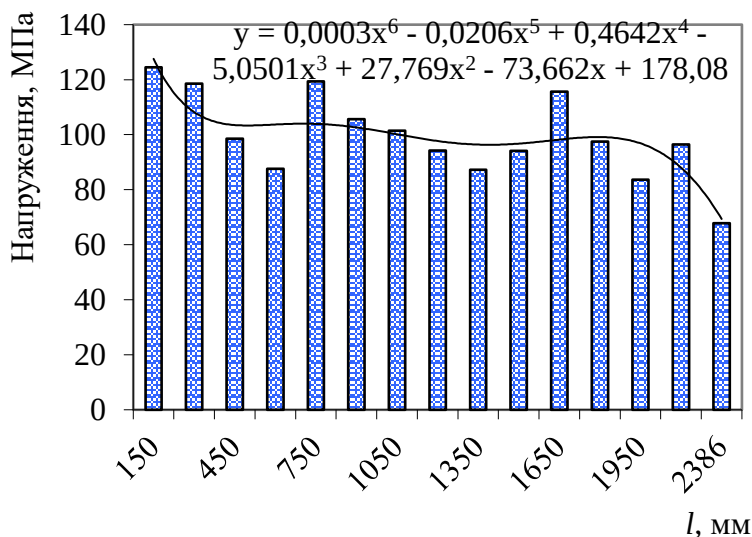


Рисунок 3.47 – Розподілення напружень за висотою кутової стійки знімного модуля

Максимальні переміщення виникають в кутових частинах повздовжніх балок та дорівнюють 1,74 мм (рисунки 3.48, 3.49).

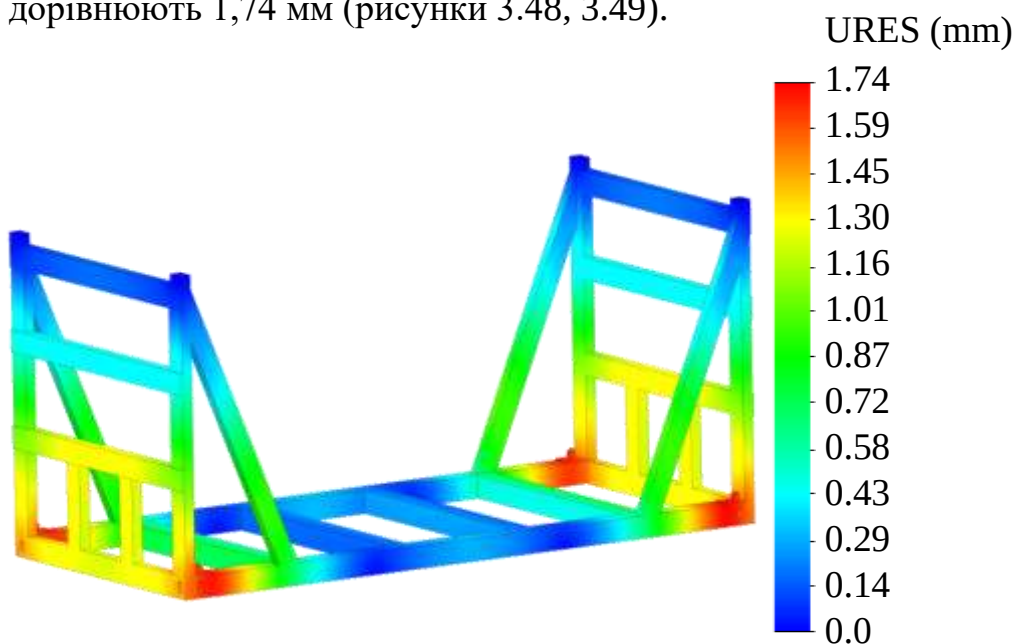


Рисунок 3.48 – Переміщення у вузлах знімного модуля при його підйомі за верхні фітинги

Така дислокація переміщень обумовлена схемою закріплення та навантаження знімного модуля.

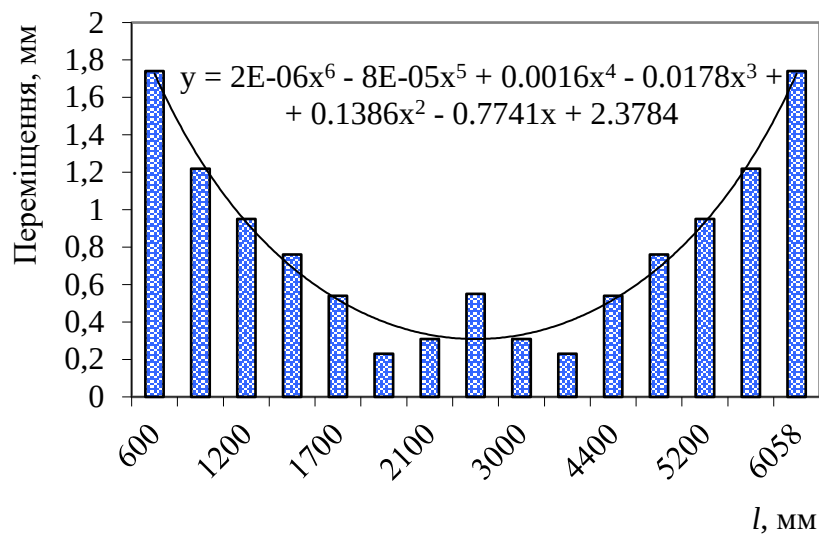


Рисунок 3.49 – Розподілення переміщень за довжиною повздовжньої балки знімного модуля

Також в рамках дослідження проведено визначення міцності знімного модуля при його підйманні спредером. Розрахункову схему знімного модуля наведено на рисунку 3.50.

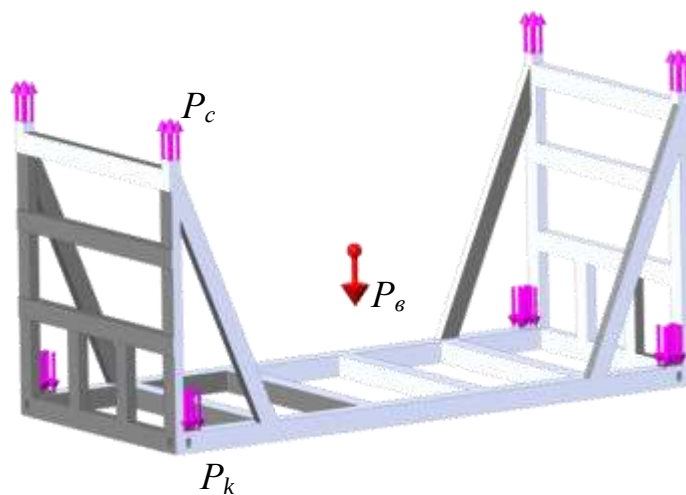


Рисунок 3.50 – Розрахункова схема знімного модуля при його підйомі спредером

При її складанні враховано, що знімний модуль навантажено силою P_v , а також вагою бруто контейнера P_k . В зонах взаємодії знімного модуля зі спредером (верхні кутові фітинги) прикладалося навантаження P_c .

Результати розрахунку знімного модуля на міцність наведено на рисунках 3.51 – 3.55. Максимальні напруження зафіксовано в зонах взаємодії вертикальних стійок з повздовжніми балками. Ці напруження склали 135,7 МПа (рисунок 3.51), але вони не перевищують допустимі [8].

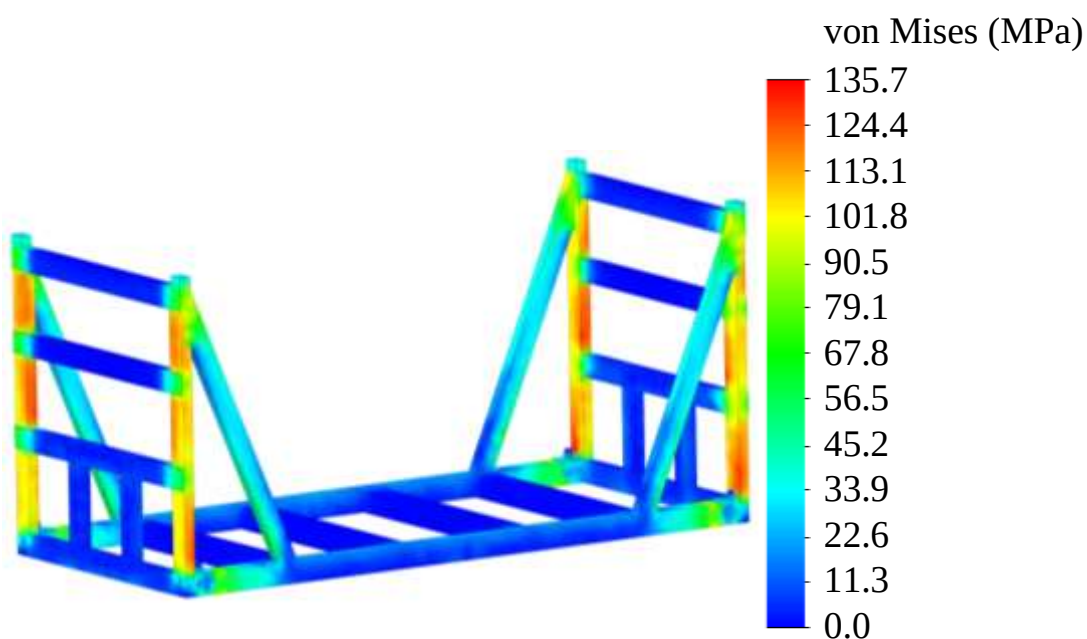


Рисунок 3.51 – Напружений стан знімного модуля при його підйомі спредером



Рисунок 3.52 – Найбільш навантажені зони знімного модуля при його підйомі спредером

Розподілення напружень за висотою кутової стійки знімного модуля наведено на рисунку 3.53.

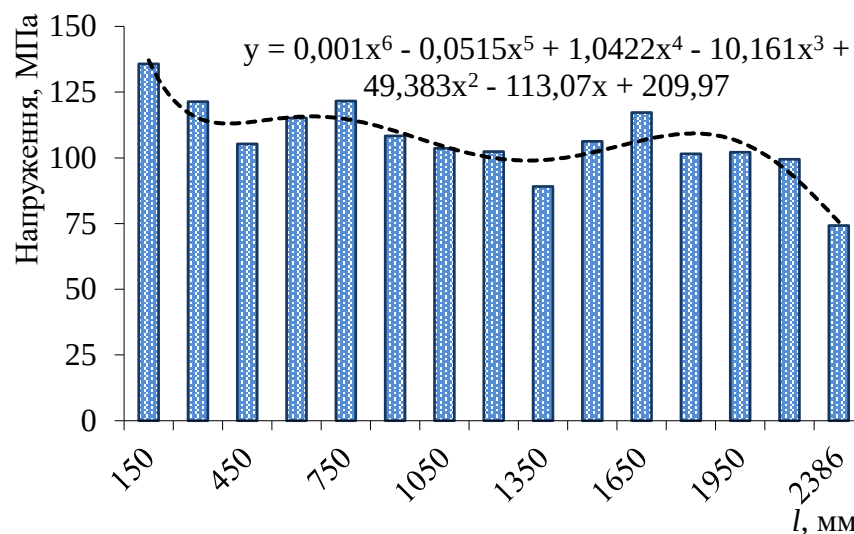


Рисунок 3.53 – Розподілення напружень за висотою кутової стійки знімного модуля при його підйомі спредером

Змінний за висотою кутової стійки знімного модуля характер напружень пояснюється так само, як і для випадку його підйому стропами. Максимальні переміщення виникають в кутових частинах повздовжніх балок та дорівнюють 1,82 мм (рисунки 3.54, 3.55).

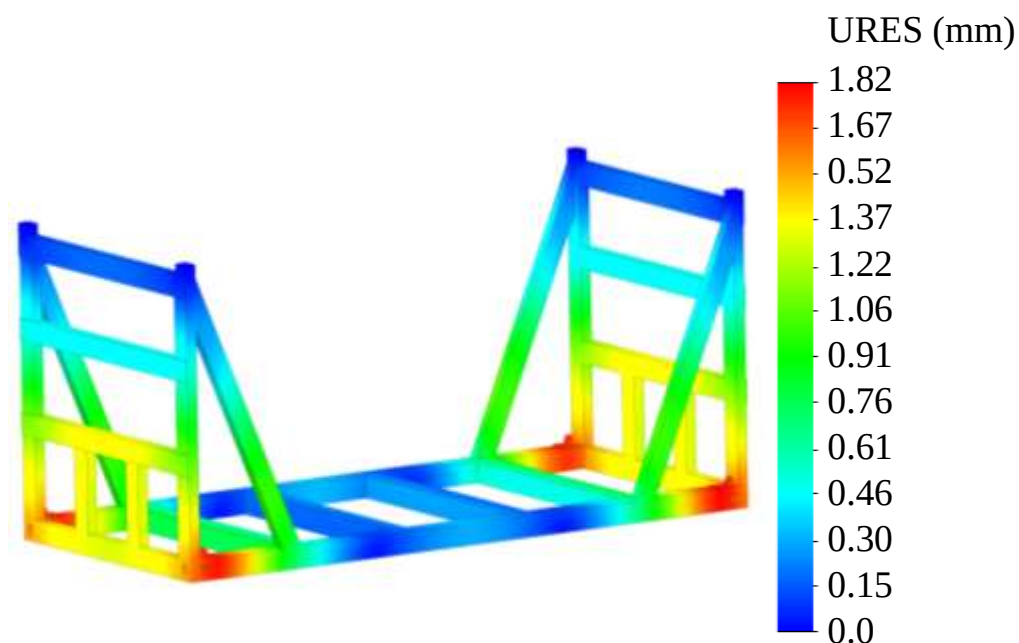


Рисунок 3.54 – Переміщення у вузлах знімного модуля при його підйомі за верхні фітинги спредером

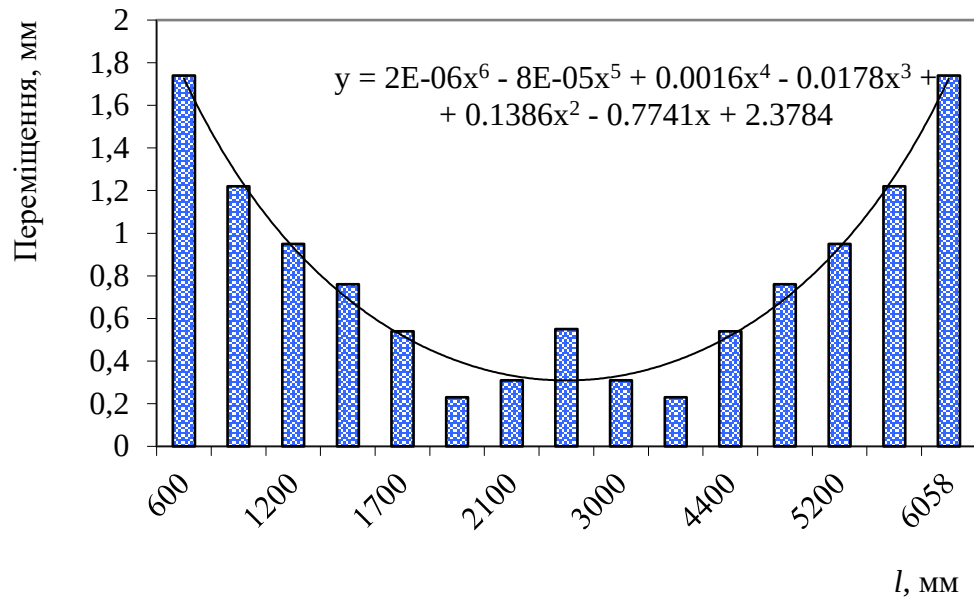


Рисунок 3.55 – Розподілення переміщень за довжиною
повздовжньої балки знімного модуля

Проведені розрахунки доводять, що при вантажно-розвантажувальних роботах зі знімним модулем міцність його конструкції забезпечується.

3.5 Висновки за розділом 3

1. Для адаптації напіввагонів до надійного перевезення контейнерів запропоновано конструкцію знімного модуля. Даний модуль виступає проміжним адаптером між кузовом вагона та контейнером. Особливість 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 горизонтальною площею фітингового упора, а як розподіленого за площею прилягання модуля до підлоги. 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.

2. Проведено математичне моделювання повздовжньої динамічної навантаженості несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами. Для цього сформовано математичну модель, яка характеризує повздовжні переміщення системи “напіввагон – знімний модуль – контейнер”. 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.

Проведено модальний аналіз несучої конструкції напіввагона, завантаженого контейнерами із урахуванням нової схеми їх взаємодії. Встановлено, що безпека руху напіввагона з точки зору модального аналізу забезпечується, оскільки значення першої власної частоти коливань більше за 8 Гц .

3. Визначено профіль виконання конструкції знімного 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 знімного модуля – квадратна труба з висотою та шириною 300 мм та товщиною стінки 5 мм .

Проведено оптимізацію параметрів профілю виконання каркаса знімного модуля. У якості цільової функції застосовано мінімізацію матеріалоемності

знімного модуля. При цьому застосовано метод градієнтного спуску. Пошук, що здійснювався в області допустимих рішень, дав можливість у якості оптимальних визначити такі величини параметрів, що розглядаються: $t_1 = 0.4$ см, $t_2 = 0.8$ см, $b = 23.3$ см, $h = 27.6$ см. При цих параметрах значення маси та моменту опору складають, відповідно, $m = 45.3$ кг, $W_x = 570.1$ см³.

Проведено розрахунок на міцність конструкції знімного модуля. 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.

4. 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 повздовжніми балками. Ці напруження склали 124,5 МПа, але вони не перевищують допустимі. Максимальні переміщення виникають в кутових частинах повздовжніх балок та дорівнюють 1,74 мм. Таке розподілення полів переміщень обумовлене схемою закріплення та навантаження знімного модуля.

Проведено визначення міцності знімного модуля при його підйомі спредером. Максимальні напруження зафіксовано в зонах взаємодії кутових стійок з повздовжніми балками. Ці напруження склали 135,7 МПа, але вони не перевищують допустимі.

Результати проведених досліджень сприятимуть підвищенню ефективності контейнерних перевезень залізничним транспортом та створенню напрацювань щодо проектування конструкцій модульних транспортних засобів.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КРИШКИ ЛЮКА
НАПІВВАГОНА, НАВАНТАЖЕНОЇ ВІД КОНТЕЙНЕРА4.1 Експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона,
навантаженої від фітингового упора контейнера

Для експериментального дослідження міцності кришки люка напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів проведені 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 [49]. Монтаж тензорезисторів здійснений за мостовою схемою. Місця розміщення тензорезисторів на кришці люка визначено за отриманими теоретичним шляхом полями напружень, що виникають в кришці люка, і наведено на рисунку 4.1.

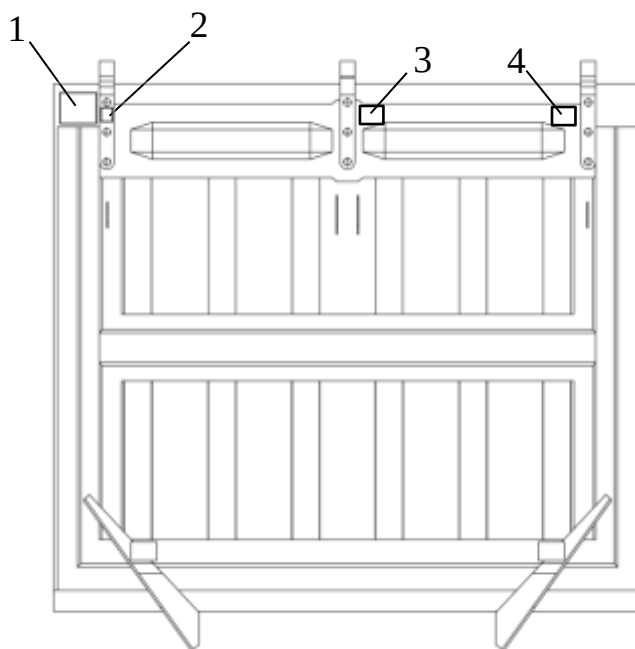


Рисунок 4.1 – Розміщення груп тензорезисторів на кришці люка (вигляд знизу)

1 – перша група; 2 – друга група; 3 – група; 4 – четверта група

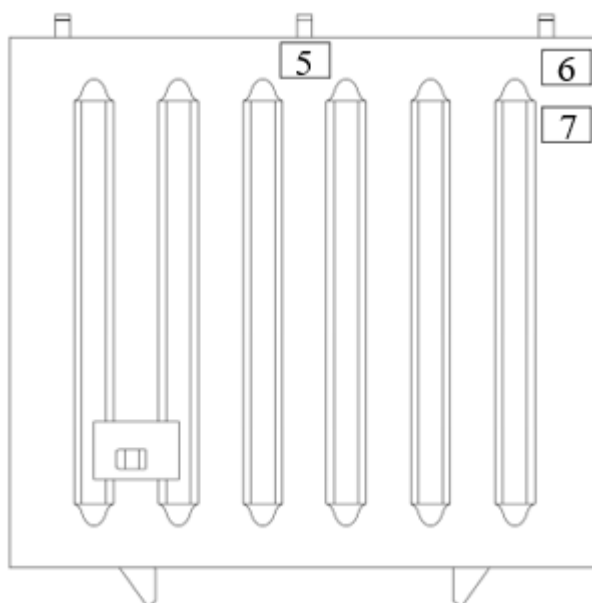


Рисунок 4.2 – Розміщення груп тензорезисторів на кришці люка (вигляд зверху)

5 – п'ята група; 6 – шоста група; 7 – сьома група

Перед монтажем тензорезисторів здійснювалось їх тарирування (рисунок 4.3). При цьому застосовувалися тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом.

а)



б)



Рисунок 4.3 – Тарирування тензорезисторів

а) навантаження балки; б) розміщення тензорезисторів на балці

Монтаж тензорезисторів відбувався за допомогою клею на циакриновій основі (рисунки 4.4, 4.5). Перед цим місця монтажу зачищувалися та обезжирювалися.

а)



б)



Рисунок 4.4 – Розміщення тензорезисторів на кришці люка
(нижня частина полотна)

а) в зоні розміщення петлі; б) за планкою

а)



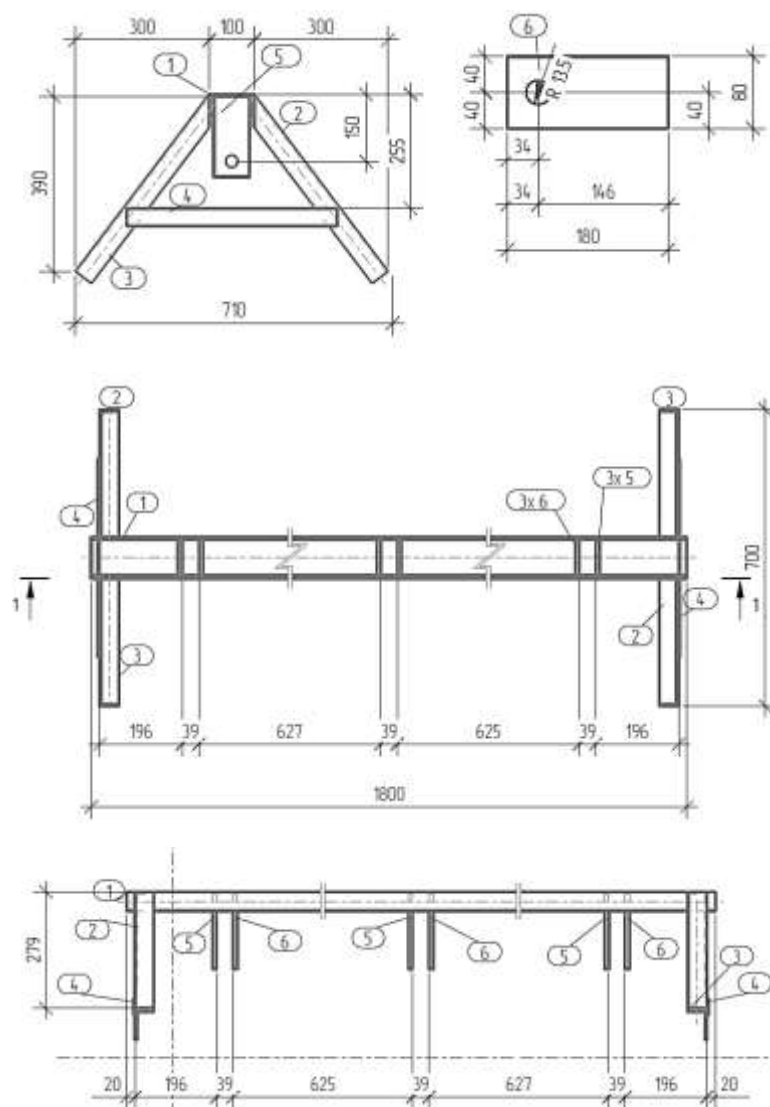
б)



Рисунок 4.5 – Розміщення тензорезистора на кришці люка (верхня частина
полотна)

а) з лівого боку; б) з правого боку

Для випробування кришки люка створено спеціальний стенд (рисунок 4.6).



Специфікація							
Дет. №	Кол. шт	Профіль	L, мм	Маса, кг			Марка сталі
				шт	Зар	марки	
1	1	□ 104	1800	15.4	15.4		С245
2	2	└ 45x5	496	17	3.4		С245
3	2	└ 45x5	496	17	3.4		С245
4	2	— 4x40	470	0.6	1.2		С245
5	3	— 10x80	180	11	3.3		С245
6	3	— 10x80	180	11	3.3		С245
010% = 0.3 кг						30.3	

Рисунок 4.6 – Стенд для випробування кришки люка

Закріплення кришки люка здійснювалося за петлі (рисунок 4.7). Для цього використовувалися металеві пальці (рисунок 4.8).

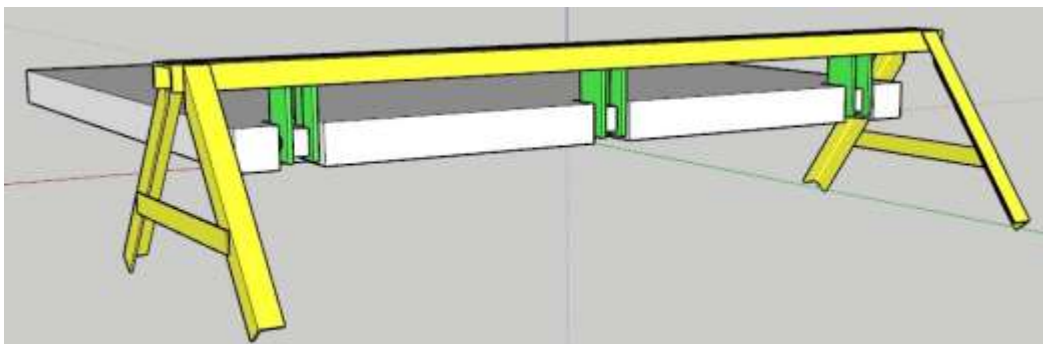


Рисунок 4.7 – Зони закріплення кришки люка за петлі

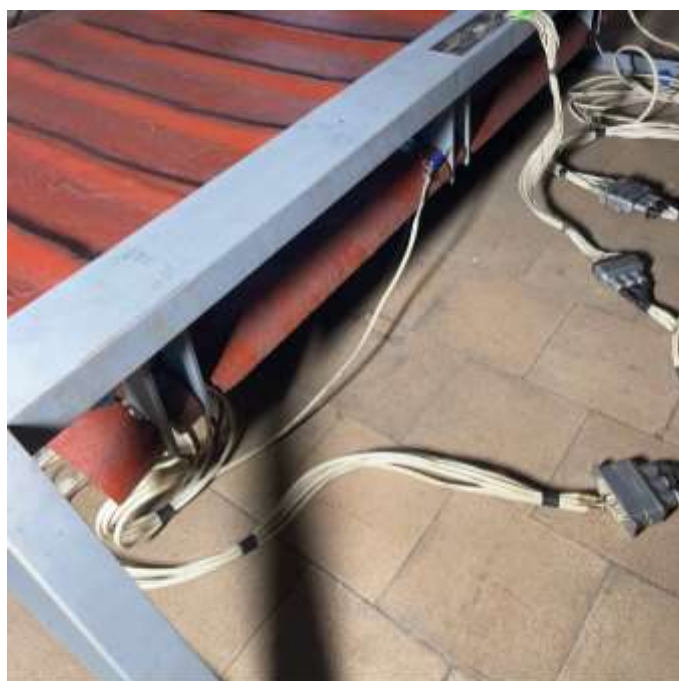


Рисунок 4.8 – Кріплення кришки люка до стенду

З протилежного боку закріплення кришки люка здійснювалося в зонах її взаємодії із запірними механізмами (рисунок 4.9). Для цього під кронштейни встановлювалися опори.

Фітинговий упор розміщувався на кришці люка із врахуванням відстаней від крайніх частин її полотна, наведених на рисунку 4.10. Відстані наведено в “мм”.

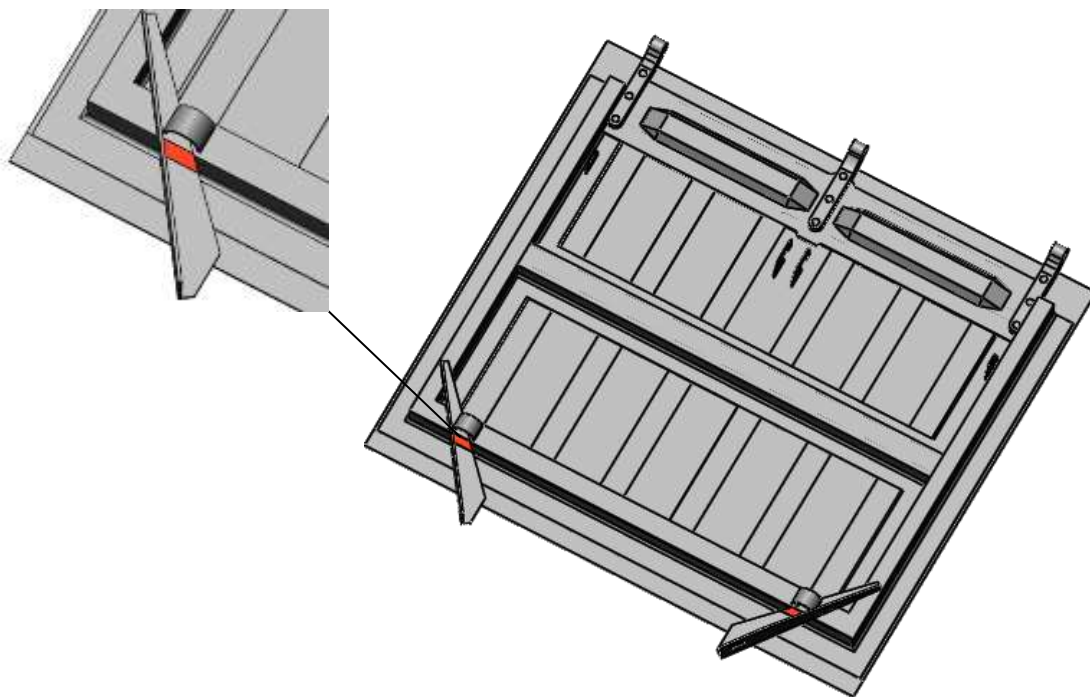


Рисунок 4.9 – Зони закріплення кришки люка за кронштейни

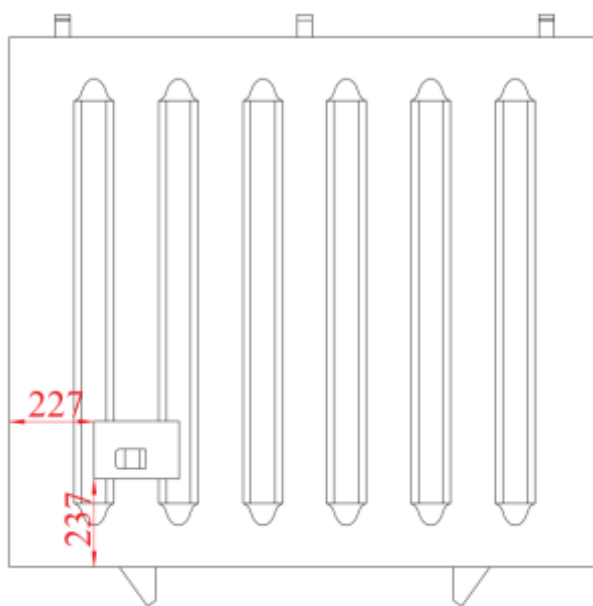


Рисунок 4.10 – Розміщення фітингового упору на кришці люка

Навантаження на фітинговий упор передавалося через металевий стакан, який імітував фітинг контейнера (рисунок 4.11). Зверху на стакан була укладена металева пластина на яку встановлювався. 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.



Рисунок 4.11 – Передача навантаження на фітинговий упор

Показання тензорезисторів знімали за допомогою тензометричної станції ВНП-8 (рисунок 4.12).



Рисунок 4.12 – Знімання показань тензорезисторів

Найбільші показання деформацій під час випробувань зафіксовано групами тензорезисторів 6 та 7 (рисунки 4.13 та 4.14).

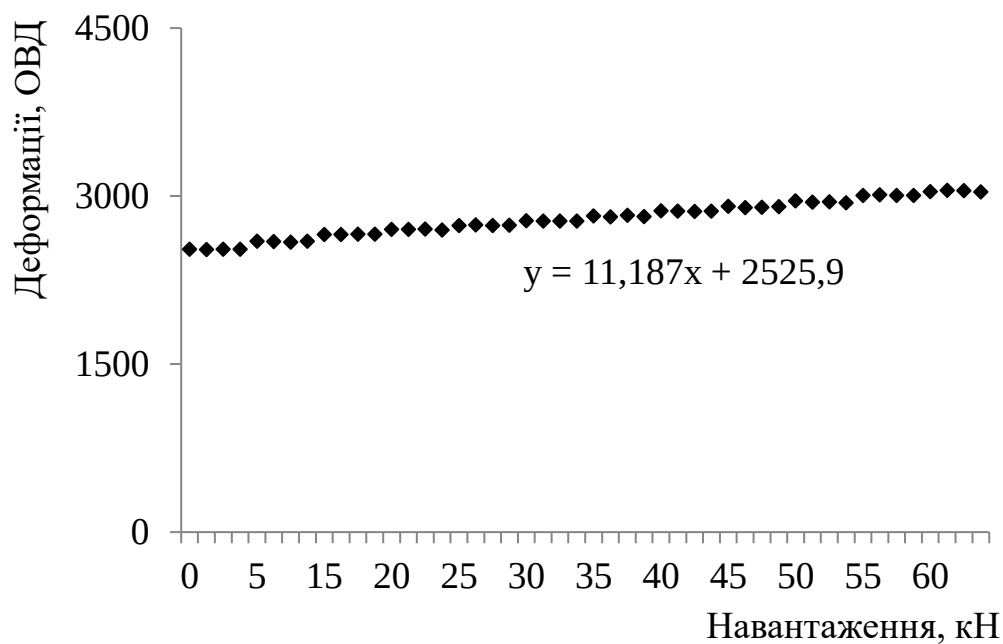


Рисунок 4.13 – Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження на фітинговий упор (група тензорезисторів №6)

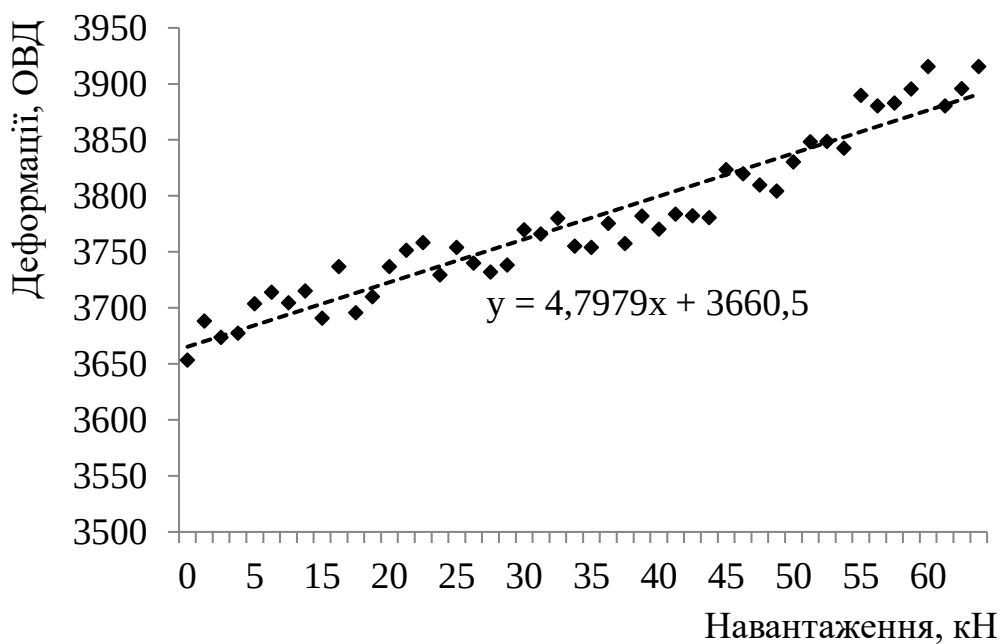


Рисунок 4.14 – Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження на фітинговий упор (група тензорезисторів №7)

З рисунків 4.13, 4.14 видно, що залежність відносних деформацій від навантаження є лінійною. Напруження, які виникають у кришці люка, наведено в таблицях 4.1 та 4.2, а також на рисунках 4.15 та 4.16.

Таблиця 4.1 – Напруження, які виникають в кришці люка в зоні розміщення групи тензорезисторів №6

Навантаження, кН	Напруження, МПа
5	23,1
10	51,3
15	83,54
20	116,5
25	145,3
30	174,7
35	203,6
40	232,5
45	262,1
50	291,8
55	318,4
60	345,4

Таблиця 4.2 – Напруження, які виникають в кришці люка в зоні розміщення групи тензорезисторів №7

Навантаження, кН	Напруження, МПа
1	2
5	17,4
10	43,6
15	71,1
20	105,3
25	128,7

Продовження таблиці 4.2

1	2
30	163,8
35	195,4
40	221,6
45	252,3
50	276,5
55	305,6
60	342,8

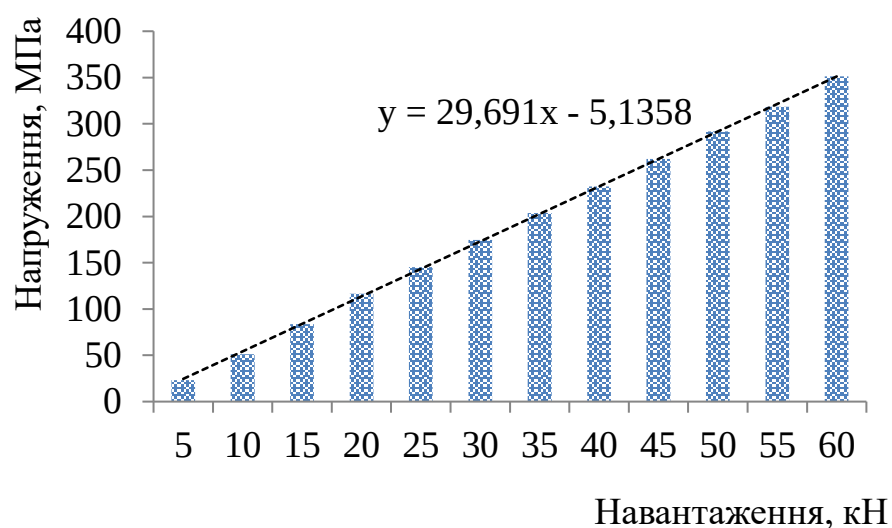


Рисунок 4.15 – Напруження, які зафіксовано групою тензорезисторів №6

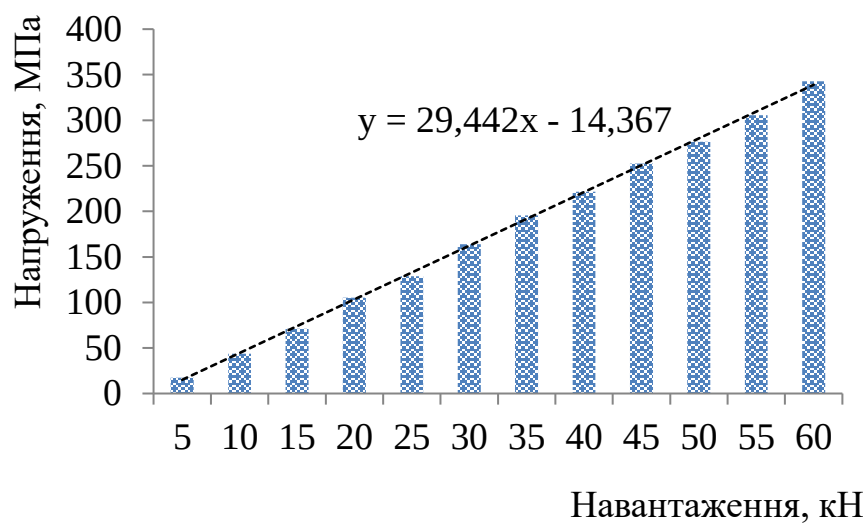


Рисунок 4.16 – Напруження, які зафіксовано групою тензорезисторів №7

Максимальні напруження в кришці люка склали 345,4 МПа. Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки люка та експериментальними дослідженнями наведено на рисунку 4.17.

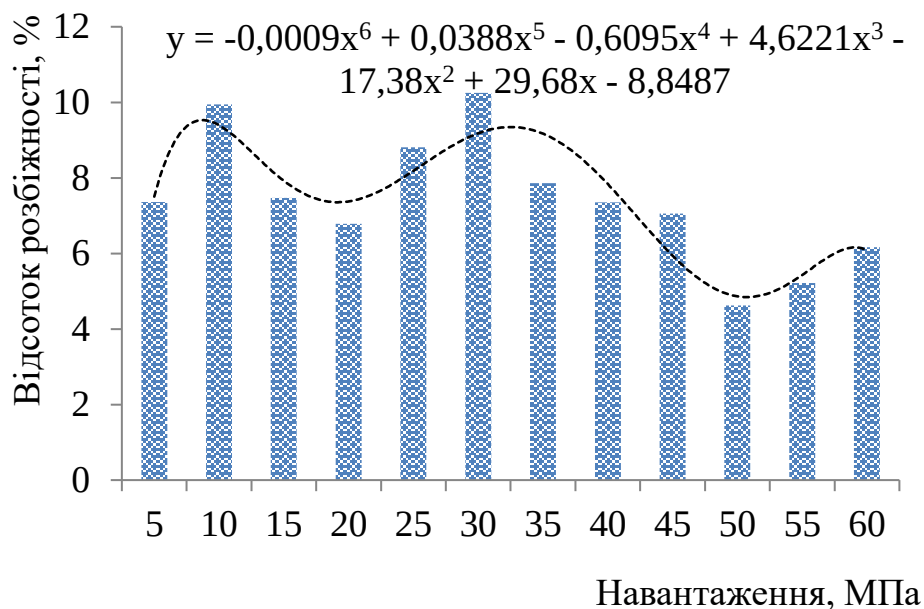


Рисунок 4.17 – Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки люка та експериментальними дослідженнями

З рисунка 4.17 можна зробити висновок, що найбільший відсоток розбіжності складає близько 10% і зафіксований при навантаженні на фітінговий упор у 30 кН.

4.2 Експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від знімного модуля

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 знімного модуля (рисунок 4.18).

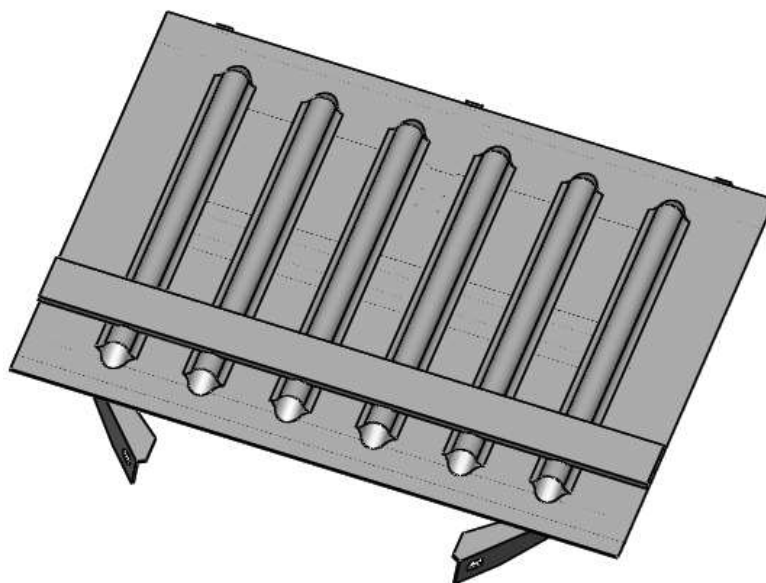


Рисунок 4.18 – Розміщення металевої пластини на кришці люка

Схему розміщення груп тензорезисторів на кришці люка наведено на рисунку 4.19. Знизу полотна також розміщувалися тензорезистори у тих же зонах, що і зверху.

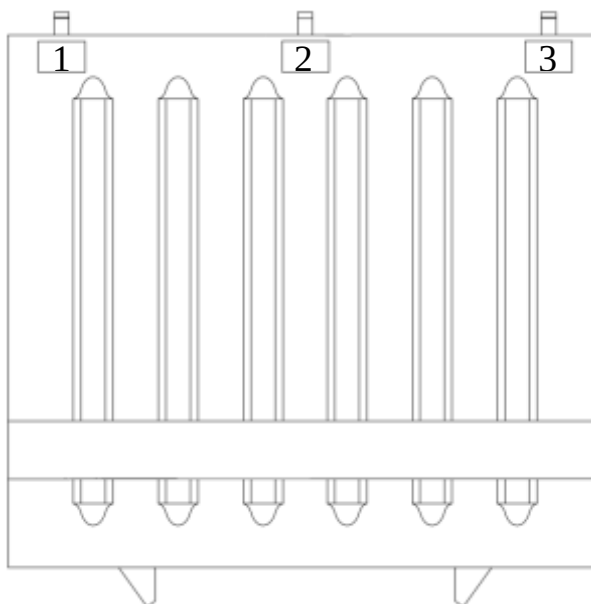


Рисунок 4.19 – Розміщення груп тензорезисторів на кришці люка

1 – перша група; 2 – друга група; 3 – третя група

Це навантаження передавалося через двотавр, який, в свою чергу, сприймав навантаження від домкрата (рисунки 4.20).



Рисунок 4.20 – Навантаження кришки люка від знімного модуля

Найбільші показання деформацій під час випробувань зафіксовано групою тензорезисторів 3 (рисунок 4.21).

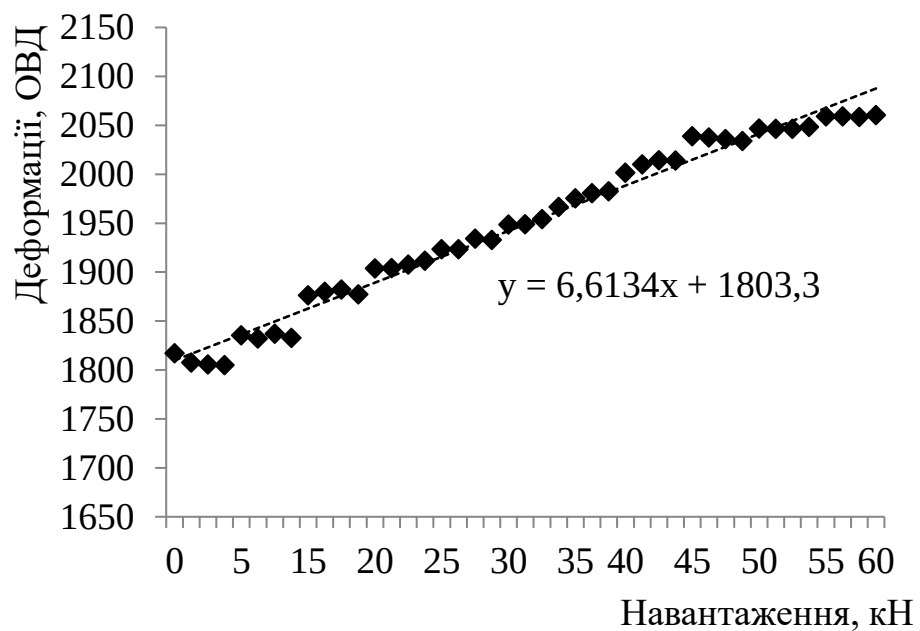


Рисунок 4.21 – Залежність відносних деформацій в кришці люка від вертикального навантаження (група тензорезисторів №3)

З рисунка 4.21 видно, що залежність відносних деформацій від навантаження є лінійною. Напруження, які виникають у кришці люка, наведено в таблиці 4.3, а також на рисунку 4.22.

Таблиця 4.3 – Напруження, які виникають в кришці люка в зоні розміщення групи тензорезисторів №3

Навантаження, кН	Напруження, МПа
5	9,4
10	19,5
15	27,6
20	37,5
25	46,4
30	53,2
35	65,4
40	75,3
45	84,1
50	94,5
55	106,2
60	115,4

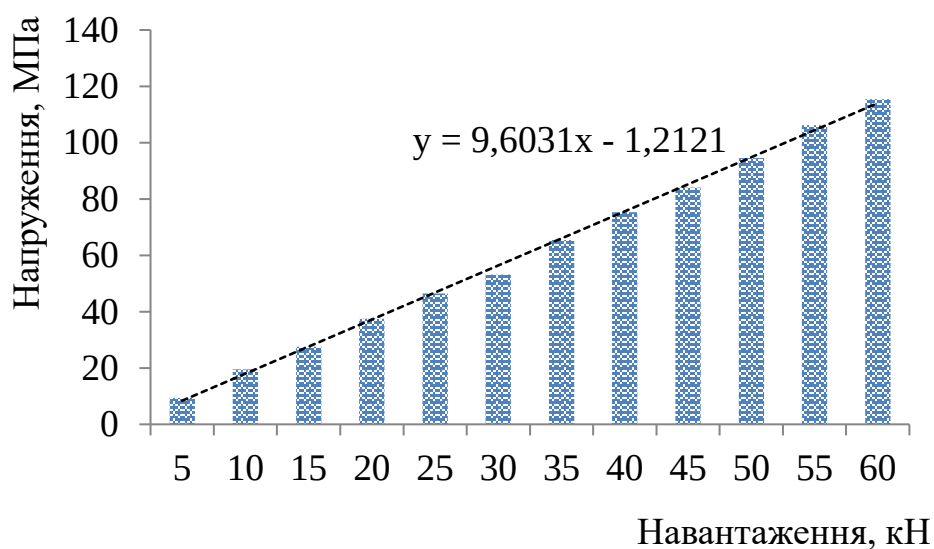


Рисунок 4.22 – Напруження, які зафіксовано групою тензорезисторів №3

Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали 115,4 МПа. Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки

люка (Додаток В) та експериментальними дослідженнями наведено на рисунку 4.23.

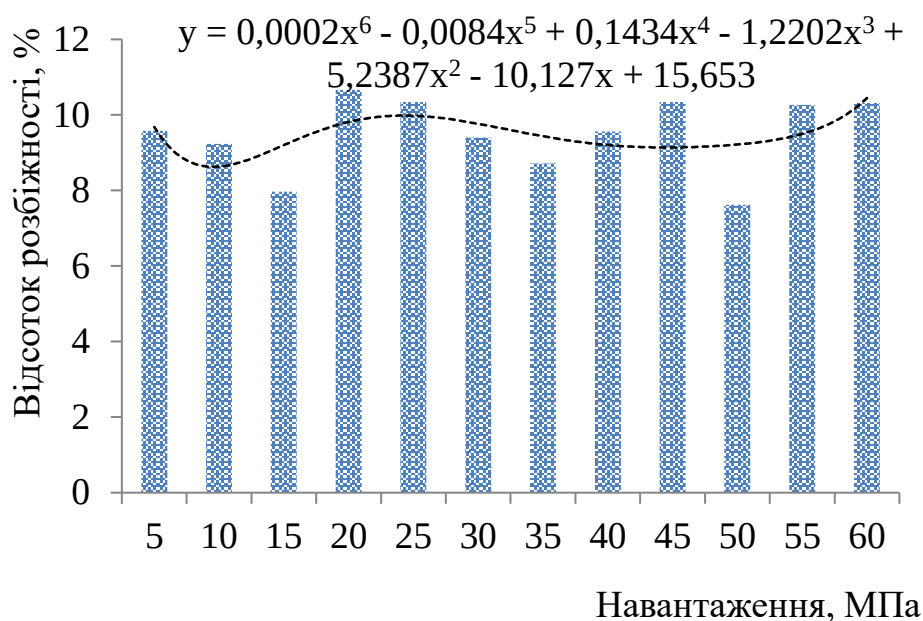


Рисунок 4.23 – Розбіжність між результатами комп’ютерного моделювання міцності кришки люка та експериментальними дослідженнями

З рисунка 4.23 можна зробити висновок, що найбільший відсоток розбіжності складає 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.

4.3 Висновки за розділом 4

1. Проведено експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона при її навантаженні від фітингового упора. Для цього застосовано метод електричного тензометрування. При проведенні досліджень

застосовувалися тензорезистори з базою 10 мм та опором 100 Ом, які попередньо пройшли тарирування. Випробування проведено на спеціальному стенді, який імітує розміщення кришки люка на напіввагоні. Навантаження на фітинговий упор передавалося через металевий стакан, який імітував фітинг контейнера. Величина навантаження контролювалася динамометром. При цьому максимальна величина навантаження прийнята рівною 60 кН, що відповідає максимально завантаженому стану контейнера типорозміру 1СС.

Залежність відносних деформацій від навантаження на кришку люка є лінійною. При цьому максимальні напруження в кришці люка склали 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.

2. Проведено експериментальне дослідження міцності кришки люка напіввагона при її навантаженні від знімного модуля. Максимальні напруження, зафіксовані в кришці люка, склали 115,4 МПа. Найбільший відсоток розбіжності між результатами комп'ютерного моделювання міцності кришки люка і експериментальними дослідженнями склав 10,4% і 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 дозволяє знизити напруження, які виникають в кришці люка у 3 рази у порівнянні із типовою схемою взаємодії фітингів із фітинговими упорами.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ НАПІВВАГОНІВ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ В КОНТЕЙНЕРАХ ЗА ПОРОЖНІМ НАПРЯМКОМ

5.1 Загальні положення

Метою впровадження нової технології використання напіввагонів для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком є зменшення коефіцієнту порожнього пробігу на 9%. Впровадження цієї технології дозволить по-перше, зменшити дефіцит вагонів-платформ, а по-друге – зменшити порожній пробіг напіввагонів завдяки їх завантаженню контейнерами, які необхідно переміщувати у порожньому напрямку слідування напіввагонів. Результатом, що очікується від впровадження нової технології використання напіввагонів є зменшення собівартості залежної частини собівартості вантажних перевезень за рахунок зменшення порожнього пробігу напіввагонів.

Економічний ефект заходу науково-технічного прогресу визначається за розрахунковий період за формулою [1]

$$Еф_T = P_T - B_T, \quad (5.1)$$

де P_T – вартісна оцінка результату здійснення заходу, грн.; B_T – вартісна оцінка витрат на здійснення заходу, грн.; T – розрахунковий період, роки.

За базовий варіант приймаємо звичайні вантажні перевезення за якими у порожньому напрямку напіввагони слідують без вантажу. За новим варіантом приймаємо вантажні перевезення за якими у порожньому напрямку напіввагони слідують з вантажем у контейнерах. В свою чергу, новий варіант передбачає використання або двох контейнерів типу 1СС на один напіввагон, або один

контейнер типу 1АА на один напіввагон. Тоді економічний ефект визначається за формулами:

- для базового варіанту використання напіввагонів

$$E\phi_T^6 = P_T^6 - B_T^6; \quad (5.2)$$

- для нового варіанту використання напіввагонів

$$E\phi_T^H = P_T^H - B_T^H. \quad (5.3)$$

Вартісною оцінкою результату впровадження нової технології використання напіввагонів є доход, який буде отримано від перевезення в них вантажів в контейнерах за порожнім напрямком. Враховуючи те, що обсяг вантажних перевезень при цьому залишається незмінним, приймаємо, що вартісна оцінка за новим варіантом використання напіввагонів P_T^H дорівнює вартісній оцінці за базовим варіантом P_T^6 , тобто $P_T^H = P_T^6$.

Таким чином, економічний ефект від впровадження заходу, який запропоновано, буде визначатися економією витрат в порівнянні з базовим варіантом використання напіввагонів за розрахунковий період, тобто

$$\Delta E\phi_T = E\phi_T^H - E\phi_T^6 = B_T^6 - B_T^H. \quad (5.4)$$

Вартісна оцінка витрат за новим варіантом використання напіввагонів складається з одноразових витрат на їх конструктивне переоснащення для перевезення вантажів у контейнерах та експлуатаційних витрат, що виникають під час здійснення за цією технологією.

Вартісна оцінка витрат за розрахунковий період визначається за формулами:

- за новим варіантом використання напіввагонів

$$B_T^H = \sum_{t=t_{\pi}}^{t=t_k} (K_t \times \alpha_t + E_t^H \times \alpha_t), \quad (5.5)$$

- за новим варіантом використання напіввагонів

$$B_T^6 = \sum_{t=t_{\pi}}^{t=t_K} (E_t^6 \cdot \alpha_t), \quad (5.6)$$

де E_t^6, E_t^H – експлуатаційні витрати відповідно, за базовим та новим варіантом використання напіввагонів в рік t розрахункового періоду, грн.; K_t – одноразові витрати на конструктивне переоснащення напіввагонів для перевезення вантажів у контейнерах в рік t розрахункового періоду, грн.; α_t – коефіцієнт дисконтування відповідний року t розрахункового періоду; t_{π}, t_K – відповідно, початковий та кінцевий рік розрахункового періоду.

Таким чином, економічний ефект від впровадження нової технології використання напіввагонів для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком визначається за формулою

$$\Delta E\Phi_T = \sum_{t=t_{\pi}}^{t=t_K} (E_t^6 \times \alpha_t) - \sum_{t=t_{\pi}}^{t=t_K} (K_t \times \alpha_t + E_t^H \times \alpha_t) \quad (5.7)$$

або

$$\Delta E\Phi_T = \sum_{t=t_{\pi}}^{t=t_K} [(E_t^6 - E_t^H) \times \alpha_t - K_t \times \alpha_t]. \quad (5.8)$$

Перший доданок в цій формулі уявляє собою економію експлуатаційних витрат в рік t розрахункового періоду з урахуванням дисконтування, другий доданок суму одноразових витрат на конструктивне переоснащення напіввагонів для перевезення вантажів у контейнерах в рік t розрахункового періоду з урахуванням дисконтування.

Коефіцієнт дисконтування відповідний року t розрахункового періоду визначається за формулою

$$\alpha_t = (1 + E_n)^{t_p - t}, \quad (5.9)$$

де t_p – розрахунковий рік, приймаємо перший рік; t – рік, витрати якого приводяться до розрахункового року; E_n – норма дисконту, приймаємо $E_n = 0,1$.

Таким чином, в розрахунках коефіцієнт дисконтування відповідний року t розрахункового періоду визначається за формулою

$$\alpha_t = 1,1^{1-t}. \quad (5.10)$$

В загальному випадку експлуатаційні витрати в рік t розрахункового періоду складаються з залежної від обсягів вантажних перевезень частини $E_{зал_t}$ та незалежної від обсягів вантажних перевезень частини $E_{незал_t}$, тобто

$$E_t = E_{зал_t} + E_{незал_t}. \quad (5.11)$$

Для базового варіанта використання напіввагонів маємо

$$E_t^б = E_{зал_t}^б + E_{незал_t}^б. \quad (5.12)$$

Для нового варіанта використання напіввагонів маємо

$$E_t^н = E_{зал_t}^н + E_{незал_t}^н. \quad (5.13)$$

Очевидно, що незалежна частина за обома варіантами використання напіввагонів однакова, тобто $E_{незал_t}^н = E_{незал_t}^б$. Тоді формула (5.8) приймає вид

$$\Delta EФ_T = \sum_{t=t_n}^{t=t_k} [(E_{зал_t}^б - E_{зал_t}^н) \times \alpha_t - K_t \times \alpha_t] \quad (5.14)$$

або

$$\Delta E\phi_T = \sum_{t=t_n}^{t=t_k} [\Delta E_{\text{зал}_t} \times \alpha_t - K_t \times \alpha_t], \quad (5.15)$$

де $\Delta E_{\text{зал}_t}$ – економія залежної частини експлуатаційних витрат в рік t розрахункового періоду, грн.

При незмінній річній економії залежної частини експлуатаційних витрат за роками розрахункового періоду $\Delta E_{\text{зал}_t} = \Delta E_{\text{зал}} = \text{Const}$ та значенню коефіцієнту дисконтування одноразових витрат $\alpha_t = 1,1^{1-t} = 1$ формула (5.15) приймає вид

$$\Delta E\phi_T = \Delta E_{\text{зал}} \times \sum_{t=1}^{t=t_k} 1,1^{1-t} - K. \quad (5.16)$$

При розрахунковому періоді $T=10$ років

$$\sum_{t=1}^{t=10} 1,1^{1-t} = 6,759.$$

Тоді формула (5.16) приймає вид

$$\Delta E\phi_T = 6,759 \times \Delta E_{\text{зал}} - K. \quad (5.17)$$

Таким чином, економічний ефект від впровадження заходу, який запропоновано, буде визначатися річною економією залежної частини експлуатаційних витрат в порівнянні з базовим варіантом використання напіввагонів $\Delta E_{\text{зал}}$ та одноразовими витрат на конструктивне їх переоснащення для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком K .

Період повернення одноразових витрат $T_{\text{п.о.в}}$ визначається моментом часу, при якому виконується умова

$$\Delta E_{\text{зал}} \times \sum_{t=1}^{t=t_{\text{п.о.в}}} 1,1^{1-t} \geq K, \quad (5.18)$$

де $t_{\text{п.о.в}}$ – рік розрахункового періоду, в якому накопичена сума економії залежної частини експлуатаційних витрат з урахуванням дисконтування перевищить суму одноразових витрат.

5.2 Визначення одноразових витрат на конструктивне переоснащення напіввагонів для перевезення контейнерів

У складі одноразових витрат на конструктивне переоснащення напіввагонів для перевезення контейнерів враховуємо витрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки (НДДКР) і витрати на відповідне технічне переоснащення напіввагонів (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Склад та величина одноразових витрат на підготовку напіввагонів для перевезення контейнерів

Призначення одноразових витрат	Сума одноразових витрат, тис. грн.
1. Науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки	800
2. Технічне переоснащення напіввагона	75

Одноразові витрати на переоснащення робочого парку напіввагонів під перевезення вантажів у контейнерах визначається за формулою

$$K_{\text{пв}} = K_{\text{НДДКР}} + K_{\text{т.п}}^{\text{од}} \times \Delta n_{\text{в}}^{\text{п.в}}, \quad (5.19)$$

де $K_{\text{т.п}}^{\text{од}}$ – одноразові витрати на технічне переоснащення напіввагона, тис. грн.;

$\Delta n_{\text{в}}^{\text{п.в}}$ – робочий парк напіввагонів, який використовується для виконання обсягу перевезень вантажів в контейнерах за порожнім напрямком, ваг.; $K_{\text{нддкр}}$ – одноразові витрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки, грн.

5.3 Визначення впливу коефіцієнту порожнього пробігу вагонів на кількісні та якісні показники використання рухомого складу

Відносна зміна коефіцієнту порожнього пробігу вагонів визначається за формулою

$$\delta \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}} = \frac{\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}}}{\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}}} \times 100\%, \quad (5.20)$$

де $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}}$, $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}}$ – коефіцієнт порожнього пробігу напіввагонів відповідно за базовим та новим варіантом перевезень.

Звідси

$$\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}} = \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1 \right). \quad (5.21)$$

Виходячи з того, що при новому використанні напіввагонів зменшення порожнього пробігу на величину $\Delta \sum nS$ приведе до збільшення навантаженого пробігу напіввагонів на цю ж величину, отримаємо формулу для визначення коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів за новим варіантом їх використання

$$\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}} = \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \Delta \sum nS}{\sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}} + \Delta \sum nS} \quad (5.22)$$

де $\sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}$, $\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}}$ – пробіг напіввагонів відповідно, навантажених та порожніх за базовим варіантом перевезень, ваг-км.

Звідси

$$\Delta \sum nS = \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}} \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}}}. \quad (5.23)$$

З урахуванням формули (5.21) формула (5.23) приймає вид

$$\Delta \sum nS = \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}. \quad (5.24)$$

Таким чином, маємо:

- пробіг навантажених напіввагонів за новим варіантом їх використання при відносній зміні коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$, що очікується

$$\sum nS_{\text{нав}}^{\text{н}} = \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}} + \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}; \quad (5.25)$$

- пробіг порожніх напіввагонів за новим варіантом їх використання при відносній зміні коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$, що очікується

$$\sum nS_{\text{пор}}^{\text{н}} = \sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}. \quad (5.26)$$

У зв'язку із відсутністю статистичної інформації щодо пробігів навантажених та порожніх напіввагонів зробимо припущення про їх пропорційність у відповідності до питомої ваги напіввагонів в структурі робочого парку вагонів АТ “Укрзалізниця” за звітний період. За цих умов:

- пробіг навантажених напіввагонів за базовим варіантом їх використання

$$\sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}} = \frac{\gamma_{\text{пв}}^{\text{зв}} \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{зв}}}{100}; \quad (5.27)$$

- пробіг порожніх напіввагонів за базовим варіантом їх використання

$$\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} = \frac{\gamma_{\text{пв}}^{\text{зв}} \times \sum nS_{\text{пор}}^{\text{зв}}}{100}. \quad (5.28)$$

де $\gamma_{\text{пв}}^{\text{зв}}$ – відсоток напіввагонів в структурі робочого парку АТ «Укрзалізниця» за звітний період, %.

Обсяг перевезень вантажів у контейнерах з використанням напіввагонів за порожнім напрямком визначається за формулою

$$\Delta \sum Pl_{\text{нетто}}^{\text{конт}} = q_{\text{нетто}}^{\text{конт}} \times \Delta \sum nS \quad (5.29)$$

або, враховуючи формулу (5.24), отримаємо:

$$\Delta \sum Pl_{\text{нетто}}^{\text{конт}} = q_{\text{нетто}}^{\text{конт}} \times \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}, \quad (5.30)$$

де $q_{\text{нетто}}^{\text{конт}}$ – маса вантажу, що допускається для перевезення в контейнері, т. нетто.

Технічну характеристику контейнерів з урахуванням того, що на один напіввагон може бути завантажено або два контейнери типу 1СС, або один типу 1АА наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Технічна характеристика контейнерів

Тип контейнера	Власна вага, т. тари	Вантажопідйомність, т	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м
1СС	2×2,28=4,56	2×28,2=56,4	2×5,896	2,35	2,393
1АА	3,7	28,8	12,032	2,35	2,393

Залежність обсягу перевезень вантажів за порожнім напрямком при відносній зміні коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$, що очікується, визначається за формулами:

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1СС

$$\Delta \sum Pl_{\text{нетто}}^{1\text{СС}} = 56,4 \times \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}; \quad (5.31)$$

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1АА

$$\Delta \sum Pl_{\text{нетто}}^{1\text{АА}} = 28,8 \times \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}. \quad (5.32)$$

Робочий парк напіввагонів для перевезення вантажів у контейнерах за порожнім напрямком визначається за формулою

$$\Delta n_B = \frac{\Delta \sum Pl_{\text{нетто}}^{\text{конт}}}{365 \times \Pi_B^{\text{зв}}}, \quad (5.33)$$

де $\Pi_B^{\text{зв}}$ – середньодобова продуктивність вагона робочого парку АТ “Укрзалізниця” за звітний період, ткм нетто.

Залежність робочого парку напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком при відносній зміні коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$, що очікується, визначається за формулами:

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1СС

$$\Delta n_B^{1CC} = \frac{56,4}{365 \times \Pi_B^{\text{зв}}} \times \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}; \quad (5.34)$$

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1АА

$$\Delta n_B^{1AA} = \frac{28,8}{365 \times \Pi_B^{\text{зв}}} \times \frac{\sum nS_{\text{пор}}^{\text{б}} - \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right) \times \sum nS_{\text{нав}}^{\text{б}}}{1 + \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} \times \left(\frac{\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}}{100} + 1\right)}. \quad (5.35)$$

Використання контейнерів для перевезення вантажів у напіввагонах обумовлює збільшення загальної тари вагонів, що, в свою чергу, є фактором збільшення залежної частини собівартості і, як наслідок, збільшення експлуатаційних витрат в порівнянні з базовим варіантом використання напіввагонів.

Маса тари напіввагона за типами навантажених контейнерів з урахуванням їх технічних характеристик (таблиця 5.2) складає:

- з двома контейнерами типу 1СС

$$q^{\text{пв}} = q_{\text{тари}}^{\text{пв}} + 2 \times q_{\text{тари}}^{1CC} = 24,5 + 2 \times 2,28 = 29,06 \text{ т тари};$$

- з одним контейнером типу 1АА

$$q^{пв} = q_{тари}^{пв} + q_{тари}^{1АА} = 24,5 + 3,7 = 28,2 \text{ т тари.}$$

де $q_{тари}^{пв}$, $q_{тари}^{1СС}$, $q_{тари}^{1АА}$ – маса тари відповідно, напіввагона, контейнеру за типом 1СС та контейнеру за типом 1АА, т. тари.

Середня маса тари напіввагонів робочого парку визначається за формулою

$$q_{сер} = \frac{q_T^{п.в} \times (n_B^{п.в} - \Delta n_B) + (q_T^{п.в} + q_T^{конт}) \times \Delta n_B}{n_B^{п.в}}, \quad (5.36)$$

де $n_B^{п.в}$ – робочий парк напіввагонів; $q_T^{п.в}$, $q_T^{конт}$ – тара відповідно, напіввагона та контейнера, т тари.

Таким чином, середня маса тари напіввагонів робочого парку визначається за формулами:

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1СС

$$q_{сер}^{1СС} = \frac{24,5 \times (n_B^{п.в} - \Delta n_B^{1СС}) + 29,06 \times \Delta n_B^{1СС}}{n_B^{п.в}}; \quad (5.37)$$

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1АА

$$q_{сер}^{1АА} = \frac{24,5 \times (n_B^{п.в} - \Delta n_B^{1АА}) + 28,2 \times \Delta n_B^{1АА}}{n_B^{п.в}}. \quad (5.38)$$

Після перетворень маємо середню масу тари напіввагонів робочого парку:

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1СС

$$q_{\text{сер}}^{1CC} = 24,5 + 4,56 \times \frac{\Delta n_B^{1CC}}{n_B^{\text{п.в}}}; \quad (5.39)$$

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1АА

$$q_{\text{сер}}^{1AA} = 24,5 + 3,7 \times \frac{\Delta n_B^{1AA}}{n_B^{\text{п.в}}}. \quad (5.40)$$

В таблиці 5.3 наведено звітні кількісні та якісні показники вантажних перевезень АТ “Укрзалізниця” станом на 2021 рік. Дані наведено у відповідності до “Довідника основних показників роботи регіональних філій АТ “Укрзалізниця” (2006-2021 рр.), 2022 рр.”

Таблиця 5.3 – Звітні кількісні та якісні показники вантажних перевезень АТ “Укрзалізниця” станом на 2021 рік

Найменування показника	Значення показника
1	2
Експлуатаційний вантажообіг, млн. ткм нетто	174178,4
Питома вага напіввагонів в структурі робочого парку вагонів, %	56,1
Загальний пробіг вагонів, тис. ваг-км	4720774
у тому числі:	
- навантажених	2738447
- порожніх	1982327
Коефіцієнт порожнього пробігу вагонів	0,724
Робочий парк вагонів	103649
Середньодобова продуктивність вагона робочого парку, ткм нетто	4604,0
Кількість перевезених тонн вантажу, млн. т нетто	314
Середньодобова продуктивність електровоза, тис. ткм брутто	1338
Середньодобова продуктивність тепловоза, тис. ткм брутто	823
Середньодобовий пробіг електровоза, км.	475
Середньодобовий пробіг тепловоза, км.	394
Середня маса поїзда, т. брутто	3226
Середнє статичне навантаження вагона, т.	64,44
Дільнична швидкість, км/год.	35,5
Частка електричної тяги в загальному обсязі перевезень	0,864
Частка тепловозної тяги в загальному обсязі перевезень	0,136

З урахуванням звітних показників використання рухомого складу та вище наведених формул було отримано наступні апроксимуючі залежності середньої маси тари напіввагонів робочого парку при відносній зміні коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$, що очікується, за новим варіантом використання напіввагонів:

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1СС

$$q_{\text{сер}}^{1\text{CC}} = 24,499 - 0,0177 \times \delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}; \quad (5.41)$$

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1АА

$$q_{\text{сер}}^{1\text{AA}} = 24,5 - 0,0073 \times \delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}. \quad (5.42)$$

При $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}} = -9$ маємо:

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1СС

$$q_{\text{сер}}^{1\text{CC}} = 24,499 - 0,0177 \times (-9) = 24,66 \text{ т. тари};$$

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1АА

$$q_{\text{сер}}^{1\text{AA}} = 24,5 - 0,0073 \times (-9) = 24,57 \text{ т. тари}.$$

5.4 Розрахунок річної економії залежної частини експлуатаційних витрат від використання напіввагонів для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком

5.4.1 Розрахунок вимірників експлуатаційної роботи

За наведеними в таблиці 5.3 кількісними та якісними показниками вантажних перевезень АТ “Укрзалізниця” було визначено якісні показники використання рухомого складу станом на 2021 рік, які необхідні для подальших розрахунків за наступними формулами.

Динамічне навантаження вагона робочого парку визначається за формулою

$$P_{\text{дин}}^{\text{роб}} = \frac{\sum Pl_{\text{нетто}}}{\sum nS_{\text{нав}} + \sum nS_{\text{пор}}}, \quad (5.43)$$

де $\sum Pl_{\text{нетто}}$ – експлуатаційний вантажообіг, ткм. нетто;

$\sum nS_{\text{нав}}$, $\sum nS_{\text{пор}}$ – пробіг вагонів відповідно навантажений та порожній, ваг-км.

Динамічне навантаження навантаженого вагона визначається за формулою

$$P_{\text{дин}}^{\text{нав}} = \frac{\sum Pl_{\text{нетто}}}{\sum nS_{\text{нав}}}. \quad (5.44)$$

Середньодобовий пробіг вагона визначається за формулою

$$S_{\text{в}} = \frac{P_{\text{в}}}{n_{\text{р}}}, \quad (5.45)$$

де $P_{\text{в}}$ – середньодобова продуктивність вагона, ткм нетто; $n_{\text{р}}$ – робочий парк вагонів, ваг.

Коефіцієнт допоміжного пробігу електровоза визначається за формулою

$$\beta_{\text{доп}}^{\text{ел}} = 1 - \frac{P_{\text{ел}}}{Q_{\text{бр}} \times S_{\text{ел}}}, \quad (5.46)$$

де $Q_{\text{бр}}$ – середня маса поїзда брутто, т брутто; $P_{\text{ел}}$ – середньодобова продуктивність електровоза, ткм брутто $S_{\text{ел}}$ – середньодобовий пробіг електровоза, км.

Коефіцієнт допоміжного пробігу тепловоза визначається за формулою

$$\beta_{\text{доп}}^{\text{т}} = 1 - \frac{P_{\text{т}}}{Q_{\text{бр}} \cdot S_{\text{т}}}, \quad (5.47)$$

де $S_{\text{т}}$ – середньодобовий пробіг тепловоза, км; $P_{\text{т}}$ – середньодобова продуктивність тепловоза, ткм брутто.

Середня відстань перевезення вантажу визначається за формулою

$$L_{\text{пер}} = \frac{\sum P l_{\text{нетто}}}{\sum Q_{\text{нетто}}}, \quad (5.48)$$

де $Q_{\text{нетто}}$ – кількість перевезених тонн вантажу, т нетто.

Довжина порожнього поїзду в кількості вагонів визначається за формулою

$$n_{\text{пор}} = \frac{L_{\text{ст}} - l_{\text{л}}}{l_{\text{в}}}, \quad (5.49)$$

де $L_{\text{ст}}$ – довжина приймально-відправних колій, м.; $l_{\text{л}}$, $l_{\text{в}}$ – довжина відповідно, локомотива та вагона, м.

Результати розрахунку кількісних та якісних показників використання рухомого складу за звітними показниками наведено у таблиці 5.4.

Для базового та нового варіантів використання напіввагонів приймаємо наступні вихідні дані для розрахунку вимірників експлуатаційної роботи (таблиця 5.5).

Таблиця 5.4 – Результати розрахунку кількісних та якісних показників використання рухомого складу

Найменування показника	Значення показника
Коефіцієнт порожнього пробігу	0,724
Пробіг навантажених напіввагонів, тис. ваг-км	1536268,77
Пробіг порожніх напіввагонів, тис. ваг-км	1112085,45
Динамічне навантаження вагона робочого парку, т	36,9
Динамічне навантаження навантаженого вагона, т	63,6
Середньодобовий пробіг вагона, км./добу	124,8
Коефіцієнт допоміжного пробігу локомотивів до пробігу в голові поїздів:	
- тепловозна тяга	0,353
- електровозна тяга	0,127
Середня відстань перевезення вантажу, км	554,7

Таблиця 5.5 – Вихідні дані для розрахунку вимірників експлуатаційної роботи

Найменування показника	Значення показника
Середня маса тари напіввагона, т	24,5
Довжина локомотива, м	50
Довжина вагона, м	15
Середня довжина приймально-відправних колій станцій, м	870
Довжина порожнього поїзда, вагонів	54,7
Маса локомотива, т:	
- тепловоза	276
- електровоза	184
Питома витрата палива на вимірник 10000 ткм. брутто	43,1
Питома витрата електроенергії на вимірник 10000 ткм. брутто	124

5.4.2 Розрахунок залежної частини собівартості за варіантами використання напіввагонів

В загальному випадку залежність залежної частини собівартості 1000 ткм нетто вантажних перевезень від коефіцієнту порожнього пробігу вагонів має вид

$$C_{1000 \text{ ткм нетто}} = b + a \cdot \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}. \quad (5.50)$$

де a , b – коефіцієнти рівняння.

Для визначення коефіцієнтів a та b було застосовано метод одиничних витратних ставок. Результати розрахунку коефіцієнтів a та b для базового варіанту використання вагонів наведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Результати розрахунку коефіцієнтів a та b для базового варіанту використання вагонів

Найменування вимірника	Сума витрат на 1000 ткм нетто, грн.:	
	що не залежать від $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$	що залежать від $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$
1	2	3
Всього вагоно-кілометри	20,75	20,75
Вагоно-години	5,44	5,44
Всього локомотиво-кілометри з урахуванням допоміжного пробігу:		
тепловозна тяга	1,49	1,26
електровозна тяга	3,85	3,26
Локомотиво-години, з якими пов'язані витрати на технічне обслуговування та ремонт локомотиворемонтної бази:		
тепловозна тяга	2,17	1,84
електровозна тяга	7,10	6,02
Всього тонно-кілометрів брутто:		
тепловозна тяга	172,69	49,81
електровозна тяга	131,90	41,28

Продовження таблиці 5.6

1	2	3
Бригадо-години локомотивних бригад		
тепловозна тяга	7,16	6,06
електровозна тяга	31,37	26,59
Кілограми умовного палива на тягу поїздів	27,99	7,78
Кіловат-години електроенергії на тягу поїздів	24,93	6,93
Локомотиво-години маневрових локомотивів	17,40	
Кількість вантажних відправлень	8,65	
Кількість відправлених (завантажених) вагонів	21,29	
Коефіцієнт рівняння b	484,194	
Коефіцієнт рівняння a		177,036

Таким чином, за базовим варіантом використання вагонів рівняння залежності залежної частини собівартості 1000 ткм нетто вантажних перевезень від коефіцієнту порожнього пробігу вагонів маємо

$$E_{1000 \text{ ткм нетто}}^{\text{зал.б}} = 484,194 + 177,036 \cdot \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}}. \quad (5.51)$$

де $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}}$ – коефіцієнт порожнього пробігу вагонів за базовим варіантом використання напіввагонів.

При значенні коефіцієнту порожнього пробігу вагонів за звітний період $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.б}} = 0,724$ залежна частина собівартості 1000 ткм нетто вантажних перевезень складає

$$E_{1000 \text{ ткм нетто}}^{\text{зал.б}} = 484,194 + 177,036 \cdot 0,724 = 612,37 \text{ грн.}$$

Річний експлуатаційний вантажообіг за звітний період складає 174178,4 млн. ткм нетто. Тоді залежна частина річних експлуатаційних витрат за базовим варіантом використання вагонів складе

$$E_{\text{зал}}^{\text{б}} = \frac{612,37 \cdot 174178,4}{1000} = 106661,05 \text{ млн. грн.}$$

Залежна частина річних експлуатаційних витрат за базовим варіантом використання вагонів в розрахунку на один вагон робочого парку складе

$$e_{\text{зал}}^{\text{б}} = \frac{106661,05}{103649 \cdot 1000} = 1029,06 \text{ тис. грн.}$$

Результати розрахунку коефіцієнтів а та б для варіанту використання напіввагонів під перевезення вантажів в контейнерах за типом 1СС наведено у таблиці 5.7, за типом 1АА – у таблиці 5.8.

Таблиця 5.7 – Результати розрахунку коефіцієнтів а та б для варіанту використання напіввагонів під перевезення вантажів в контейнерах за типом 1СС

Найменування вимірника	Сума витрат на 1000 ткм нетто, грн.:	
	що не залежать від $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$	що залежать від $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$
1	2	3
Всього вагоно-кілометри	20,75	20,75
Вагоно-години	5,44	5,44
Всього локомотиво-кілометри з урахуванням допоміжного пробігу:		
тепловозна тяга	1,49	1,27
електровозна тяга	3,85	3,27
Локомотиво-години, з якими пов'язані витрати на технічне обслуговування та ремонт локомотиворемонтної бази:		
тепловозна тяга	2,18	1,84
електровозна тяга	7,12	6,03
Всього тонно-кілометрів брутто:		
тепловозна тяга	172,99	50,11
електровозна тяга	132,13	41,52
Бригадо-години локомотивних бригад		
тепловозна тяга	7,17	6,08
електровозна тяга	31,43	26,64

Продовження таблиці 5.7

1	2	3
Кілограми умовного палива на тягу поїздів	28,04	7,83
Кіловат-години електроенергії на тягу поїздів	24,98	6,98
Локомотиво-години маневрових локомотивів	17,29	
Кількість вантажних відправлень	8,65	
Кількість відправлених (завантажених) вагонів	21,29	
Коефіцієнт рівняння b	484,805	
Коефіцієнт рівняння a		177,766

Таблиця 5.8 – Результати розрахунку коефіцієнтів a та b для варіанту використання напіввагонів під перевезення вантажів в контейнерах за типом 1АА

Найменування вимірника	Сума витрат на 1000 ткм нетто, грн.:	
	що не залежать від $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$	що залежать від $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$
1	2	3
Всього вагоно-кілометри	20,75	20,75
Вагоно-години	5,44	5,44
Всього локомотиво-кілометри з урахуванням допоміжного пробігу:		
тепловозна тяга	1,49	1,27
електровозна тяга	3,85	3,26
Локомотиво-години, з якими пов'язані витрати на технічне обслуговування та ремонт локомотиворемонтної бази:		
тепловозна тяга	2,17	1,84
електровозна тяга	7,11	6,03
Всього тонно-кілометрів брутто:		
тепловозна тяга	172,81	49,93
електровозна тяга	131,99	41,38
Бригадо-години локомотивних бригад		
тепловозна тяга	7,16	6,07
електровозна тяга	31,40	26,61
Кілограми умовного палива на тягу поїздів	28,01	7,80
Кіловат-години електроенергії на тягу поїздів	24,95	6,95

Продовження таблиці 5.8

1	2	3
Локомотиво-години маневрових локомотивів	17,29	
Кількість вантажних відправлень	8,65	
Кількість відправлених (завантажених) вагонів	21,29	
Коефіцієнт рівняння b	484,377	
Коефіцієнт рівняння a		177,338

Таким чином, за новим варіантом використання напіввагонів маємо наступні рівняння залежності залежної частини собівартості 1000 ткм нетто вантажних перевезень від коефіцієнту порожнього пробігу вагонів:

- при використанні контейнерів за типом 1СС

$$E_{1000 \text{ ткм нетто}}^{\text{зал.1СС}} = 484,805 + 177,766 \cdot \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}}; \quad (5.52)$$

- при використанні контейнерів за типом 1АА

$$E_{1000 \text{ ткм нетто}}^{\text{зал.1АА}} = 484,377 + 177,338 \cdot \alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}}. \quad (5.53)$$

де $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}}$ – коефіцієнт порожнього пробігу вагонів за новим варіантом використання напіввагонів.

Враховуючи рівняння (5.21) щодо залежності $\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}}$ від $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}}$ отримаємо значення коефіцієнту порожнього пробігу вагонів за новим варіантом використання напіввагонів при $\delta\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор}} = -9\%$.

$$\alpha_{\text{нав}}^{\text{пор.н}} = 0,724 \cdot \left(\frac{-9}{100} + 1 \right) = 0,659.$$

Тоді залежна частина собівартості 1000 ткм нетто вантажних перевезень складає:

- при використанні контейнерів за типом 1СС

$$E_{1000 \text{ ткм нетто}}^{\text{Зал.1СС}} = 484,805 + 177,766 \cdot 0,659 = 601,95 \text{ грн.};$$

- при використанні контейнерів за типом 1АА

$$E_{1000 \text{ ткм нетто}}^{\text{Зал.1АА}} = 484,377 + 177,338 \cdot 0,659 = 601,24 \text{ грн.}$$

Річний експлуатаційний вантажообіг, який здійснюється робочим парком напіввагонів у порожньому напрямку визначається за формулами (5.31) та (5.32) і складає:

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1СС

$$\Delta \sum P_{\text{нетто}}^{1\text{СС}} = 56,4 \cdot \frac{1112085,45 - 0,724 \cdot \left(\frac{-9}{100} + 1\right) \cdot 1536268,77}{1 + 0,724 \cdot \left(\frac{-9}{100} + 1\right)} = 3397,591 \text{ млн. ткм нетто};$$

- при перевезенні вантажів у контейнерах за типом 1АА

$$\Delta \sum P_{\text{нетто}}^{1\text{АА}} = 28,8 \cdot \frac{1112085,4 - 0,724 \cdot \left(\frac{-9}{100} + 1\right) \cdot 1536268,8}{1 + 0,724 \cdot \left(\frac{-9}{100} + 1\right)} = 1734,939 \text{ млн. ткм нетто.}$$

Тоді залежна частина річних експлуатаційних витрат за варіантами використання напіввагонів складає:

- при використанні контейнерів за типом 1СС

$$E_{\text{зал}}^{1\text{CC}} = \frac{601,95 \cdot 3397,591}{1000} = 2045,18 \text{ млн. грн.};$$

- при використанні контейнерів за типом 1AA

$$E_{\text{зал}}^{1\text{AA}} = \frac{601,24 \cdot 1734,939}{1000} = 1043,115 \text{ млн. грн.}$$

Робочий парк напіввагонів, який використовуються для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком визначається за формулою (33) і складає

- при використанні контейнерів за типом 1CC

$$\Delta n_{\text{пв}}^{1\text{CC}} = \frac{3397,591 \cdot 10^6}{365 \cdot 4604,0} = 2022 \text{ ваг.};$$

- при використанні контейнерів за типом 1AA

$$\Delta n_{\text{пв}}^{1\text{AA}} = \frac{1734,939 \cdot 10^6}{365 \cdot 4604,0} = 1032 \text{ ваг.}$$

Залежна частина річних експлуатаційних витрат за базовим варіантом використання напіввагонів визначається за формулами:

- при використанні контейнерів за типом 1CC

$$E_{\text{зал}}^{6.1\text{CC}} = e_{\text{зал}}^6 \cdot \Delta n_{\text{пв}}^{1\text{CC}}; \quad (5.54)$$

- при використанні контейнерів за типом 1AA

$$E_{\text{зал}}^{6.1\text{AA}} = e_{\text{зал}}^6 \cdot \Delta n_{\text{пв}}^{1\text{AA}}; \quad (5.55)$$

і складає:

- при використанні контейнерів за типом 1СС

$$E_{\text{зал}}^{6.1\text{CC}} = \frac{1029,06 \cdot 2022}{1000} = 2080,759 \text{ млн. грн.};$$

- при використанні контейнерів за типом 1АА

$$E_{\text{зал}}^{6.1\text{AA}} = \frac{1029,06 \cdot 1032}{1000} = 1061,99 \text{ млн. грн.}$$

Таким чином, річна економія залежної частини експлуатаційних витрат на робочий парк напіввагонів, які використовуються для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком складає:

- при використанні контейнерів за типом 1СС

$$\Delta E_{\text{зал}}^{1\text{CC}} = 2080,759 - 2045,18 = 35,579 \text{ млн. грн.};$$

- при використанні контейнерів за типом 1АА

$$\Delta e_{\text{зал}}^{1\text{AA}} = 1061,99 - 1043,115 = 18,875 \text{ млн. грн.}$$

5.5 Розрахунок економічного ефекту від використання напіввагонів для перевезення вантажів у контейнерах за порожнім напрямком

В підрозділі 5.1 було наведено загальні положення щодо розрахунку економічного ефекту. Приймаємо наступні вихідні дані.

Одноразові витрати на робочий парк напіввагонів, які використовуються для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком визначаються за формулою (5.19) і складають:

- при використанні контейнерів за типом 1СС

$$K_{\text{пв}}^{1\text{СС}} = 0,8 + 0,075 \cdot 2022 = 152,45 \text{ млн. грн.}$$

- при використанні контейнерів за типом 1АА

$$K_{\text{пв}}^{1\text{АА}} = 0,8 + 0,075 \cdot 1032 = 78,2 \text{ млн. грн.}$$

Річна економія залежної частини експлуатаційних витрат на робочий парк напіввагонів, які використовуються для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком складає:

- при використанні контейнерів за типом 1СС – 35,579 млн. грн.;
- при використанні контейнерів за типом 1АА – 18,875 млн. грн.

Розрахунковий період складає 10 років.

Економічний ефект за розрахунковий період (10 років) у відповідності до формули (5.17) складає:

- при використанні контейнерів за типом 1СС

$$\Delta E\Phi_{10}^{1\text{СС}} = 6,759 \cdot 35,579 - 152,45 = 88,028 \text{ млн. грн.}$$

- при використанні контейнерів за типом 1АА

$$\Delta E\Phi_{10}^{1\text{АА}} = 6,759 \cdot 18,875 - 78,2 = 49,376 \text{ млн. грн.}$$

5.6 Визначення періоду повернення одноразових витрат

В підрозділі 5.1 було наведено загальні положення щодо визначення періоду повернення одноразових витрат.

Розрахунок періоду повернення одноразових витрат виконаємо у табличній формі (таблиця 5.9 та 5.10).

Таблиця 5.9 – Розрахунок періоду повернення одноразових витрат при використанні напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком в контейнерах за типом 1СС

Рік розрахункового періоду	Одноразові витрати, млн. грн.	Коефіцієнт дисконтування	Річна економія витрат, млн. грн.	Теж з урахуванням дисконтування, млн. грн.	Накопиченим підсумком, млн. грн..
1	2	3	4	5	6
1	152,45	1,000	35,579	35,579	35,579
2		0,9091	35,579	32,345	67,924
3		0,8264	35,579	29,404	97,328
4		0,7513	35,579	26,731	124,059
5		0,6830	35,579	24,301	148,360

Таблиця 5.10 – Розрахунок періоду повернення одноразових витрат при використанні напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком в контейнерах за типом 1АА

Рік розрахункового періоду	Одноразові витрати, млн. грн.	Коефіцієнт дисконтування	Річна економія витрат, млн. грн.	Теж з урахуванням дисконтування, млн. грн.	Накопиченим підсумком, млн. грн..
1	78,2	1,000	18,875	18,875	18,875
2		0,9091	18,875	17,159	36,034
3		0,8264	18,875	15,599	51,633
4		0,7513	18,875	14,181	65,814
5		0,6830	18,875	12,892	78,706

Таким чином 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.

5.7 Результати порівняльної експлуатаційної та економічної оцінки використання напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком в контейнерах

Результати порівняльної експлуатаційної та економічної оцінки використання напіввагонів для перевезення вантажів за порожнім напрямком в контейнерах наведено в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Результати порівняльної експлуатаційної та економічної оцінки впровадження перевезення вантажів у напіввагонах за порожнім напрямком з використанням контейнерів

Найменування показника	Перевезення вантажів у напіввагонах		
	за базовою технологією	з використанням контейнерів за типом 1СС	з використанням контейнерів за типом 1АА
Скорочення коефіцієнту порожнього пробігу вагонів, %	-	-9	-9
Коефіцієнт порожнього пробігу напіввагонів	0,724	0,659	0,659
Обсяг перевезень вантажів в контейнерах за порожнім напрямком, млн. ткм нетто	-	3397,591	1734,93
Одноразові витрати на робочий парк напіввагонів, млн. грн.	-	152,45	78,2
Річна економія залежної частини експлуатаційних витрат, млн. грн.	-	35,579	18,875
Економічний ефект за розрахунковий період (10 років) з урахуванням дисконтування, млн. грн.	-	88,028	49,376
Період повернення одноразових витрат, роки	-	5	4

5.8 Висновки за розділом 5

Проведено розрахунок економічного ефекту від використання напіввагонів для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком. Метою впровадження нової технології використання напіввагонів для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком є зменшення коефіцієнту порожнього пробігу на 9%. Це дозволить зменшити дефіцит вагонів-платформ та порожній пробіг напіввагонів завдяки їх завантаженню контейнерами, які необхідно переміщувати у порожньому напрямку слідування напіввагонів.

За базовий варіант прийнято звичайні вантажні перевезення за якими у порожньому напрямку напіввагони слідують без вантажу. За новим варіантом прийнято вантажні перевезення за якими у порожньому напрямку напіввагони слідують з вантажем у контейнерах.

Економічний ефект від впровадження заходу, який запропоновано, визначено річною економією залежної частини експлуатаційних витрат в порівнянні з базовим варіантом використання напіввагонів та одноразовими витрат на конструктивне їх переоснащення для перевезення вантажів в контейнерах за порожнім напрямком.

Розрахунок проведено для двох типів контейнерів – 1 СС (дві одиниці на напіввагон), 1АА (одна одиниця на напіввагон).

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%.

ЗАГАЛЬНІ 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 пневмооболонок. 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 упора 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 мм , 6 мм , 7 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 $112,5 \text{ МПа}$. 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 $287,6 \text{ МПа}$. 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 ЛІТЕРАТУРИ

1. Балака Є. І., Зоріна О. І., Колесникова Н. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті : навч. посіб. Харків : УкрДАЗТ, 2005. 210 с.
2. Барабаш М. С., Сорока М. М., Сур'янінов М. Г. Нелінійна будівельна механіка з ПК Ліра. САПР. Одеса : Екологія, 2018. 248 с.
3. Богач І. В., Краковецький О. Ю., Килик Л. В. Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь засобами MathCad : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2020. 106 с.
4. Вантажна одиниця : пат. 156991 Україна : МПК В65D 88/12 (2006.01) ; u20240056 ; заявл. 02.02.2024 ; опубл. 28.08.2024, Бюл. № 35.
5. Ватуля Г. Л., Герліці Ю., Ловська А. О., Діжо Я., Рукавішников П. В. Аналіз міцності кришки люка універсального напіввагона при перевезенні в ньому контейнерів. *Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології*: збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців. (Київ, 29–30 листопада 2023 р.). Київ : ДУІТ, 2023. С. 271–275.
6. 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. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2024. № 1 (105). С. 84–91. <https://doi.org/10.15802/stp2024/301522>.
7. Візняк Р. І., Чепурченко І. В., Яценко А. О. Особливості визначення експлуатаційних навантажень кузова напіввагона та шляхи удосконалення його конструкції з метою забезпечення міцності і збереження. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. Вип. 159. С. 91–97.

8. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [01.07.2015]. Київ, 2015. 162 с.

9. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів : навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.

10. Коваленко В. В. Покращення функціонування розвантажувальних пристроїв напіввагонів шляхом удосконалення їх конструкції та методів розрахунків : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07. Сєвєродонецьк, 2019. 20 с.

11. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка : SolidWorks : навч. посіб. Херсон : Олді-плюс, 2018. 252 с.

12. Контейнер з енергопоглинальними складовими : пат. 153478 Україна : МПК В65D88/12. u202205043 ; заявл. 28.12.2022 ; опубл. 12.07.2023, Бюл. № 28.

13. Ловська А. О. Визначення динамічної навантаженості контейнерів при експлуатаційних режимах. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення* : збірник наукових праць ІХ-ї міжнародної науково-практичної конференції. (Одеса, 22–24 травня 2019 р.). Одеса : СНУ ім. В. Даля, 2019. С. 81–84.

14. Ловська А. О. Визначення динамічної навантаженості удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при комбінованих перевезеннях. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті* : збірник наукових праць науково-практичної конференції студентів та молодих вчених. (Лиман, 5–7 жовтня 2017 р.). Лиман : СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 92–94.

15. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при пружно-в'язкій взаємодії фітінгів з фітінговими упорами. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2019. Вип. 184. С. 6–19.

16. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2017. Вип. 6 (72) С. 49–60.

17. Ловська А. О. Визначення стійкості контейнера-цистерни відносно рами вагона-платформи при перевезенні на залізничному поромі. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2019. № 1 (79). С. 139–150.

18. Ловська А. О. Вплив тиску насипного вантажу на стійкість контейнера при перевезенні залізничним поромом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Динаміка і міцність машин*. 2019. № 1. С. 23–27.

19. Ловська А. О. Дослідження міцності несучих конструкцій контейнерів у складі комбінованих поїздів при перевезенні залізничним поромом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Транспортне машинобудування*. 2018. Вип. 29 (1305). С. 62–68.

20. Ловська А. О. Дослідження динамічних навантажень, що діють на несучі конструкції кузовів вагонів при комбінованих перевезеннях. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті : матеріали 78 міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків : УкрДАЗТ, 2016. С. 39–40.

21. Ловська А. О. Дослідження динамічних навантажень, які діють на вагон-платформу зчленованого типу з контейнерами при експлуатаційних режимах навантаження. *Проблеми розвитку транспорту і логістики : збірник тез VII-ї міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 26–28 квітня 2017 р.). Одеса : СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 97–98.

22. Ловська А. О. Дослідження динамічного навантаження вагона-платформи з контейнерами, розміщеними на ньому при маневровому співударянні. *Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи : зб. тез міжнародної науково-практичної конференції*. (Трускавець, 11–17 квітня 2016 р.). Трускавець : СНУ ім. В. Даля, 2016. С. 108–110.

23. Ловська А. О. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами при перевезенні на залізничному поромі. *Залізничний транспорт України*. 2017. № 2. С. 16–20.

24. Ловська А. О. Дослідження динамічної навантаженості контейнерів з пружно-в'язкими зв'язками у фітингах при експлуатаційних режимах. *Вагони нового покоління : із XX в XXI сторіччя: тези доповідей II Всеукраїнської конференції*. (Харків, 23–25 квітня 2019 р.). Харків : УкрДУЗТ, 2019. С. 13–14.

25. Ловська А. О. Дослідження міцності несучої конструкції контейнера-цистерни, розміщеного на вагоні-платформі при маневровому співударянні. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України : Серія «Транспортні системи і технології»*. 2016. Вип. 28. С. 90–98.

26. Ловська А. О. Комп'ютерне моделювання навантаженості контейнера-цистерни при експлуатаційних режимах. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті : збірник наукових праць науково-практичної конференції студентів та молодих вчених*. (Київ, 16–17 листопада 2018 р.). Київ : СНУ ім. В. Даля, 2018. С. 114–116.

27. Ловська А. О. Математичне моделювання динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 79 міжнародної науково-практичної конференції*. (Дніпро, 16–17 травня 2019 р.). Дніпро : ДНУЗТ, 2019. С. 55–56.

28. Ловська А. О. Моделювання навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Динаміка і міцність машин. 2018. Вип. 33. С. 28–32.

29. Ловська А. О. Моделювання навантаженості несучої конструкції вагона-платформи зчленованого типу при комбінованих перевезеннях. *Технології та інфраструктура транспорту: тези доповідей міжнародної*

науково-технічної конференції. (Харків, 14–16 травня 2018 р.). Харків : УкрДУЗТ, 2018. С. 125–126.

30. Ловська А. О. Обґрунтування доцільності оптимізації та комп'ютерне моделювання міцності кузову напіввагону з використанням у якості несучих елементів конструкції круглих труб. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті* : матеріали 77 міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків : УкрДАЗТ, 2015. С. 63–64.

31. Ловська А. О. Особливості комп'ютерного моделювання навантаженості контейнера з пружно-в'язкими зв'язками у фітінгах при експлуатаційних режимах. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2019. Вип. 33, Т. 2. С. 28–37.

32. Ловська А. О. Особливості конструкції та перевірочних розрахунків на міцність несучої системи вагону-платформи із круглих труб. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті* : зб. тез міжнародної науково-практичної конференції. (Лозова, 4 – 8 травня 2015 р.). Лозова : СНУ ім. В Даля, 2015. С. 25–26.

33. Ловська А. О. Особливості моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з контейнерами. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2017. № 4 (234). С. 138–145.

34. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження динамічної навантаженості несучих конструкцій контейнерів при перевезенні на вагонах-платформах. *Dynamika naukowych badan-2017: materiały XIII międzynarodowej naukowipraktycznej konferencji*. (Przemyśl, 07–15 lipca 2017 roku). Przemyśl : Nauka i studia, 2017. С. 24–26.

35. Ловська А. О., Рибін А. В. Визначення навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні у складі комбінованого поїзда на залізничному поромі. *Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine*

and Poland : International Multidisciplinary Conference. (Wolomin, 19–20 October 2018). Wolomin, 2018. С. 110–111.

36. Ловська А. О., Рибін А. В. Визначення стійкості контейнера типорозміру 1СС при перевезенні залізничним поромом. *Наука, техніка і технології : глобальні та сучасні тенденції : міжнародна науково-практична конференція*. (Прага, 27–28 грудня, 2019 р.). Прага, 2019. С. 54–56.

37. Ловська А. О., Рибін А. В. Моделювання навантаженості контейнера типорозміру 1СС при перевезенні на залізничному поромі. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті : збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених*. (Лиман, 14–16 листопада 2019 р.). Лиман : СНУ ім. В. Даля, 2019. С. 96–99.

38. Ловська А. О., Рибін А. В. Особливості дослідження динамічної навантаженості контейнера-цистерни при перевезенні на залізничному поромі. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля*. 2019. № 3 (251). С. 117–122.

39. Ловська А. О. Удосконалення заходів щодо надійності закріплення несучих конструкцій кузовів вагонів на залізничних поромах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Динаміка і міцність машин*. 2016. Вип. 46 (1218). С. 39–43.

40. Ловська А. О. Уточнення величин динамічних навантажень, що діють на несучі конструкції кузовів вагонів при перевезенні залізничними поромами. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 76 міжнародної науково-практичної конференції*. (Дніпропетровськ, 19 –20 травня 2016 р.). Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2016. С. 49–50.

41. Ловська А. О., Ялова І. В. Дослідження динамічних навантажень, які діють на вагон-платформу з контейнерами при перевезенні на залізничному поромі. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 77 міжнародної науково-практичної конференції*. (Дніпропетровськ, 11–12 травня 2017 р.). Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2017. С. 53–55.

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

43. 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>.

44. 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*. 2024. Том 35 (74), № 2. С. 304–309. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/42>.

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

46. 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. С. 2482–2483.

47. Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження повздовжньої навантаженості контейнера при перевезенні його у напіввагоні. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : збірник матеріалів IV Міжнародної інтернет-конференції. (Рівне, 23–24 квітня). Рівне, 2024. С. 29–31.

48. Модульна вантажна одиниця : пат. 157156 Україна : МПК В65D 88/12 (2006.01) ; u202400565 ; заявл. 02.02.2024 ; опубл. 11.09.2024, Бюл. № 37.

49. Мороз В. І. Суранов О. В., Братченко О. В., Логвіненко О. А. Особливості виникнення погрішностей тензометрування в дослідженнях механізмів газорозподілу чотиритактних дизелів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2001. Вип. 49. С. 85–90.

50. Панченко С. В., Ловська А. О., Павлюченков М. В., Рукавішников П. В. Особливості проектування зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагонах. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2024. № 3 (107). С. 73–83. <https://doi.org/10.15802/stp2024/313395>.

51. 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 : УкрДУЗТ, 2024. С. 32–33.

52. Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження вертикальної навантаженості контейнера з підлогою із сендвіч-панелей при перевезенні вагоном-платформною. *Наукові підсумки 2024 : збірка наукових тез XII наукової конференції*. (Харків, 26 грудня). Харків : Технологічний центр, 2024. С. 66.

53. Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Ситуаційна адаптація напіввагона до перевезень контейнерів. *Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 5-ої міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків, 25–27 листопада). Харків : УкрДУЗТ, 2024. С. 277–279.

54. 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.

55. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks : навч. посіб. Луцьк : Вежа, 2018. 172 с.

56. Сяєв А. В. Вступ до системи MathCad : навч. посіб. Дніпропетровськ : ДНУ, 2004. 108 с.
57. ЦВ-0142. Вагони вантажні залізниць України колії 1520 (1524) мм. Настанова з деповського ремонту. [26.12.2013]. Київ : Дедалта, 2014. 159 с.
58. ЦВ-0016. Вантажні вагони залізниць України колії 1520 мм. Правила капітального ремонту. [20.06.2006]. Київ, 2006. 173 с.
59. Patrascu A., Hadar A., Pastrama S. Structural Analysis of a Freight Wagon with Composite Walls. *Materiale Plastice*. 2020. Vol. 57 (2). P. 140–151. <https://doi.org/10.37358/MP.20.2.5360>.
60. Lovska A., Gerlici J., Dižo J., Rukavishnykov P. 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>.
61. Lovska A., Stanovskyi O., Zharova O., Naumenko Y., Pelypenko Y. Identifying patterns in loading a gondola car body with reinforcing belts in the structure of side walls. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. №3/7 (129). P. 17–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.303987>.
62. Nikitchenko A., Artiukh V., Shevchenko D., Prakash R. Evaluation of Interaction Between Flat Car and Container at Dynamic Coupling of Flat Cars. *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 73 (12). 04008. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20167304008>.
63. Rzeczycki A., Wisnicki B. Strength analysis of shipping container floor with gooseneck tunnel under heavy cargo load. *Solid State Phenomena*. 2016. Vol. 252. P. 81–90. <https://www.scientific.net/SSP.252.81>.
64. Baier A., Majzner M. Application of feature based method in constructing innovative sheathing of railway wagons. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2012. Vol. 52, Issue 2, P. 91–98.
65. Berescu C., Fratila C., Axinte T., Diaconu M., Cojocaru R. The mechanism's study of fixing a container on a freight wagon type Rgs. *IOP Conf. Series : Materials*

Science and Engineering. 2020. Vol. 916. 012010. P. 1–6.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/916/1/012010>.

66. Caban J., Nieoczym A., Gardyński L. Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 127. P. 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487>.

67. Baranovskyi D., Bulakh M., Myamlin S., Kebal I. New Design of the Hatch Cover to Increase the Carrying Capacity of the Gondola Car. *Advances in Science and Technology–Research Journal*. 2022. Vol. 16 (6). P. 186–191.
<https://doi.org/10.12913/22998624/156205>.

68. EN 12663-2. Railway applications – structural requirements of railway vehicle bodies – Part 2 : Freight wagons. [01.07.2010]. Bulgaria : BIS, 2010. 54 c.

69. Divya G., Swarnakumari A. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. *International Journal of Innovative Technology and Research*. 2014. Vol. 2, No. 6. P. 1568–1580.

70. Galimova F., Khurmatov Y., Abdulloev M., Jumabekov B., Sultonaliyev D., Ergeshova D. Modern Gondola with Lightweight Body. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. Vol. 247. P. 1043–1050. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_94.

71. 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 (15). 8605.
<https://doi.org/10.3390/app13158605>.

72. 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. Part I. Transport Means 2023*. (October 4-6, Kaunas, Lithuania). 2023. P. 440–445.

73. Vatulia G., Lovska A., Myamlin S., Rybin A., Nerubatskyi V., Hordiienko D. Determining patterns in loading the body of a gondola with side wall cladding made from corrugated sheets under operating modes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 2/7 (122). P. 9–14. <https://doi.org/10.15587/1729->

4061.2023.275547.

74. Dočkalíková I., Cempírek V., Indruchová I. Multimodal Transport as a Substitution for Standard Wagons. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 44. P. 30–34. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.005>.

75. Iwnicki S., Stichel S., Orlova A., Hecht M. Dynamics of railway freight vehicles. *Vehicle System Dynamics*. 2015. Vol. 53, No. 7. P. 995–1033.

76. Zamecnik J., Jagelcak J. Evaluation of wagon impact tests by various measuring equipment and influence of impacts on cargo stability. *Communications*. 2015. No. 4. P. 21–27.

77. Gerlici J., Lovska A., Vatulia G., Dizo J., Blatnický M. Research into the Strength of the Discharge Door of an Open Wagon Transporting Containers. *AIP Conference Proceeding*. 2024. Vol. 3129, Issue 1. 060001. <https://doi.org/10.1063/5.0201451>.

78. Rahimov R., Khadjimukhametova M., Rakhmatov Z. Development of improved technical means for transportation fruits and vegetables. *European science review*. 2016. № 1-2. P. 175–177. <https://doi.org/10.20534/ESR-16-1.2-175-177>.

79. Kitov Y., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Y., Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 133 (1–3) 03001. P. 1–4. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201713303001>.

80. Krason W., Niezgoda T. Fe numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2014. Vol. 62, Issue 4. P. 843–851.

81. Lovskaya A., Gerlici J., Fomin O., Kravchenko K., Fomina Yu., Lack T. Special Aspects of Determining the Dynamic Load of the Tank Container During Its Transportation in an Integrated Train Set by a Railway Ferry. *TRANSBALTICA XI : Transportation Science and Technology Proceedings of the International Conference TRANSBALTICA*. Vilnius, 2019. P. 581–590. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38666-5_61.

82. Lovska A. Research of dynamic loading of a container located on a flat wagon at visco-elastic interaction between fittings and fitting stops. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects* : Theses of international scientific and practical conference. (Salou, Spain, 4–11 May 2019) : Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2019. P. 57–58.

83. Laaers L04A | 2×2-axle wagon, Series Laadgrs – open flat car carrier and container twin wagon. <https://www.greenbrier-europe.com/2022/10/08/laaers-l04a-2x2-axle-wagon-series-laadgrs-open-flat-car-carrier-and-container-twin-wagon/>

84. Płaczek M., Wróbel A., Olesiejuk M. Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 112. 06022. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711206022>.

85. Fomin O., Gerlici J., Lovska A., Gorbunov M., Kravchenko K., Prokopenko P., Hauser V. The improved hatch cover construction for universal open box-type wagon from the strength and durability point of view. *Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 19, No. 2. P. 216–221.

86. 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, No 1. P. 79. <https://doi.org/10.3390/app13010079>.

87. Reidemeister O. H., Kalashnyk V. O., Shykunov O. A. Modernization as a way to improve the use of universal cars. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2016. № 2 (62). С. 148–156. <https://doi.org/10.15802/stp2016/67334>.

88. Sandu N., Zaharia N. L. Static and dynamic tests performed on a flat wagon. *Problemy kolejnictwa*. 2014. Zeszyt 163. P. 67–77.

89. Sapronova S., Tkachenko V., Fomin O., Gatchenko V., Maliuk S. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 6, No. 7 (90). P. 19–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116194>.

90. Panchenko S., Lovska A., Muradian A., Pelypenko Ye., Rukavishnykov P., Demydiukov O. 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>.
91. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Vatulia G., Rybin A. Determination of the transverse load of the box wagon body with sandwich panel walls. *AIP Conference Proceeding*. 2024. Vol. 3129, Issue 1. 060002. <https://doi.org/10.1063/5.0201453>.
92. Shaposhnyk V., Shykunov O., Reidemeister A., Leontii M., Potapenko O. Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-feet-long containers on an universal platform wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1, No. 7 (109). P. 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225090>.
93. Tiernan S., Fahy M. Dynamic fea modelling of iso tank containers. *Journal of materials processing technology*. 2002. № 124 (1). P. 126–132.
94. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.379>.
95. Liu W., Zhang L., Bi C., Huo Y., Zhang R., Wang Z. The Anti-Fatigue Design of 80 t Depressed-Center Gondola Car Body. *Processes*. 2022. Vol. 10. 1618. <https://doi.org/10.3390/pr10081618>.
96. Krason W., Niezgoda T., Stankiewicz M. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 615–624.
97. Zaynitdinov O. I., Ruzmetov Y. O., Rahimov R. Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage. *International Journal of Engineering and Technology, Waail Mahmod Lafta*. 2020. Vol. 9 (2). P. 378–381.
98. Zhao Z., Wang X., Cheng S., Liu W., Jiang L. A. New Synchronous Handling Technology of Double Stake Container Trains in Sea-Rail Intermodal Terminals. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. 11254. <https://doi.org/10.3390/su141811254>.

99. Yoon S. C., Kim J. G., Jeon C. S., Choe K. Y. Evaluation of Structural Strength in Body Structure of Freight Car. *Key Engineering Materials*. 2010. Vol. 417-418. P. 181–184. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.417-418.181>.
100. Yuan Y.Q., Li Q., Ran K. Analysis of C80B Wagons Load-Stress Transfer Relation. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 148-149. P. 331–335.

Додаток А

Акти про впровадження результатів дисертації

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Перший заступник директора виконавчого
регіональної філії «Південна залізниця»
АТ «Укрзалізниця»
Михайло КУЗЬМЕНКО



«12» грудня 2024 року

АКТ

**про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
на тему: «Удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для
перевезень контейнерів»**

Рукавішнікова Павла Володимировича

Складено комісією у складі:

Голова: Заступник начальника виробничого підрозділу «Служба вагонного господарства» регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» - Олександр СЕЧЕНОВ;

Члени комісії: провідний інженер відділу ремонту та експлуатації вантажних вагонів виробничого підрозділу «Служба вагонного господарства» регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» Вікторія КРИВ'ЯК;

провідний інженер відділу ремонту та експлуатації вантажних вагонів виробничого підрозділу «Служба вагонного господарства» регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» Наталія ДОБРОСКОК;

Комісія визначила впровадження таких результатів дисертаційної роботи Рукавішнікова П.В. в регіональній філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця»:

- рішення щодо технічної адаптації несучих конструкцій напіввагонів до перевезень контейнерів;
- використання знімного модуля для безпечного перевезення контейнерів в напіввагонах.

Підставою для впровадження розробок є договір про науково-технічне співробітництво між Українським державним університетом залізничного транспорту та регіональною філією «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця».

Згідно аналізу статистичних даних перевезень вантажів залізничним транспортом, контейнери є досить затребуваним типом транспортного засобу. З

аналізу інвентарного парку вагонів-платформ АТ «Укрзалізниця» виявлено, що середній відсоток їх зносу складає 94,67%. У зв'язку з відсутністю поповнення інвентарного парку вагонами-платформами є можливість залучення під перевезення контейнерів напіввагонів, що має суттєве значення для підвищення ефективності роботи загальнодержавної транспортно-логістичної системи. Разом з цим, це вимагає адаптації їх конструкцій під контейнерні перевезення.

Внаслідок впровадження результатів дисертаційної роботи Рукавішнікова П. В. очікується підвищення ефективності експлуатації контейнерних перевезень шляхом технічної адаптації напіввагонів для їх транспортування залізницею.

Обґрунтовано, що перевезення контейнерів в напіввагонах є економічно доцільним. 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 ІСС склав 88,028 млн. грн., а ІАА – 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 ІСС – 5 років, при використанні контейнерів за типом ІАА – 4 роки. При цьому має місце зменшення коефіцієнту порожнього пробігу напіввагонів до навантаженого у порівнянні із базовою технологією перевезень на 8,98%.

Висновки і рекомендації про подальше використання розробок – рекомендувати для подальшого використання конструкторськими, експлуатаційними та проєктними організаціями на умовах співробітництва з регіональною філією «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» та Українським державним університетом залізничного транспорту.

Голова:



Заступник начальника виробничого підрозділу «Служба вагонного господарства» регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» - Олександр СЕЧЕНОВ;

Члени комісії:

провідний інженер відділу ремонту та експлуатації вантажних вагонів виробничого підрозділу «Служба вагонного господарства» регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця»

Вікторія КРИВ'ЯК;

провідний інженер відділу ремонту та експлуатації вантажних вагонів виробничого підрозділу «Служба вагонного господарства» регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця»

Наталія ДОБРОСКОК;

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Генеральний директор ТОВ «БРУКЛІН – КИЇВ»

Олександр ІНКУЛІН



2025 року

АКТ

**впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
на тему: «Удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для
перевезень контейнерів»**

Рукавішнікова Павла Володимировича

Цим актом засвідчуємо, що в практичній діяльності ТОВ «БРУКЛІН – КИЇВ» використані наступні результати дисертаційної роботи Рукавішнікова Павла Володимировича на тему «Удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів»:

- схеми навантажень контейнерів при експлуатаційних режимах, зокрема при вантажно-розвантажувальних операціях, а також при перевезенні залізницею;
- рішення щодо технічної адаптації несучих конструкцій напіввагонів до перевезень контейнерів.

Внаслідок впровадження результатів дисертаційної роботи Рукавішнікова П. В. очікується підвищення ефективності експлуатації контейнерних перевезень шляхом технічної адаптації напіввагонів для їх транспортування залізницею.

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 перевезень 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 перевезень 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 у порівнянні із базовою технологією перевезень на 8,98%.

Заступник генерального директора

з розвитку виробництва

ТОВ «БРУКЛІН – КИЇВ»

Андрій КИМАН

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи УкрДУЗТ



к.т.н., доцент

Владислав ПАНЧЕНКО

2025 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційного дослідження

Рукавішнікова Павла Володимировича

на тему «Удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для
перевезень контейнерів» у навчальному процесі кафедри інженерії
вагонів та якості продукції Українського державного університету
залізничного транспорту

Цим Актом підтверджується, що в період з 2023 р. по теперішній час у навчальному процесі кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту при викладанні навчальних дисциплін «Основи теорії коливань та стійкості рухомого складу» та «Динаміка вагонів», а також при виконанні випускних кваліфікаційних робіт використовуються наступні результати дисертаційної роботи Рукавішнікова П. В.:

математична модель динамічної навантаженості напіввагона,
завантаженого контейнерами;

комп'ютерні моделі для визначення динамічної навантаженості
напіввагона, завантаженого контейнерами;

комп'ютерні моделі для визначення міцності несучої конструкції напіввагона, а також кришки люка.

залежності силових факторів в конструкційних складових зйомного модуля при різних експлуатаційних схемах його навантажень.

Заступник декана механіко-енергетичного
факультету



Артем МАСЛІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи УкрДУЗТ
к.т.н., доцент



Артур КАГРАМАНЯН

с.к.н. 2025 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційного дослідження

Рукавішнікова Павла Володимировича

на тему «Удосконалення методів технічної адаптації напіввагонів для
перевезень контейнерів» в освітній процес

Навчально-наукового центру освіти дорослих

Українського державного університету залізничного транспорту

Актуальність дослідження Рукавішнікова Павла Володимировича визначається необхідністю технічної адаптації напіввагонів для перевезень контейнерів. З огляду на це, викладання розроблених Рукавішниковим П. В. теоретичних і методичних положень та підходів при отриманні вищої освіти є своєчасними.

До основних результатів дисертаційної роботи Рукавішнікова П. В., які використовуються у навчальному процесі Навчально-наукового центру освіти дорослих Українського державного університету залізничного транспорту належать:

- математична модель динамічної навантаженості напіввагона, завантаженого контейнерами;
- комп'ютерні моделі для визначення динамічної навантаженості напіввагона, завантаженого контейнерами;
- комп'ютерні моделі для визначення міцності несучої конструкції напіввагона, а також кришки люка.

- залежності силових факторів в конструкційних складових зйомного модуля при різних експлуатаційних схемах його навантажень.

Дані розробки з 2023 року по теперішній час використовуються:

1) при наданні освітніх послуг з підвищення кваліфікації під час проведення занять:

- фахівців відділів ремонту та експлуатації служб вагонного господарства, головних механіків та технологів вагонного депо, інженерів з приймання вагонів, інженерів-технологів вагонного депо, начальників ПТО, фахівців з безпеки руху.

2) при підготовці фахівців за спеціальністю «Вагони та транспортна інженерія» з дисциплін «Основи теорії коливань та стійкості рухомого складу» та «Динаміка вагонів».

3) при підготовці та виконанні випускних кваліфікаційних робіт.

В.о. директора ННЦОД

к.т.н., доцент



Вячеслав ЗАХАРЧЕНКО

Додаток Б

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію
результатів дисертації***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації***

1. Panchenko S., Lovska A., Muradian A., Pelypenko Ye., Rukavishnykov P., Demydiukov O. 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. Lovska A., Gerlici J., Dižo J., Rukavishnykov P. 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. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 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*. 2024. Том 35 (74), № 2. 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 пневмооболонок. *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 проектування зйомного модуля для кріплення контейнерів в напіввагонах. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 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. *Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології* : збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців. (Київ, 29–30 листопада 2023 р.). Київ : ДУІТ, 2023. С. 271–275. (заочна участь).
10. Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження повздовжньої навантаженості контейнера при перевезенні його у напіввагоні. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування*

- транспортних систем* : збірник матеріалів IV Міжнародної інтернет-конференції. (Рівне, 23–24 квітня). Рівне, 2024. С. 29–31. (заочна участь).
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. С. 2482–2483. (заочна участь).
 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. (очна участь).
 13. Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Дослідження вертикальної навантаженості контейнера з підлогою із сендвіч-панелей при перевезенні вагоном-платформою. *Наукові підсумки 2024* : збірка наукових тез XII наукової конференції. (Харків, 26 грудня). Харків : Технологічний центр, 2024. С. 66. (заочна участь).
 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. С. 32–33. (очна участь).
 15. Панченко С. В., Ловська А. О., Рукавішников П. В. Ситуаційна адаптація напіввагона до перевезень контейнерів. *Інтелектуальні транспортні технології* : тези доповідей 5-ої міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 25–27 листопада). Харків : УкрДУЗТ, 2024. С. 277–279. (очна участь).
 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. С. 357–359. (заочна участь).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

- 17.Вантажна одиниця : пат. 156991 Україна : МПК В65D 88/12 (2006.01) ; u20240056 ; заявл. 02.02.2024 ; опубл. 28.08.2024, Бюл. № 35.
- 18.Піввагон для перевезень контейнерів : пат. 157214 Україна : МПК (2024.01) В61F 1/00 В61D 3/00 ; u202400795 ; заявл. 16.02.2024 ; опубл. 18.09.2024, Бюл. № 38.
- 19.Модульна вантажна одиниця : пат. 157156 Україна : МПК В65D 88/12 (2006.01) ; u202400565 ; заявл. 02.02.2024 ; опубл. 11.09.2024, Бюл. № 37.

Додаток В

Результати розрахунку кришки люка напіввагона,
навантаженої від знімного модуля

Для визначення міцності кришки люка напіввагона, навантаженої від знімного модуля, проведено її розрахунок. Просторову модель кришки люка наведено на рисунку В.1.



Рисунок В.1 – Просторова модель кришки люка

Для передачі вертикального навантаження на кришку люка на ній встановлено полосу, ширина якої дорівнює ширині профілю виконання знімного модуля. Розрахунок на міцність реалізовано із використанням методу скінчених елементів у SolidWorks Simulation. Розрахункову схему кришки люка наведено на рисунку В.2. При її складанні враховано, що кришка люка сприймає вертикальне навантаження P_v , яке діє на пластину, що імітує поверхню обпирання знімного модуля на кришку люка. Також на запірні кронштейни кришки люка діють реакції P_p на дію вертикального навантаження P_v . Закріплення кришки люка здійснено за петлі. Матеріал виконання – сталь марки 09Г2С.

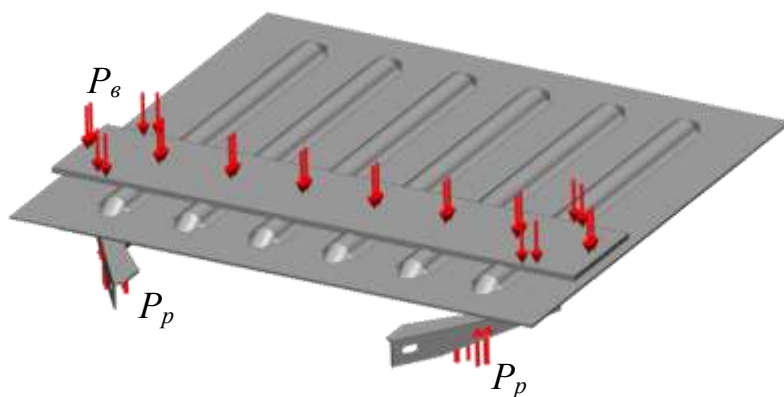


Рисунок В.2 – Розрахункова схема кришки люка

При створенні скінчено-елементної моделі використано тетраедри (рисунок В.3). Їх оптимальну чисельність визначено графоаналітичним методом. З урахуванням цього модель налічує 91556 елементів та 30477 вузлів. Максимальний розмір елементу склав 40 мм, а мінімальний – 8 мм.

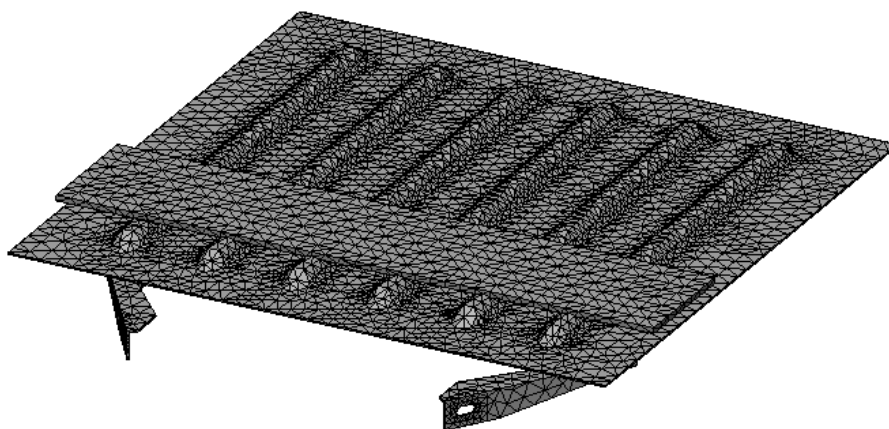


Рисунок В.3 – Скінчено-елементна модель кришки люка

Результати розрахунку наведено на рисунках В.4 – В.8. З рисунків В.4, В.5 видно, що максимальні напруження виникають у петлях кришки люка і складають 103,5 МПа, тобто є нижчими за допустимі. На рисунку В.6 окремо винесено найбільш навантажені зони кришки люка (позначено синім кольором).

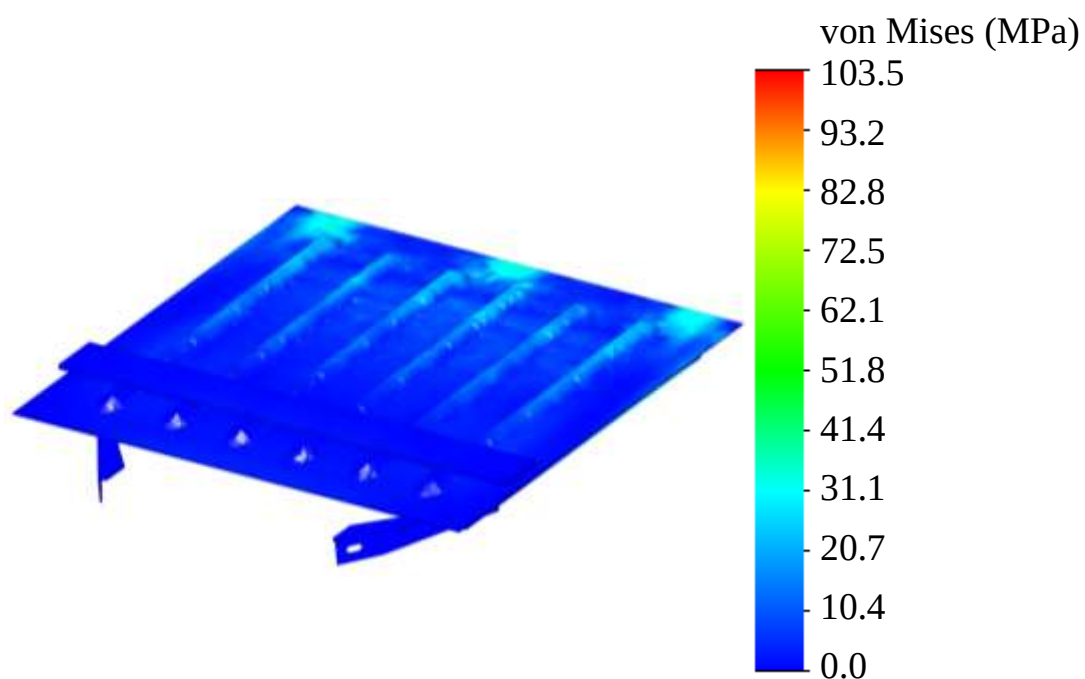


Рисунок В.4. – Напряженный стан крышки люка (вид сверху)

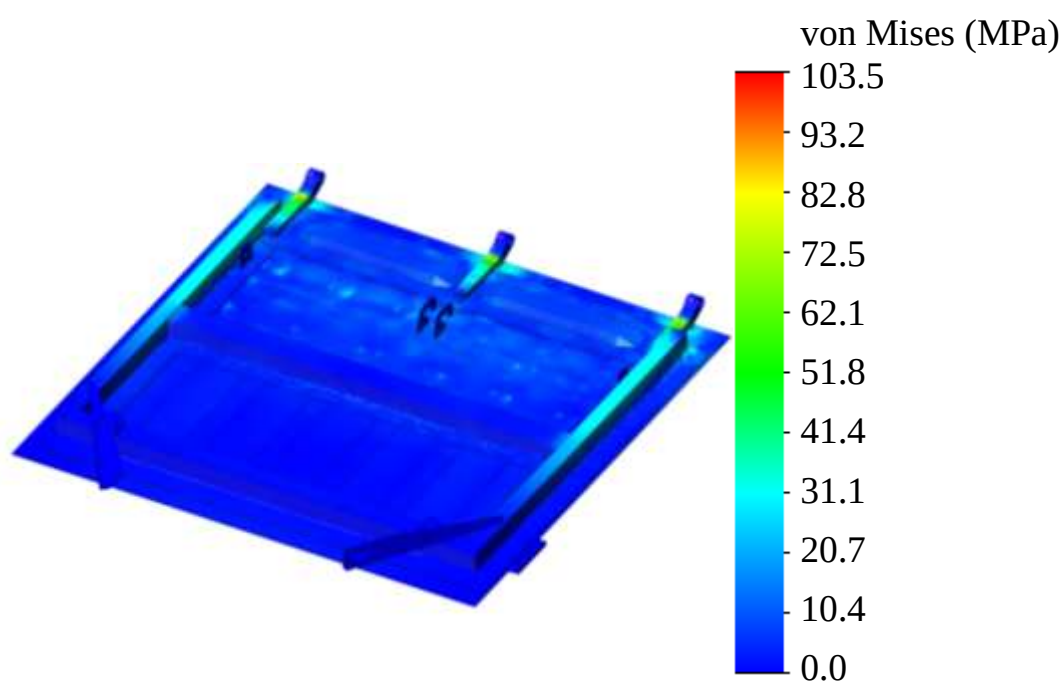


Рисунок В.5. – Напряженный стан крышки люка (вид снизу)

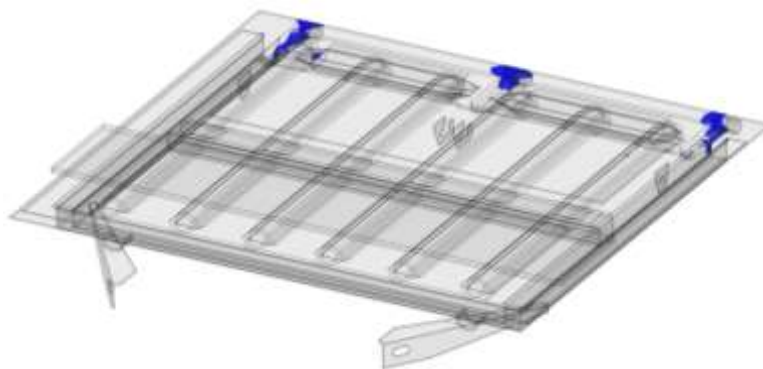


Рисунок В.6 – Найбільш навантажені зони кришки люка

Максимальні переміщення зафіксовано у запорних кронштейнах і складають 2.61 мм (Рисунки В.7, В.8)

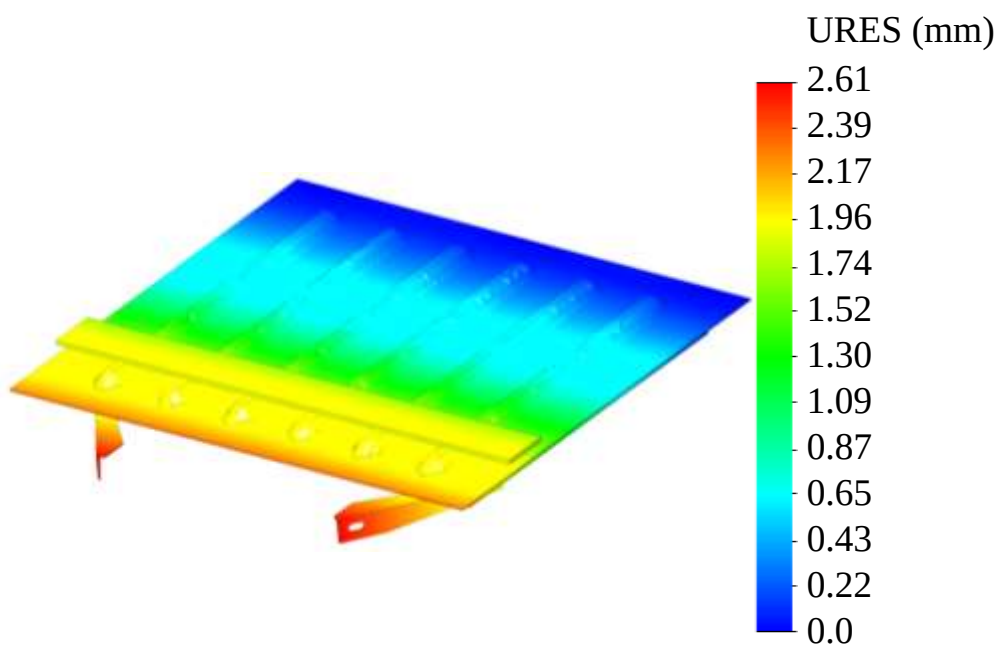


Рисунок В.7. – Переміщення в вузлах кришки люка (вид зверху)

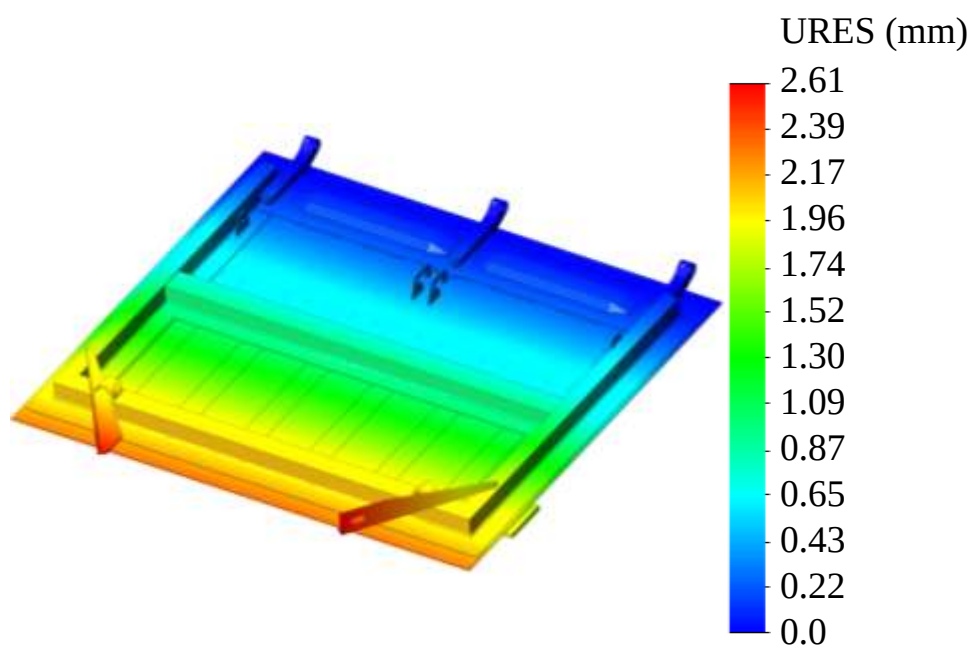


Рисунок – В.8. Переміщення в вузлах кришки люка (вид знизу)