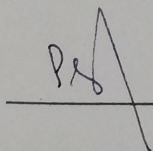


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Вагони та вагонне господарство

«ДО ЗАХИСТУ»



Завідувач кафедри
/Олексій РЕЙДЕМЕЙСТЕР/

« 21 » 12 20 21 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **27 Транспорт**

Спеціальність **273 Залізничний транспорт**

Освітньо-професійна програма **Вагони та вагонне господарство**

Тема Дослідження міцності кузова напіввагона за умови збільшення вантажопід'ємності з 23,5 т/вісь до 25 т/вісь

Theme Investigation of the open car body strength under the condition of increasing the load capacity from 23.5 t / axle to 25 t / axle

Керівник дипломної роботи

Олександр Шикунів

Студент групи ВГ 2021 Артем Ласкаржевский

ІП (укр.)

Student Artem Laskarzhevskiy

ІП (Англ)

Дніпро – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2 МОДЕЛЬ ТА КОНСТРУКЦІЯ КУОВА НАПІВВАГОНА

2.1 Метод скінченних елементів

2.2 Конструкція та параметри піввагона

2.3 Геометрична модель

2.4 Скінченно–елементна модель кузова напіввагона

2.5 Розрахункові режими, навантаження

2.6 Розрахунок на міцність

3 НАПРУЖЕННИЙ СТАН КУЗОВА НАПІВВАГОНА

3.1 Результати розрахунків

3.2 Аналіз результатів

4 МОДЕРНІЗАЦІЯ

4.1 Підсилення конструкцію кузова напіввагона

4.2 Результати розрахунків

4.3 Аналіз результатів

					031.160187.ДМР.000.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ласкажевський			Дослідження міцності кузова напіввагона за умови збільшення вантажопід'ємності з 23,5 т/вісь до 25 т/вісь	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Шикунов					3	770
Реценз.						Організація		
Н. Контр.								
Затверд.								

ВИСНОВКИ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В сучасних умовах господарювання, конкуренції зі сторін інших видів транспорту та закордонних залізничних компаній перед вітчизняними залізницями гостро стоїть проблема постійного підвищення ефективності використання їх рухомого складу, переважна більшість якого приходить на вантажний вагонний парк.

Найбільшу кількість вагонів вантажного парку українських залізниць складають напіввагони – 56 %, які є найбільш універсальним та затребуваним типом рухомого складу. Конструкція напіввагона дозволяє широко застосовувати засоби механізації при завантаженні та вивантаженні.

На даний момент по всьому світі вже курсують напіввагони з вантажопідйомністю вище ніж 23,5 тони на вісь. В Україні вже також розробили напіввагони з підвищеною вантажопідйомністю 25 тон на вісь, але даних вагонів не багато, тому це підтверджує необхідність приділити увагу даній проблемі та її актуальність, що буде розглянуто.

Вирішення проблеми підвищення вантажопідйомності сприятливо вплине на економічний стан залізничного рухомого складу і також на технічний стан в цілому. Тому саме в даній роботі був проведений аналіз можливості збільшення вантажопідйомності кузова напіввагона з осьовим навантаженням 23,5 тон на вісь до 25 тон за рахунок на в розробки варіанту підсилення конструкції кузова для реалізації цієї можливості.

Об'єктом дослідження є напружений стан кузова напіввагона.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предметом дослідження є методи підвищення міцності кузова напіввагона.

Метою роботи є аналіз можливості підвищення вантажопідйомності кузова напіввагона реальної моделі з осьовим навантаженням 23,5 тс до 25 тс та розробка варіантів підсилення конструкції кузова для реалізації цієї можливості.

Методи дослідження. В роботі використано розрахункові методи, виконано оцінку міцності кузова напіввагона.

Новизною магістерської роботи є вдосконалення конструкції кузова напіввагона.

У першому розділі виконано аналіз наукових робіт спрямованих на підвищення осьового навантаження вагонів.

У другому розділі наведено данні про вагон-прототип. Розроблено геометрична та скінчено-елементну модель вагона. Виконано розрахунок навантажень, що діють на конструкцію та прийняті їх розрахункові комбінації.

У третьому розділі приведено оцінку міцності кузова вагона- прототипу при дії розрахункових навантажень та запропоновано варіант його модернізації .

У четвертому розділі виконано перевірку міцності модернізованого напіввагона.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Огляд літератури

Програма розвитку залізничного транспорту України передбачає вирішення наступних завдань: збільшення пропускної спроможності, збільшення провізної здатності і зменшення собівартості перевезень. Одним із способів вирішення перерахованих завдань може стати збільшення осьового навантаження, яке зараз становить 23,5 тс на одну вісь колісної пари. Перед залізницями України гостро постає питання про необхідність збільшення осьових навантажень, а перед вагонобудівними заводами - в створенні нових вантажних вагонів з підвищеної вантажопідйомністю та оцінки їх експлуатаційної надійності.

Розглянемо інноваційні вагони які вже розроблені в Україні та інших країнах.

Розробка, освоєння виробництва та впровадження в експлуатацію сучасного рухомого складу нового покоління є вельми актуальною науково-технічною проблемою державного значення для економіки України. Представлена комплексна робота [1] є результатом багаторічної співпраці фахівців із науково-дослідних і виробничих підприємств: Державної адміністрації залізничного транспорту України (Укрзалізниця), ПАТ «Крюківський Вагонно-Будівний Завод», Дніпропетровський Національний Університет Залізничного Транспорту, Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України (ІЕЗ НАНУ), Інститут механічної механіки Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, Українського науково-дослідного інституту

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вагонобудування (УкрНДІВ). Згідно з державними та галузевими програмами розвитку вантажного рухомого складу виконано комплекс науково–технічних заходів із розробки конструкцій та машинобудівних технологій вантажних вагонів нового покоління.

У результаті проведених досліджень розроблено й впроваджено у виробництво інноваційний вантажний рухомий склад, створено конкурентоспроможну продукцію на рівні світових стандартів. Уперше в Україні створено вагони нового покоління, у яких ресурс найбільш зношуваних елементів збільшений у декілька разів, а також розроблені технології виготовлення цих елементів.

Розроблені конструкції сучасних інноваційних вагонів для вантажних перевезень, при цьому використано машинобудівні технології з проектування, виготовлення, зварювання та сучасні засоби теоретичних та експериментальних досліджень нової техніки на рівні світових стандартів.

Розроблені вагони мають значно більший ресурс основних вузлів (що в декілька разів перевищує ресурс вагонів попередніх конструкцій). Це досягнуто за рахунок суттєвого перегляду конструкції ходових частин, що дозволило знизити динамічні навантаження на елементи вагона, та застосування сучасних матеріалів зі збільшеною міцністю, зносостійкістю та ін. Розроблено технології обробки (зокрема, зварювання) таких матеріалів. Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили поліпшити технічні показники на стадіях проектування, виготовлення дослідних зразків та партій.

Вирішення проблеми оновлення існуючого й створення вантажного рухомого складу нового покоління зумовило необхідність проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень проблем існуючих конструкцій, пошуку шляхів підвищення продуктивності, надійності й економічності в експлуатації, а також науково–технічної експертизи

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектних рішень для створення вперше в Україні сучасних вагонів нового покоління.

Виконано дослідження [1] з метою вдосконалення конструкції кузовів сімейства вантажних вагонів (піввагонів, платформ, хоперів). Як показали виконані ДНУЗТ детальні дослідження з визначення вимог до конструкційних матеріалів, відповідні розрахунки міцності та довговічності, для виготовлення кузовів вантажних вагонів нового покоління з підвищеним навантаженням на вісь потрібний пошук міцніших сталей.

За результатами досліджень [1] фахівцями ІЕЗ НАНУ механічних властивостей і здібності до зварки нових високоміцних сталей з карбонітридним зміцненням запропоновано марки сталей, застосування яких дозволило істотно підвищити конкурентоспроможність виробів на внутрішньому та зовнішньому ринках. Механічні властивості сталі можуть істотно змінюватися під дією теплових процесів, які мають місце під час зварки. Тому виконано комплекс науково–дослідних і практичних робіт із вивчення механічних властивостей, мікро– та макроструктури цих сталей, а також зварних з’єднань.

Створені ПАТ «КВБЗ» кузови вагонів із використанням сучасних сталей і технологій їх зварки, розроблені ІЕЗ НАНУ, мають високі міцнісні й експлуатаційні характеристики, які підтверджено повним комплексом приймальних і сертифікаційних випробувань, проведених фахівцями ДНУЗТ та УкрНДІВ. Виконано великий обсяг теоретичних досліджень для визначення шляхів удосконалення ходових частин рухомого складу та створення довговічних елементів візків нового покоління. Перед вченими постала задача: шляхом комп’ютерного моделювання й цілеспрямованих теоретичних досліджень внести такі зміни до конструкції вагона, щоб його динамічні якості, швидкість руху, ресурс найбільш проблемних елементів його ходових частин були б істотно вищі, ніж у вагона існуючої конструкції.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі проведених розрахунків поведінки системи «вагон-колія» з урахуванням можливих змін конструкції вагонів та особливостей вітчизняних залізниць в ІТМ НАНУ та ДКАУ розроблено пропозиції щодо вдосконалення ходових частин, зокрема вузлів спирання кузова на візки, фрикційної системи гасіння коливань, профілю коліс. Запропоновано у візках замінити ненадійно працюючі стандартні ковзуни ковзунами постійного контакту; замість сталевих установити клини з високоміцного чавуну; фрикційні планки замінити зносостійкими; у підп'ятнику укласти полімерні прокладки; замість стандартного профілю коліс використовувати спеціально розроблений ІТМ НАНУ та ДКАУ новий зносостійкий профіль обода колеса ІТМ-73 та новий ремонтний профіль ІТМ-73-01.

Ефективність такого вдосконалення конструкції трьохелементного візка була підтверджена результатами ходових динамічних та експлуатаційних порівняльних випробувань типових піввагонів і піввагонів з удосконаленими візками, проведених у різний час і на різних залізницях. Як свідчить експеримент, ресурс коліс (по гребеневому зносу) збільшений у 2,5–3,0 рази, п'ятникового вузла — у 4–5 разів, клинової системи демпфування — більш ніж у 10 разів. На підприємстві ПАТ «Рейл» налагоджено виробництво нових елементів візків для вагонів нового покоління.

Вантажні вагони нового покоління. На ПАТ «КВБЗ» освоєно серійне виробництво вантажних вагонів різних типів із покращеними техніко-економічними показниками, що відповідають вимогам до перспективного вантажного рухомого складу. Це стало можливим завдяки поєднанню інноваційного підходу до створення конструкцій та сучасних машинобудівних технологій, у т. ч. унікальних технологій зварювання високоміцних сталей. Тисячі вагонів покращеної конструкції успішно експлуатуються на залізницях України.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Напіввагон моделі 12–7023–01 із візками моделі 18–7020 успішно пройшов повний комплекс випробувань, прийнятий у серійне виробництво та в експлуатацію відповідно до рішення Міжвідомчої приймальної комісії. (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Напіввагон моделі 12-7023-01

Результати роботи зі створення напіввагона моделі 12-7023-01 й нового візка моделі 18-7020 були представлені Укрзалізницею на Комісії Ради з залізничного транспорту уповноважених фахівців вагонного господарства залізничних адміністрацій держав-учасників СНД, Латвії, Литви, Естонії. Ця робота була високо оцінена представниками залізничних адміністрацій, зокрема було дано дозвіл із 1 вересня 2008 р. на курсування таких піввагонів у міждержавному сполученні на залізницях усіх країн із колією 1520 мм.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Ураховуючи високі показники надійності вагонів, а також ефективність вагонів нового покоління в експлуатації, Українська асоціація виробників і споживачів залізничної техніки рекомендувала Укрзалізниці перейти на закупівлю перспективного й ефективного рухомого складу.

За період з грудня 2010-го по травень 2013 р. спеціальною комісією, створеною за наказом ЦВ Укрзалізниці, було оглянуто більше 300 піввагонів нового покоління з візками моделі 18–7020 під час деповського ремонту після чотирьох років їх експлуатації. До складу комісії увійшли представники Придніпровської й Донецької залізниць, ДП «ПКТБ ЦВ», ПАТ «КВБЗ», ДНУЗТ, ІТМ НАНУ та ДКАУ, УкрДАЗТ. Комісія відзначила, що зауважень щодо стану кузовів піввагонів нового покоління не було (в існуючих конструкціях вантажних піввагонів уже після шести років експлуатації їхні кузова потребують часткового або повного капітального ремонту), обсяг ремонтних робіт візків піввагонів нового покоління через чотири роки їх експлуатації істотно менший у порівнянні з піввагонами зі стандартними візками після двох років експлуатації.

Застосування в конструкції візка моделі 18–7020 нелінійного профілю обода коліс ІТМ–73 дозволило знизити інтенсивність зносу гребня колеса приблизно в 3,3 рази: з 0,98→0,86 мм/10 тис. км — у візку моделі 18–100 з типовими колесами до 0,29→0,22 мм/10 тис. км — у візку моделі 18–7020 з профілем коліс ІТМ–73.

Підтверджено, що застосовані конструктивні рішення забезпечують міжремонтний пробіг не менше 500 тис. км, а по окремих вузлах вагона він складає більше 1 млн км, що набагато перевищує показники існуючих вантажних вагонів в Україні та в країнах СНД і Балтії. Сьогодні на залізницях України експлуатується понад 1000 піввагонів моделі 12–7023–01 із візками моделі 18–7020. Економічний ефект від експлуатації цих піввагонів у середньому на один вагон складає близько 20 млн грн на рік.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Напіввагон моделі 12–7039 із візками моделі 18–7033 та піввагон моделі 12–7039–01 із візками моделі 18–9836 пройшли повний комплекс попередніх випробувань. (рисунок 1.2).

Кузов напіввагона моделі 12–7039 має наступні конструктивні особливості:

- каркас бокових і торцевих стін виконаний із гарячекатаних та гнутих профілів, виготовлених із низьколегованих сталей класом міцності 375–390 МПа;
- горизонтальні пояси торцевих стін виконано із гнутих профілів, що дозволило знизити масу стін без погіршення характеристик міцності;
- хребтова балка виготовляється із зетового профілю з класом міцності не менше 390 МПа;
- передні та задні упори автозчепного пристрою приварної конструкції.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Напіввагон моделі 12–7039

Також в роботі [2] Запропоновано варіант модернізації існуючої конструкції верхньої обв'язки напіввагона шляхом приварки до неї рівнополичного кутика з метою збільшення її міцності. Теоретичні дослідження міцнісних якостей верхньої обв'язки універсального напіввагона виконано за допомогою методу скінченних елементів.

У статті [3] наведені результати дослідження динамічної міцності вагона-цистерни моделі 15–1900 и напіввагона моделі 12–1905 на візках моделі 18–1711 з навантаженням на вісь 25 т та уніфікованих за основними деталями і вузлами з вагонами попереднього покоління.

Результати випробувань доводять що дослідні вагони мають задовільні показники міцності, а їх уніфікація з вагонами попереднього покоління забезпечить їм ремо–нтопридатність на існуючій ремонтній базі.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		134

У роботі [4] представлено особливості та результати проведених робіт з наукового обґрунтування основних параметрів профілів, які запропоновані для модернізації об'язування верхнього та стійки вертикальної стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва.

Наведені матеріали свідчать про доцільність впровадження запропонованого підходу до оптимізаційного проектування елементів конструкції кузова вітчизняних напіввагонів з метою поліпшення їх техніко–економічних та експлуатаційних показників. Практична реалізація запропонованого підходу забезпечить досягнення суттєвого економічного ефекту при виготовленні та експлуатації елементів конструкції кузовів вантажного рухомого складу.

В роботі [5] наводяться інноваційні розробки у вантажному вагонобудуванні з метою відповідності нових типів вагонів сучасним умовам експлуатації для забезпечення попиту на вантажні вагони з поліпшеними технічними характеристиками і збільшеними міжремонтними пробігами.

В роботі [6] виконано аналіз змін щодо навантажень, що діють на кузови вантажних вагонів відповідно до нової нормативної документації. Розроблено скінченнуц–елементну модель кузова напіввагона підвищеної вантажопідйомності. Проведено серію розрахунків на міцність на поєднання навантажень, що виникають при різних режимах експлуатації напіввагонів. Виявлено невідповідність конструкції торцевої стіни вимогам до міцності при ударних взаємодіях. На підставі аналізу напружено–деформованого стану розроблено варіант раціонального конструктивного виконання торцевої стіни.

В статті [7] розглядається підвищення провізної здатності за рахунок збільшення осьового навантаження до 25 т. В результаті досліджень ВНІЖТ було встановлено, що застосування зміцнених рейок нових марок типу Р65 дає можливість усунути головну перешкоду підвищення осьових навантажень –

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		145

контактно–втомні руйнування рейок. На цій підставі ВНІЖТом були розроблені нові технічні вимоги до вагонів з осьовим навантаженням 25 т, а «Уралвагонзавод» представив на випробування два зразки нових напіввагонів. Ці вагони багато в чому копіювали конструктивні рішення вагона з навантаженням 22 т, але в них для підвищення вантажопідйомності було запроваджено нові посилені вузли, у тому числі візки. Важливим елементом новизни одного з досвідчених варіантів нового візка була гумова прокладка між буксою та бічною рамою. Проте результати випробувань цього вузла виявилися негативними, тому міжвідомча комісія рекомендувала до виробництва візок 18–131, в основному ідентичний до візка моделі 18–100.

В роботі [8] представлені розроблені конструкції нових типів вантажних вагонів, які відповідають вимогам нормативних документів та сучасним умовам експлуатації.

Виготовлені вантажні вагони пройшли повний комплекс попередніх та сертифікаційних випробувань. Досвід експлуатації розроблених вантажних вагонів свідчить про правильність обраних технічних рішень, що дозволяє з найбільшою ефективністю забезпечувати ринок конкурентоспроможними вагонами з високими техніко–економічними параметрами: покращеними характеристиками міцності, підвищеною надійністю, оптимальним поєднанням місткості та вантажопідйомності, збільшеною продуктивністю, збільшеним міжремонтним пробігом.

Універсальний напіввагон моделі 12–132 з осьовим навантаженням 25тон на вісь. (рисунок 1.3).

Объем кузова збільшено за рахунок збільшення висоти бокової стіни на 305 мм та довжини кузова на 50 мм. В даному напіввагоні для збільшення осьового навантаження проведена модернізація. В якості модернізації були підсилені шворневі балки та закладення стійок рами.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		156



Рисунок 1.3 – Напіввагон моделі 12–132

Напіввагон моделі 12–196 с осьовим навантаженням 25тонн на вісь.
(рисунок 1.4).

Збільшення об'єму кузова до 96 м кубічних за рахунок використання
габариту 1–Т, на 70% підсилена міцність торцевої стіни,



Рисунок 1.4 – Напіввагон моделі 12–196

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		167

Напіввагонів моделі 12–9850 на візках моделі 18–9800, випускаються ВАТ «Новокузнецький вагонобудівний завод». (рисунок 1.5)

Напіввагон складається з:

- суцільнометалевого кузова, що включає в себе раму з розвантажувальними люками, дві бічні та дві торцеві стіни;
- двох двовісних візків моделі 18–9800 по 26.В.503.00.00.000 ТУ з білінійною характеристикою ресорного підвішування, колісними парами за ГОСТ 4835 з цільнокатаними колесами діаметром 957 мм за ТУ 0943–170оп–01124323–2004 та буксовими вузлами з конічними дворядними касетними підшипниками касетного типу TBU 150 x 250 x 160 по ТУ ВНДП.048–2–01;
- пневматичного автоматичного гальма з роздільним приводом візків;
- гальма стоянки;
- двох автозчіпних пристроїв з автозчепленнями СА–3 та поглинаючими апаратами РТ–120 за ТУ 3183–001–11652562.

Основні характеристики гальмівної системи: тип гальма – пневматичний фрикційний колодкового типу з роздільним приводом візків; повітророзподільник 483А–03 або 783А–05 по ТУ 3184–021–05756760, авторежим – 265А–4 за ТУ 3184–509–05744521, гальмівні циліндри – 188Б за ГОСТ Р 52392 ТУ 3184–515–05744521, запасний резервуар Р7–135 ГОСТ Р 52400. Магістральний та підвідний повітропроводи обладнані повним комплектом з'єднувальної арматури для безрізьбових труб пневматичних систем залізничного рухомого складу за ТУ 3184–011–10785350. Вузли тертя шарнірних з'єднань гальмівних важільних передач з застосуванням втулок з композиційно–пресового матеріалу по ТУ 2292–011–56867231. Композиційні гальмівні колодки 126–12–58 ТУ 2571–123–05766936 (колодки з безазбестового композиційного матеріалу з металевими вклученнями

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		178

Фрітекс–970/2). Підвіска гальмівного башмака та кронштейн бічної рами візка обладнані полімерними втулками за ТУ 2292–001–55180710.



Рисунок 1.5 – Напіввагон моделі 12–9850

У низці країн осьове навантаження набагато вище. Наприклад, у Північній Америці масово використовують вагони з осьовим навантаженням 32,5 тс, в Австралії та ПАР, де кліматичні умови м'якші, ніж у нашій країні, цей показник становить 36 тс, у Бразилії ведуть роботи з досягнення осьового навантаження 37,5 тс.

Також на залізниця Росії вже спроектовані вагони з осьовим навантаженням 27 тон на вісь, даний вагон моделі 12–9548–02 представлений з інноваційними пружинами. (рисунок 1.6)

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



Рисунок 1.6 – Напіввагон моделі 12–9548–02

Ходова частина вагона є новаторською розробкою. У ній застосовані елементи із зносостійких матеріалів, наприклад високоміцного чавуну з кулястим графітом. Використані такі екзотичні матеріали, як надвисокомолекулярний поліетилен, що забезпечує вкрай низьке тертя між фрагментами конструкції. Повністю перероблено система гасіння коливань, яка знижує динамічний вплив на колію. Використовується в півтора рази м'якше ресорне підвішування.

Новий візок має збільшену на 20 мм колісну базу та спеціально підібраний для зниження впливу на шлях коефіцієнт відносного тертя. У колісних парах застосовані колеса зі сталі марки «Т», які при роботі з композиційними гальмівними колодками з чавунною вставкою дають істотне зниження кількості дефектів поверхнях кочення. Особливо слід виділити ключовий елемент – гвинтові циліндричні пружини ресорного підвішування

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

візків вантажних вагонів. Висока гнучкість ресорного підвішування дозволила забезпечити суму статичної і динамічної складової вертикальної сили такої ж величини, як у типового візка з набагато нижчим осьовим навантаженням – 23,5 тс

Вагон «27 тс» порівняно з масовим вагоном із навантаженням на вісь 23,5 тс. У 2017 році Об'єднана вагонна компанія (ОВК) розробила напіввагони наступного, сьомого покоління – на візках із навантаженням на вісь 27 тс. На Тихвінському вагонобудівному заводі (входить до ОВК) розроблено, сертифіковані та виготовлені універсальні напіввагони на візках з осьовим навантаженням 27 тс. Їхні випробування у 2017–2018 роках на ділянці Качканар—Смичка визнані успішними. Роботи з моніторингу стану залізничної інфраструктури та самих вагонів проводилися протягом чотирьох сезонів. У польових тестах було задіяно кілька випробувальних центрів та науково–дослідних інститутів. За рік вони провели ходові динамічні випробування вагонів і мостів, експериментальні дослідження та оцінку дії великовагових поїздів на колію та високі насипи, оцінку економічної ефективності.

Одним із важливих показників була оцінка вібраційного впливу на земляне полотно та високі насипи. Спостереження показали, що на колію з дерев'яними шпалами на азбестовому баласті під час промерзання ґрунтів зміни рівня вібродинамічного впливу на полотно немає, у період відтавання обумовлений не вагонами, а факторами, пов'язаними з технічним станом земляного полотна та рейкового стику. Рух вагонів з навантаженням на вісь 27 тс та погіршення показників стійкості насипів укосів не призводить до: амплітуди віброшвидкості не збільшуються, коефіцієнти загасання коливань по довжині укосу не зменшуються, а інтенсивність коливань у смузі частот 0,1–10 Гц не зростає.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						220
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Планові огляди самих вагонів та контроль їх стану під час випробувань виявили, що експлуатаційна надійність напіввагонів з візками 27 тс на вісь наближається до 100%. За час пробігу, що в середньому досяг майже 100 тис. км, відмов через конструктивні недоліки не було. Для прикладу, найпоширеніша для вагонів причина поступання в ремонт — прискорене зношування гребеня колеса. Порівняльний аналіз відчіпок двох типів вагонів — на візках 18–100 з осьовим навантаженням 23,5 тс і на візках 18–6863 з осьовим навантаженням 27 тс показав, що у останнього темп зносу гребенів удвічі нижчий.

Плюси:

- підвищення на 13 т вантажопідйомності;
- підвищення на 17 куб. м до обсягу вагона;
- підвищення на 20% до маси поїзда за збереження довжини поїзда.

Мінуси:

- Експлуатація можлива на ділянках інфраструктури із сучасною верхньою будовою колії;
- необхідно додаткове обстеження технічного стану ділянок інфраструктури та штучних споруд.

За розглянутою інформацією бачимо, що для підвищення осьового навантаження більше уваги приділяють ходовим частинам вагону ніж самому кузову напіввагона.

Тому в даній роботі проведемо аналіз можливості підвищення осьового навантаження напіввагону моделі 18–783 з осьовим навантаженням 23 тони на вісь до 25 тон на вісь за рахунок встановлення на піввагон інноваційних візків моделі 18–7033 тип 3 з осьовим навантаженням 25 тон на вісь та модернізацію кузова напіввагону.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2. Модель та конструкція кузова напіввагона

2.1 Метод скінченних елементів

Для вирішення поставленої задачі розроблено просторову скінченно-елементну модель напіввагона з осьовим навантаженням 23,5 тс.

На даний момент метод скінченних елементів(МСЕ) є найпоширенішим методом розрахунку вагонів на міцність.

В основі МСЕ закладено розбиття геометрії твердого деформованого тіла на лінійні, плоскі чи об'ємні найпростіші елементи. В якості елементів, що найчастіше використовуються на практиці, виступають лінійні стрижневі елементи (працюючі на розтягування (стиснення), кручення та вигин), плоскі пластинчасті елементи (враховують мембранні, зсувні, поперечні і згинальні силові фактори) та об'ємні тривимірні елементи. Кожна сторона елемент містить два і більше вузлів. Для кожного вузла елемента задаються координати, що описують його зміщення.

Розрахунок конструкції МСЕ є трудомістким внаслідок високого порядку систем рівнянь, та його застосування доцільно здійснювати виключно на електронно-обчислювальній машині. Точність результату розрахунку конструкції багато в чому залежить від параметрів сітки скінчено-елементної моделі, що контролюється. До таких параметрів відносяться розмір та регулярність сітки. Розбиття сітки може здійснюватися автоматично або вручну. Основним способом розбиття сітки є автоматичний метод.

Спочатку визначивши тип елемента, на першому етапі розбиття сітки, задаються розміри скінченних елементів, які залежать від особливостей геометрії досліджуваної конструкції. Оптимальний розмір скінченного

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елемента дозволяє отримати результати розрахунку з допустимим рівнем помилок за задовільний час розрахунку.

Дрібна сітка доцільна там, де можливі значні відносні деформації або напружень, у місцях концентраторів напружень, а також у областях, що становлять особливий інтерес для дослідника.

Практика розрахунку конструкцій МКЕ дозволяє зробити такі висновки щодо організації кінцевої сітки: сітка рекомендується впорядкована, переважно прямокутна з чотирьох вузловими елементами (можливо застосування інших найпростіших, бажано рівносторонніх елементів, таких як трикутник), слід уникати надто витягнутих та вузьких елементів, чотирьох вузлові елементи повинні мати кути менше 180° , у місцях концентраторів і в подібних не рекомендується використовувати елементи, що межують між собою суттєвою різницею геометричних розмірів, доцільно збільшувати розмір кінцевих елементів у напрямку від градієнта напружень.

2.2 Конструкція та параметри піввагона

Універсальний чотиривісний, суцільнометалевий напіввагон моделі 12–783 зі зварним кузовом, виготовлений з низьколегованої сталі 09Г2С або 09Г2Д. (рисунок 2.1) Призначені для перевезення штучних, насипних в тому числі дрібношматкових і пакетованих вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів по всій мережі залізниць з шириною колії 1520 мм з можливістю розвантаження через розвантажувальні люки розміщені в підлозі вагона або на вагоноперекидачі. Для цього відкритий зверху кузов має чотирнадцять розвантажувальних люків, кришки яких утворюють підлогу [9].

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Розвантаження вагона здійснюється через розвантажувальні люки або на вагоноперекидачі. Гальма – автоматичне пневматичне та стоянкове. Ходова частина – два двовісних візки мод. 18–7055 тип 2 ГОСТ 9246 або інші візки тип 2 ГОСТ 9246. Автозчеп СА–3. Поглинаючий апарат класу Т1.



Рисунок 2.1 – Напіввагон моделі 12–783

Рама вагона є цільнозварною конструкцією і складається з кузова двох візків ударно-тягового пристрою та гальм.

Кузов напіввагона складається з рами двох бокових та двох торцевих стін.

Підлога кузова напіввагона утворюють 14 кришок розвантажувальних люків. Кришка люка являє собою шести гофровий лист товщиною 5 мм, підкріплений двома бічними, передньої, надпільної і середньою балками у вигляді гнутих або штампованих профілів.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні розміри напіввагона моделі 12-783 представленні на рисунку 2.2.

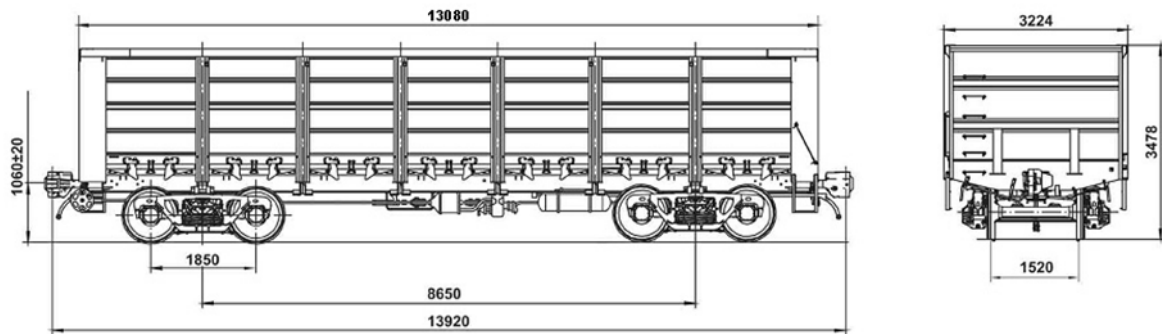


Рисунок 2.2 – Основні розміри напіввагона моделі 12–783

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики напіввагона моделі 12–783

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Вантажопідйомність, не більше, т	70,0
Об'єм кузова, м ³	78
Маса тари, не більше, т	24,0
Розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230,5 (23,5)
База вагона, мм	8650
Довжина вагона по осям автозчеплень, мм	13920
Габарит по ГОСТ 9238	1–ВМ
Внутрішні розміри кузова, мм:	
– довжина	12 790
– ширина	2 990
– висота	2 045
Тележка	18–7055
Міжремонтний пробіг, років (тис.км)	3(210)
Конструкційна швидкість, км/год	120
Термін служби, років	22

Через збільшення осьового навантаження для даної моделі напіввагона, встановлюємо під нього інноваційні візки моделі 18-7033 тип 3.

Візок [10] відповідає типу 3 згідно з ГОСТ 9246, ДСТУ 7530. Призначений для встановлення під вантажні вагони з навантаженням від колісної пари на рейки 25 тс, що експлуатуються на магістральних залізницях колії 1520 мм. Візок забезпечує експлуатаційну надійність вагонів в інтервалі температури навколишнього середовища від -60 до +50 градусів Цельсія (виконання УХЛ категорія розміщення 1 ГОСТ 15150). Конструктивні рішення візка забезпечують збільшений термін між деповськими ремонтами.

Візок складається з:

- колісних пар з конічними дворядними підшипниками касетного типу TBV 150x250x160 із застосуванням адаптерів та колесами підвищеної міцності;
- бічних рам та надресорної балки посиленої конструкції;
- комплекту центрального ресорного підвішування з нелінійною силовою характеристикою, до якого входять циліндричні пружини з клиновими фрикційними гасниками коливань;
- гальмівної важільної передачі;
- комплекту ковзунів постійного контакту.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики візка моделі 18–7033 тип 3

Маса, кг	5000
Висота від головок рейки до опорної поверхні підп'ятника, мм	818
База, мм	1850

Гнучкість ресорного підвішування під тарою, мм/Н	1,98x10 ⁻⁴
Гнучкість ресорного підвішування під брутто, мм/Н	1,22x10 ⁻⁴
Максимальне статичне навантаження від колісної пари на рейку, тс	25
Міжремонтний пробіг до першого деповського ремонту, років	4
Конструкційна швидкість, км/год	120

2.3 Геометрична модель.

Для оцінки міцності конструкції кузова напіввагона напочатку розробили геометричну модель.

Рама кузова (рисунок 2.3) складається з хребтової балки яка в свою чергу складається з двох зетів №31 з товщиною полки 17мм і товщиною стінки 6мм та двутавра №19 з відповідними товщинами 9 та 6 мм. Двох шворневих балок коробчастого перерізу виготовлених з двох вертикальних, верхнього та нижнього горизонтальних листів з відповідними товщинами 8, 10 та 12 мм. Двох кінцевих балок коробчастого перерізу із гнутого профілю товщиною 7 мм. Проміжні та середні балки зварені у вигляді двотавра з вертикального, верхнього та нижнього листів, що мають товщину відповідно 12, 7 та 8 мм.

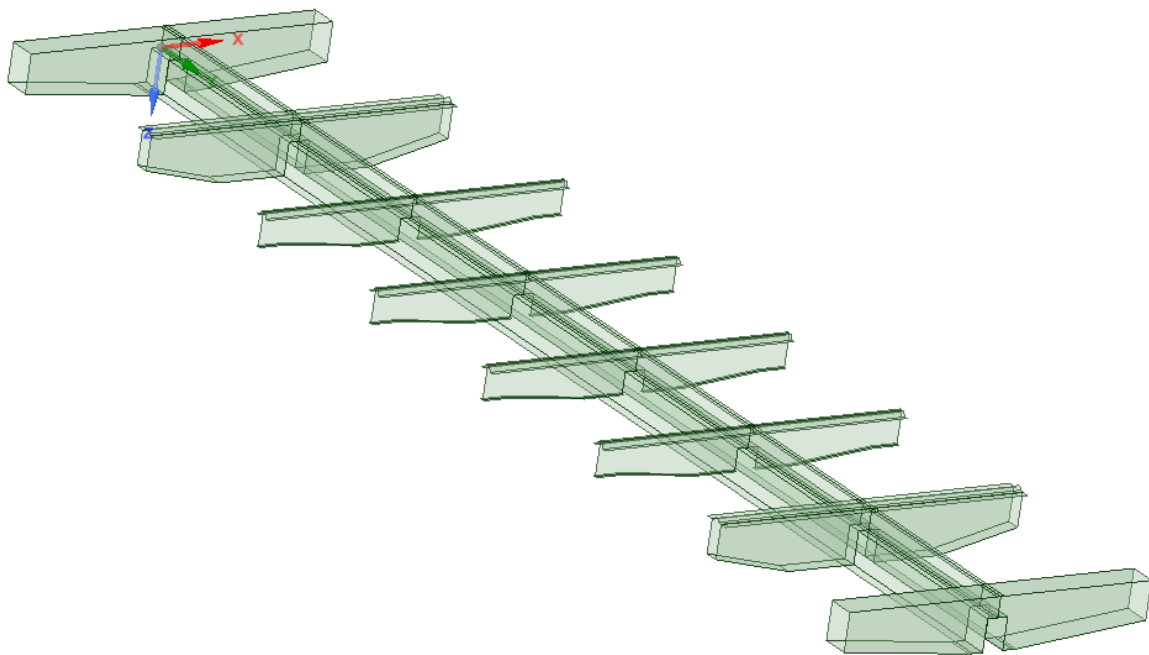


Рисунок 2.3 – Рама напіввагона моделі 12–783

Кузов напіввагона суцільнометалевий, зварної конструкції, складається з двох бічних стін та двох торцевих стін.

Бічна стіна включає верхній і нижній обв'язувальні пояси, дві шкворневі і чотири проміжні стояки, а також лист обшивки товщиною 5мм. Верхній обв'язувальний пояс виконаний з гнутого профілю товщиною 10 мм, нижній – з прокатного куточка №16 товщиною 10мм, шкворневі та проміжні стійки – з спеціального омегоподібного прокату з відповідною товщиною 6мм. (рисунок 2.4)

Відстані між стояками дорівнюють відстаням між відповідними поперечними балками рами напіввагона.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

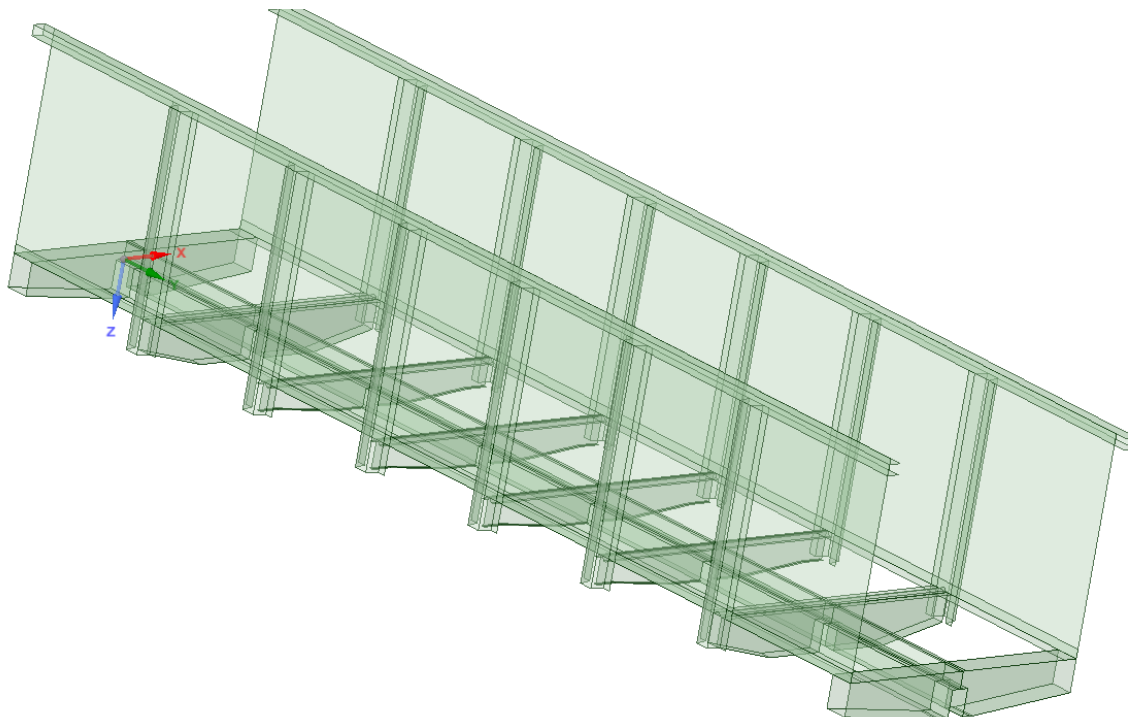


Рисунок 2.4 – Бічна стіна кузова напіввагона моделі 12–783

Торцева стіна складається з верхнього та нижнього обв'язувальних поясів, з двох бічних стояків, двох поперечних поясів та двох напівстояків. Верхній пояс виготовлений із замкнутого гнутого профілю поперечного перерізу перетином 160x145x10мм, а нижній пояс із гнутого кутника перетином 160x100x12мм. Поперечні пояси виготовлені із швелера 250x102x9мм, напівстояки зі швелера №16, а бічні стояки з швелеру №12. Обшива приварена з внутрішньої сторони кузова товщиною 4мм. (рисунок 2.5)

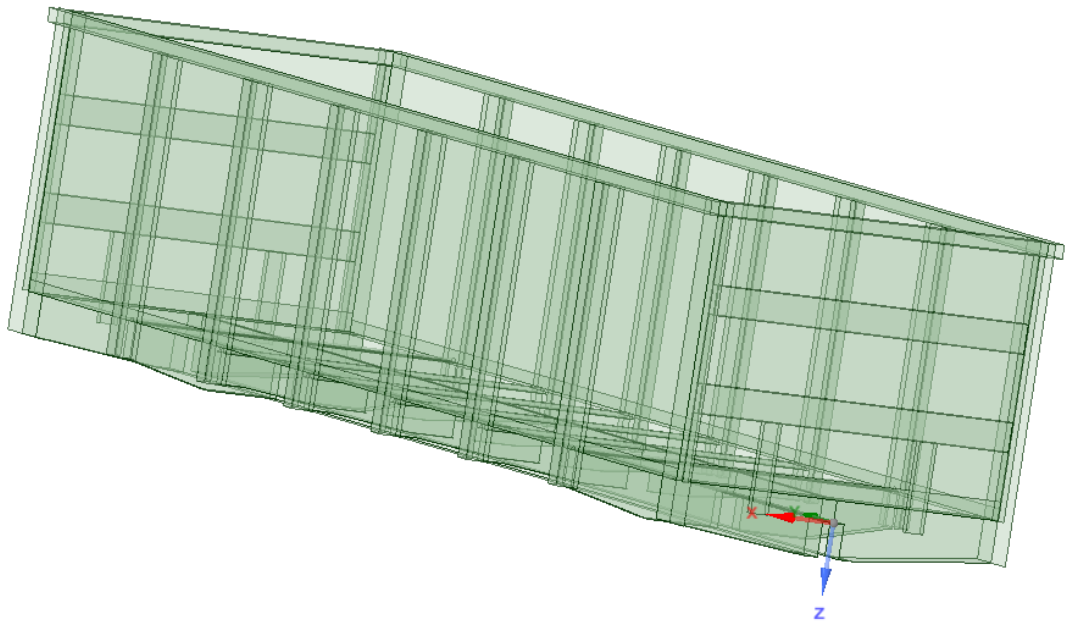


Рисунок 2.5 – Торцева стіна кузована напіввагону моделі 12–783

2.4 Скінченно–елементна модель кузова напіввагона

Геометрична модель автоматично розбивається на скінчені елементи. Скінчені елементи являють собою переважно чотирикутні елементи (4–кутні оболонки), для переходів можуть використовуватися трикутні елементи. В якості матеріалу кузова прийнята сталь з межею плинності 390 МПа, з модулем Юнга 210 ГПа та коефіцієнтом Пуассона 0,3. (рисунок 2.6)

Характерний розмір ребра елемента – 0.1 м.

Кількість вузлів – 25 950

Кількість елементів – 25 857

Таблиця 2.1 – Допустимі навантаження $[\sigma]$ МПа

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Елементи	σ_T	I p-p	III p-p
Хребтова та шворнева балка	390	351	240
Елементи кузова окрім хребтової та шворневої балки	390	370	250

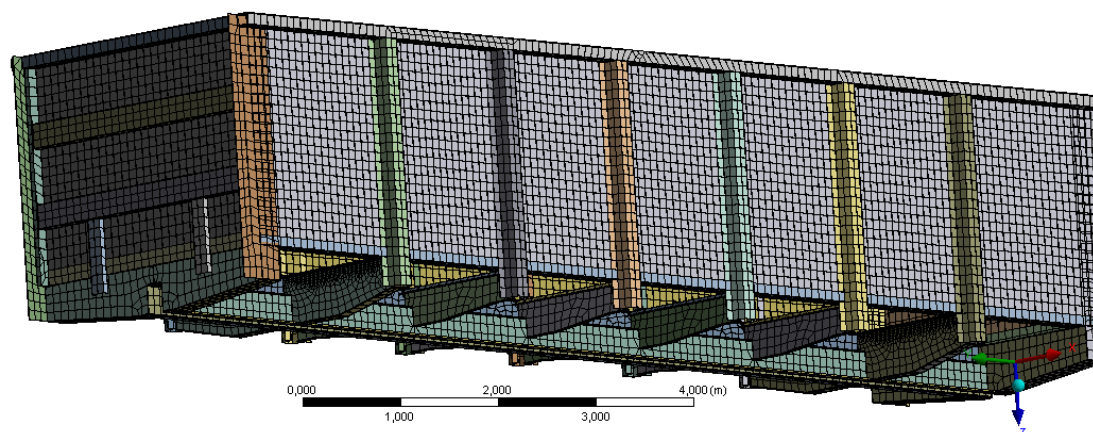


Рисунок 2.6 – Скінченно-елементна модель кузова напіввагона

2.5 Розрахункові режими, навантаження

Оцінка міцності виконується відповідно до навантажень I та III розрахункових режимів [26].

По I розрахунковому режимі розглядається відносно рідкісне поєднання експериментальних навантажень. Основна вимога при розрахунку на міцність

за цим режимом – не допустити появи залишкових деформацій (ушкоджень) у вузлі або деталі. В експлуатації при I розрахунковий режим відповідає руху великовагового складу з місця, зіткнення вагонів при маневрах, у тому числі при розпуску з сортувальних гірок, екстрене гальмування в поїздах при малих швидкостях руху.

За III розрахунковим режимом розглядається відносно часте можливе поєднання помірних за величиною навантажень, характерне для нормальної роботи вагона в поїзді, що рухається. Основна вимога при розрахунку за цим режимом – не допускати втомного руйнування вузла або деталі. В експлуатації при III розрахунковому режимі відповідає рух вагона у складі поїзда по прямих і кривих ділянках колії та стрілочних переводах з швидкістю, що допускається, аж до конструкційної, при періодичних службових регулювальних гальмуваннях, періодичних помірних ривках і поштовхах, штатній роботі механізмів вузлів вагона.

В експлуатації на вагон діють наступні навантаження Стискаюча поздовжня квазістатична сила; сила тяжіння брутто; вертикальне динамічне навантаження; поперечна сила; сили розпору вантажу; поперечна складова поздовжньої стискаючої квазістатичної сили; розтягуюча поздовжня сила ривка; поздовжні сили інерції кузова та вантажу; стискаюча поздовжня сила удару; вертикальна добавка від поздовжньої сили інерції кузова; відцентрова сила.

Зусилля при навантаженні за III розрахункового режиму при стисканні.
(Стискаюча поздовжня квазістатична сила; сила тяжіння брутто; вертикальне динамічне навантаження; поперечна сила; сили розпору вантажу.)

Для III розрахункового режиму приймаємо значення $N=1$ МН.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Поздовжня квазістатична сила N діє з обох кінців вагона і прикладена до передніх (розтягує сила $N > 0$) або задніх (стискаюча сила $N < 0$) упорних косинців

Сила тяжіння бруutto складається із сили тяжіння кузова та сили тяжіння вантажу. Сила тяжіння кузова рівномірно розподілена по розрахунковій моделі (навантаження на кожен елемент пропорційно його масі) і моделюється прикладенням відповідного вертикального прискорення $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Сила тяжіння вантажу визначається:

Для розрахунку визначимо вантажопідйомність вагона при осьовому навантаженню 25 тон на віс:

$$m_B = P_{\text{op}} - T_B + 2(m_T(18 - 7033) - m_T(18 - 100))$$

$$m_B = 100 - 24 + 2(5 - 4,9) = 100 - 24,2 = 75,8 \text{ т.}$$

Проведемо розрахунок для III розрахункового режиму при стисканні

$$P_\Gamma = m_B g,$$

де m_Γ – максимальна допустима маса вантажу (вантажопідйомність вагона), $m_\Gamma = 75,8 \text{ т.}$

Прикладається сила тяжіння вантажу до петлів та закидок люків вагонів. На один люк діє $1/14$ сили тяжіння вантажу:

$$P_{\Gamma}^{\text{люк}} = \frac{m_\Gamma g}{14},$$

$$P_{\Gamma}^{\text{люк}} = \frac{75,8 \cdot 9,81}{14} = 53,114 \text{ кН.}$$

Вертикальне динамічне навантаження визначається як добуток сили тяжіння на коефіцієнт вертикальної динаміки $k_{\text{дв}}$, який визначається за формулою

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\text{дв}} = \frac{\overline{k_{\text{дв}}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(k_{\text{дв}})}}$$

де

$$\overline{k_{\text{дв}}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot b \frac{v - 15}{f_{\text{ст}}},$$

середнє ймовірне значення коефіцієнта вертикальної динаміки;

β – параметр розподілу (1,13 – для завантажених вагонів, 1,5 – для порожніх)

a – коефіцієнт, який приймається на основі обробки результатів теоретичних та експериментальних дослідів, для кузова вагона $a=0,05$;

b – коефіцієнт, який враховує вплив кількості осей у візку під одним кінцем вагона значення коефіцієнта динаміки:

$$b = \frac{n + 2}{2 \cdot n}$$

n – кількість осей у візку під одним кінцем вагона, $n = 2$,

$$b = \frac{2 + 2}{2 \cdot 2} = 1;$$

v – розрахункова швидкість руху вагона, $v = 33,3$ м/с;

$f_{\text{ст}}$ – статичний прогин ресорного підвішування, $f_{\text{ст}} = 0,0527$ м.

Тоді

$$\overline{k_{\text{ов}}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{33,3 - 15}{0,0527} = 0,175,$$

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\partial \text{в. max}} = \frac{0,175}{1,13} \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \ln \frac{1}{1-0,97}} = 0,325.$$

Тоді вертикальне динамічне навантаження, що діє від вантажу на один люк, дорівнює

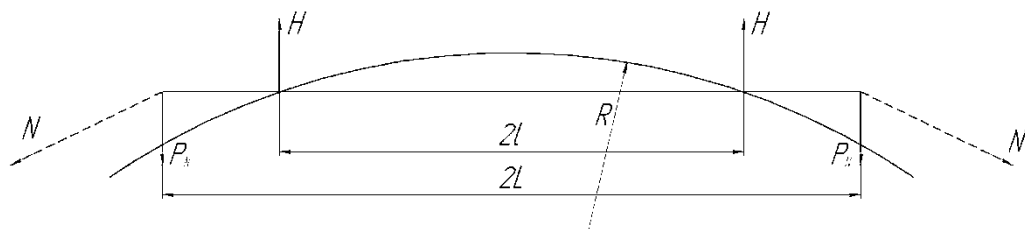
$$P_{\text{д}}^{\text{люк}} = 52,09 \cdot 0,325 = 17,19 \text{ кН},$$

і прикладається в ті ж точки, що й статичне навантаження від ваги вантажу. Вертикальне динамічне навантаження від кузова рівномірно розподілена за розрахунковою моделлю і враховується шляхом збільшення значення прискорення вільного падіння

$$(1+k_{\text{дв}}) = (1+0,325) = 1,325 \text{ разу.}$$

Поперечна складова P_N поздовжньої квазістатичної сили прикладається до рами кузова в площині передніх упорних косинців автозчіпного пристрою у разі дії розтягуючих сил і в площині задніх упорних косинців при дії стискаючих сил. (рисунок 2.7)

а)



б)

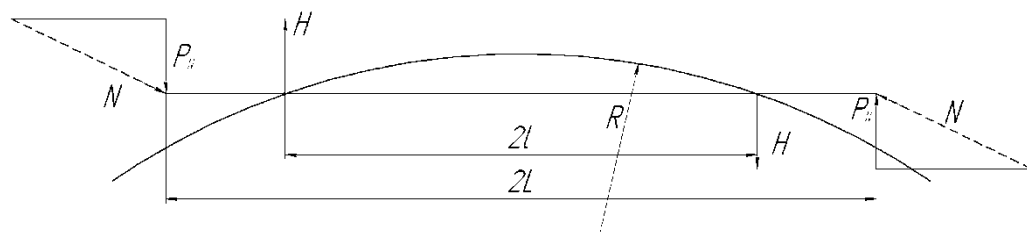


Рисунок 2.7 – Прикладення сил взаємодії між вагонами під час проходження кривих ділянок колії: а – розтяг; б – стиск

Для випадку дії стискаючих поздовжніх сил поперечна складова поздовжньої квазістатичної сили, що стискає, визначається за формулою

$$P_N = N \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{L_c}{R} \right] \frac{l}{L},$$

де:

N – поздовжня квазістатична сила, прикладена вздовж осі корпусу автозчеплення ;

R – радіус кривої, приймається рівним 250 м;

$2l, 2L, 2L_c$ – відповідно база вагона, відстань між упорними плитами автозчепів і довжина вагона по осях зчеплення автозчіпок,

$$2l = 8,65 \text{ м}, 2L = 13,080 \text{ м}, 2L_c = 13,92 \text{ м};$$

a – розрахункова довжина корпусу автозчеплення, $a = 1,0$ м;

δ – можливе бічне переміщення шкворневого перерізу кузова вагона за рахунок зазорів колісної пари в рейковій колії, зазорів у буксових напрямних, п'ятниках та пружних деформацій ресор, $\delta = 0,040$ мм.

Тоді при стиску

$$P_N = 2500 \left[\frac{0,04 \cdot 6,536}{4,325^2} \left(1 + \frac{6,536}{1} \right) + \frac{6,96}{250} \right] \cdot \frac{4,325}{6,536} = 220,298 \text{ кН}.$$

Сили розпору вантажу p створюють тиск на внутрішню поверхню бічних та торцевих стін кузова, величина якого є лінійною функцією висоти у:

$$p = \gamma g y (1 + k_{\text{дв}}) \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right),$$

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

де y – Висота кузова вагона зсередини, $y = 2,365$ м;

$k_{\text{дв}}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки, приймаємо для III розрахункового режиму – $k_{\text{дв}}(\text{дв."max"}) = 0,325$

γ – насипна щільність вантажу, що визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{m_{\Gamma}}{V}, \text{ т/м}^3.$$

V – обсяг кузова, $V = 78 \text{ м}^3$,

$$\gamma = \frac{75,8}{78} = 0,971 \text{ т/м}^3;$$

φ – кут природного укосу вантажу, приймаємо $\varphi = 0$ – перевезення труб, колод та інших вантажів, що скочуються.

Тоді максимальний тиск на стінки кузова (рисунок 2.8) при:

III розрахунковому режимі

$$p = 0,971 \cdot 9,81 \cdot 2,365 \cdot (1 + 0,325) \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{0}{2} \right) = 29,85 \text{ кН/м}^2$$

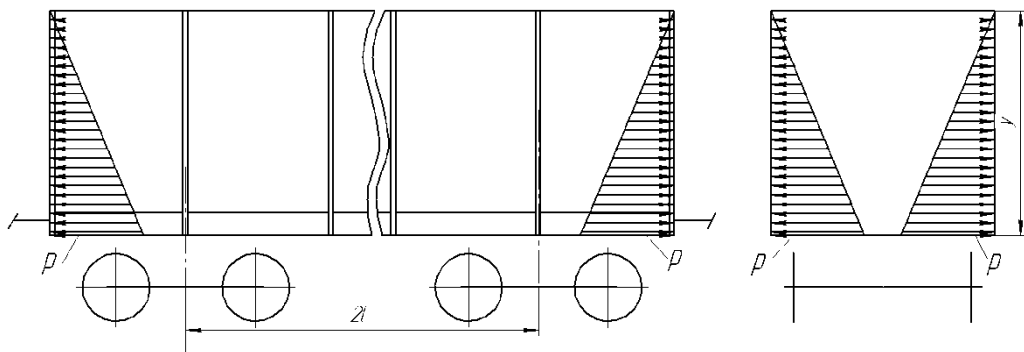


Рисунок 2.8 – Прикладення сили розпору вантажу до торцевих і поздовжніх стінок кузова

Проведемо розрахунок для I розрахункового режиму при ударі.

(Стискаюча поздовжня сила удару; сила тяжіння бруто; вертикальна добавка від поздовжньої сили інерції кузова; сили розпору вантажу;)

Для I розрахункового режиму приймаємо значення $N=3,5$ МН.

Стискаюча поздовжня сила удару дорівнює $-3,5$ МН (діє в інший напрямок)

Поздовжня квазістатична сила N діє з одного кінця вагона і прикладена до задніх (стискаюча сила $N<0$) упорних косинців

Сила тяжіння бруто аналогічно III розрахунковому режимі.

Вертикальна добавка P_z (рисунок 2.9) від поздовжньої сили інерції кузова бруто на візок визначається за такою формулою:

$$P_z = N \frac{h_k}{2l},$$

где h_k – расстояние от центра тяжести кузова вагона до оси автосцепки,
 $h_k = 1,4$ м;

$2l$ – база вагона, $2l = 8,650$ м.

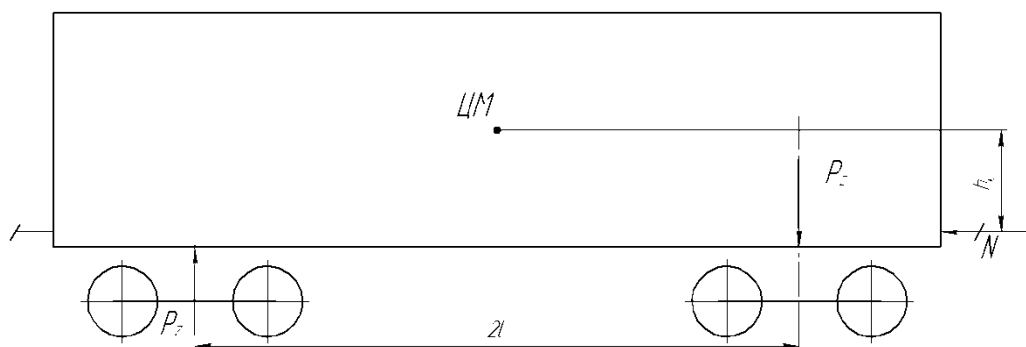


Рисунок 2.9 – Схема застосування вертикальної добавки від поздовжньої сили інерції кузова бруто.

I розрахунковий режим, удар

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$P_z = -3,5 \frac{1,4}{8,65} = 0,56647 \text{ МН},$$

Сили розпору вантажу р при І розрахунковий режим, удар

$$p = 0,971 \cdot 9,81 \cdot 2,365 \cdot (1 + 0,1) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{0}{2} \right) = 24,78 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

2.6 Розрахунок на міцність

Провели розрахунок кузова напіввагона для першого та третього розрахункових режимів.

Повздовжню квазістатичну сила N1 та N2 діє з обох кінці вагону і приклали її до хребтової балки в місцях де розміщуються задні упорні косинці. Силу тяжіння бруто PLD приклали до верхньої полиці двутавра хребтової балки та до нижнього обв'язувального поясу бокової стіни. Сили розпору вантажу PRLDS та PRLSE прикладена до обшив бокових та торцевих стін, навантаження змінне за висотою(рисунок 2.9). Сили інерції візка NBG прикладена до хребтової балки у місці де знаходиться п'ятник. Тиск на торцеву стіну NLD прикладений до обшиви торцевої стіни, навантаження змінне за висотою(рисунок 2.9).

Дана модель закріплена на хребтовій балці на нижніх полицях зетів двутавра у місці де розміщуються п'ятники від поперечних та вертикальних переміщень CP1 та CP2. Також закріплена на ребрах шворневих балок у місці розташування ковзунів від вертикальних переміщень SL1 та SL2.

Схема прикладання навантажень для І розрахункового режиму. (рисунок 2.10)

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

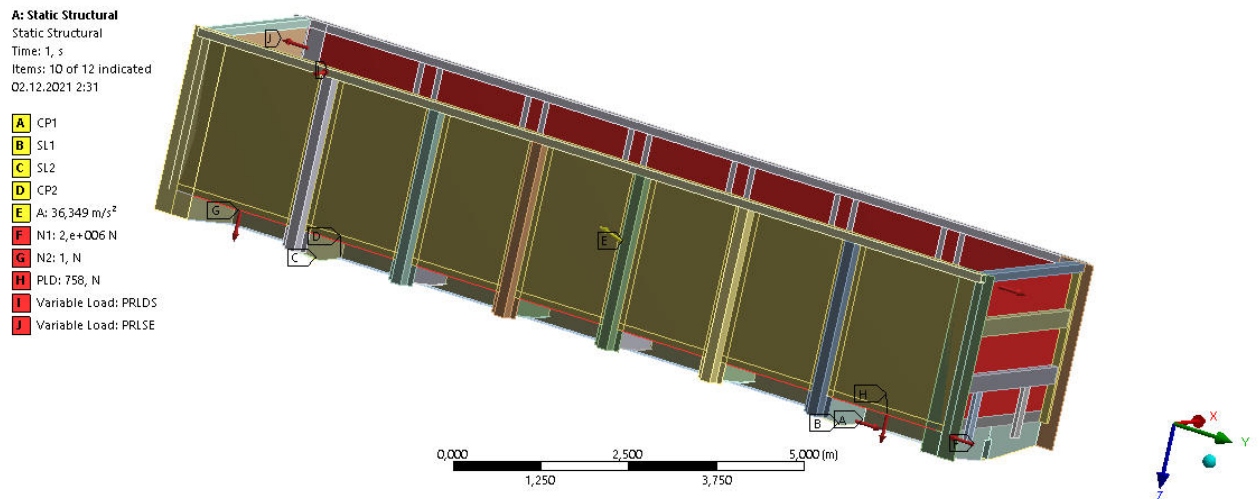


Рисунок 2.10 – Схема прикладання навантажень при I розрахунковому режимі

Схема прикладання навантажень для III розрахункового режиму.
(рисунок 2.11)

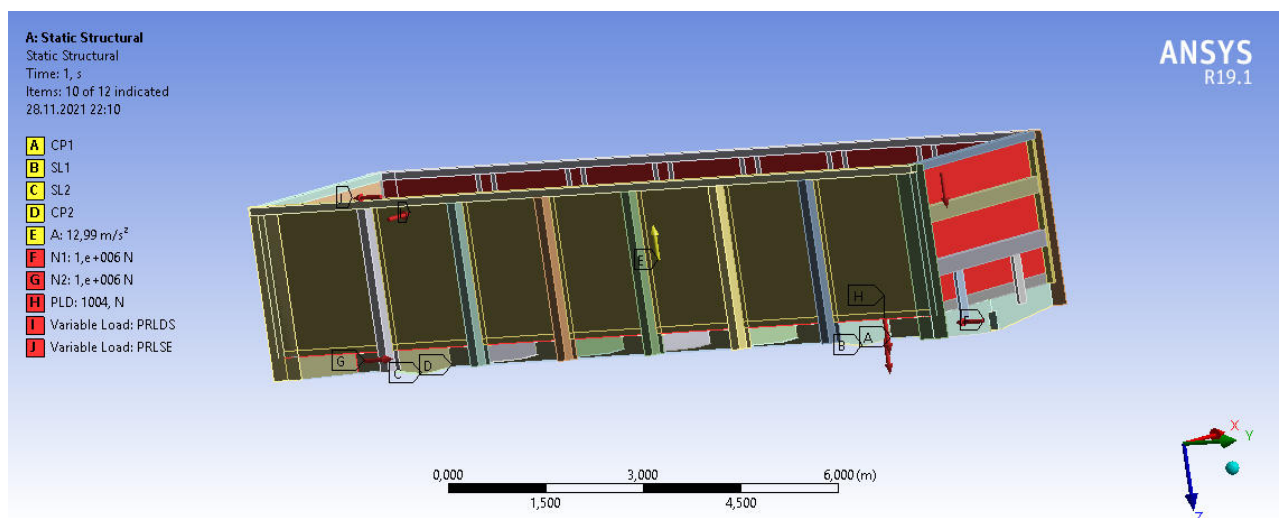


Рисунок 2.11 – Схема прикладання навантажень при III розрахунковому режимі

Висновок до розділу: В розділі виконано аналіз методу скінченних елементів. Описали напіввагона моделі 12-783 який будемо модернізувати з технічними параметрами, описи візки моделі 18-7033 тип 3 з підвищено вантажопідйомністю. Розробили геометричну модель кузова напіввагона. Розробили скінченну модель кузова напіввагона. Провели розрахунок навантажень за відповідними розрахунковими режимами (І та ІІІ розрахункові режими),

Визначили навантаження які діють на вагон при І та ІІІ розрахункових режимах для напіввагона моделі 12-783 з підвищеним осьовим навантаженням 25 тон на віс.

Описали прикладення сил та закріплення моделі кузова напіввагона від переміщень. Провели розрахунок на міцність моделі кузова напіввагона при І та ІІІ розрахункових режимах.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

3. Напружений стан кузова напіввагона

3.1 Результати розрахунків

При першому розрахунковому режимі максимальне допустиме напруження становить 351 МПа для всіх елементів кузова напіввагону та 370 МПа для торцевої стіни. Загальна схема напруженого стану напіввагону. (рисунок 3.1)

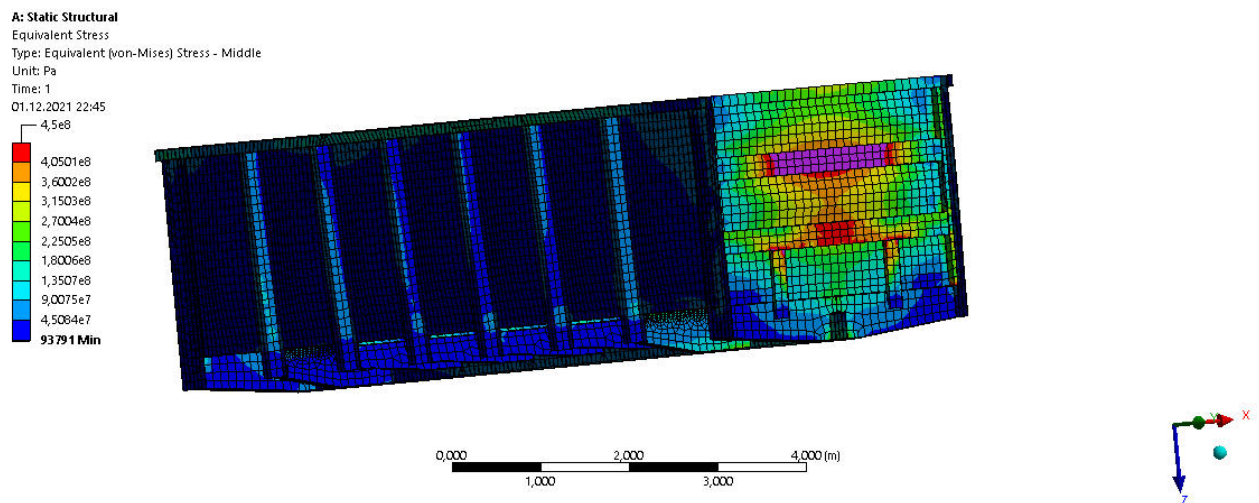


Рисунок 3.1 – Схема напруженого стану кузова напіввагону при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан хребтової балки кузова напіввагона представлений на рисунку 3.2.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 4
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 01.12.2021 22:46
 4e8
 3,4293e8
 2,8585e8
 2,2878e8
 1,7171e8
 1,1463e8
 5,7559e7
 4,849e5 Min

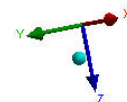
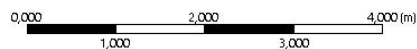
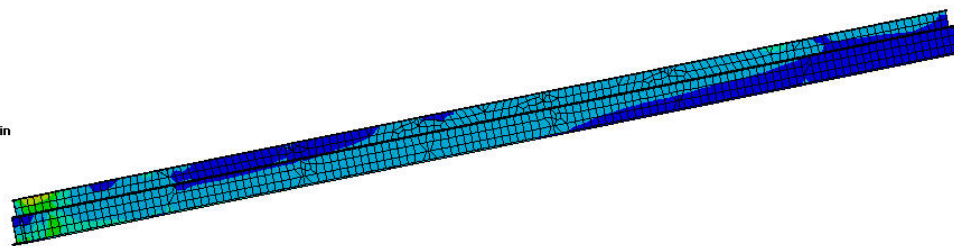


Рисунок 3.2 – Напружений стан хребтової балки при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан бокової стіни кузова напіввагона представлений на риунку 3.3.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 2
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 01.12.2021 22:43
 4e8
 4e8
 3,5557e8
 3,1056e8 Max
 2,6671e8
 2,2227e8
 1,7784e8
 1,3341e8
 8,898e7
 4,4549e7
 1,1742e5 Min

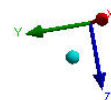
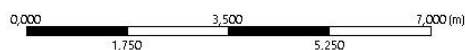
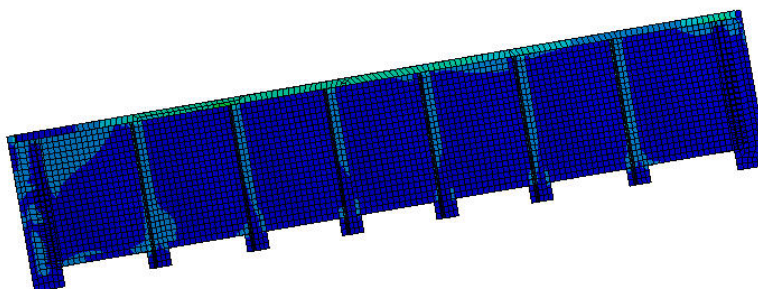


Рисунок 3.3 – Напружений стан бокової стіни при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан шкворневої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 3.4.

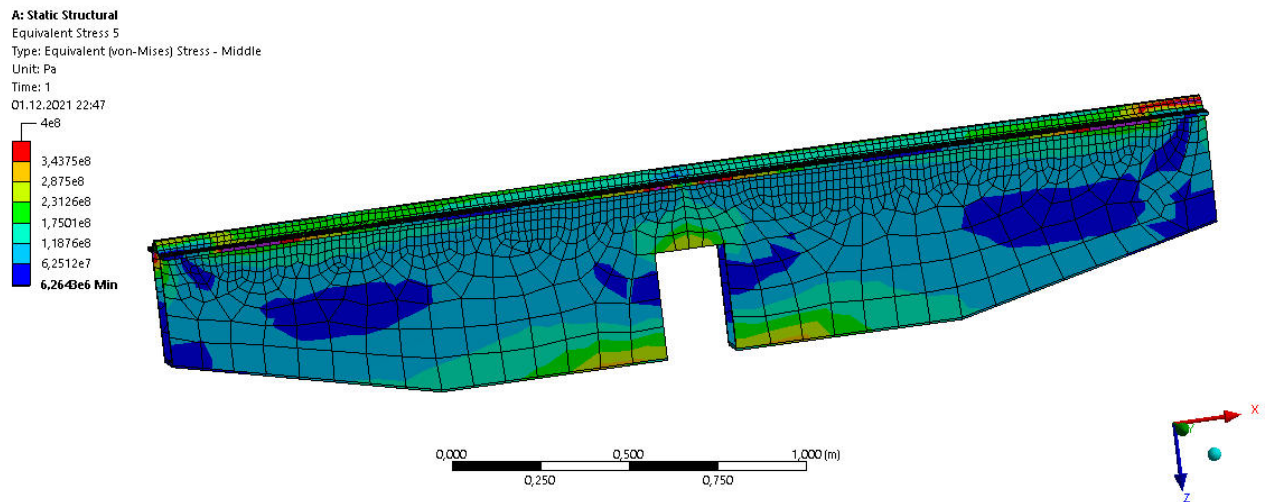


Рисунок 3.4 – Напружений стан шкворневої балки при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан кінцевої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 3.5.

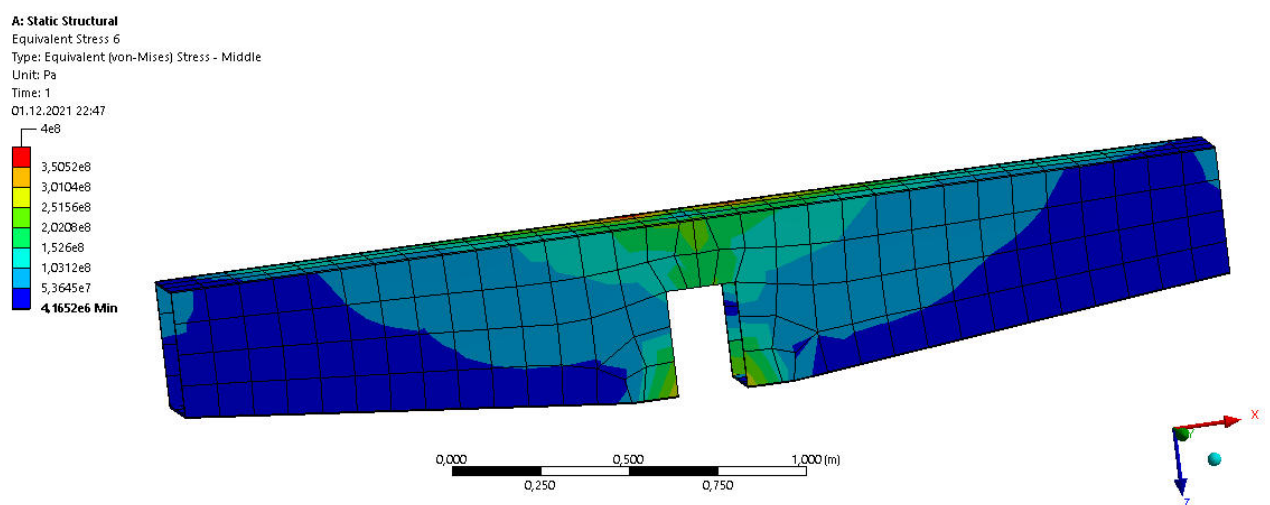


Рисунок 3.5 – Напружений стан торцевої балки при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан торцевої стіни кузова напіввагона представлений на рисунку 3.6.

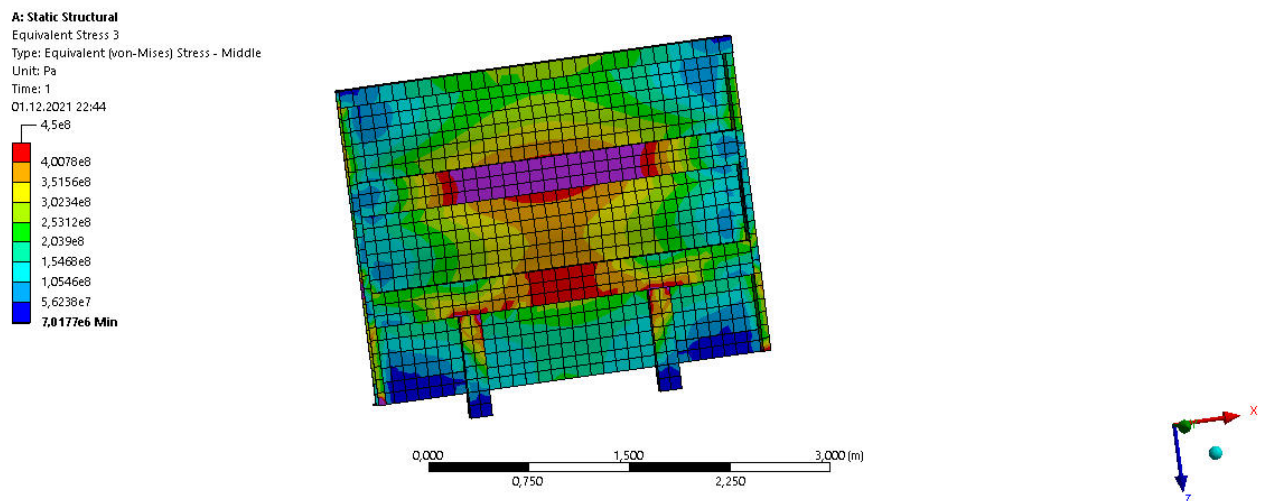


Рисунок 3.6 – Напружений стан торцевої стіни при I розрахунковому режимі, МПа

Значення максимальних напружень в окремих елементах кузова напіввагона при I розрахунковому режимі приведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Максимальні напруження в окремих елементах напіввагону при I розрахунковому режимі, МПа

Елементи кузова напіввагона	Значення напружень, МПа	Допустимі напруження, МПа
Хребтова балка	230	351
Торцева балка	251	370

Шкворнева балка	285	351
Торцева стіна	588	370
Бокова стіна	310	370
Поперечні балки	150	370
Обшивка торцевої стіни	500	370
Нижній обв'язувальний пояс торцевої стіни	227	370
Верхній обв'язувальний пояс бокової стіни	310	370

При I розрахунковому режимі максимальні напруження в хребтовій балці виникають на верхній полиці в консольній частині балки, біля передніх упорних кутників та дорівнюють 230 МПа.

Максимальні напруження в торцевій балці виникають на верхній полиці та торцевому листі і дорівнюють 251 МПа.

Максимальні напруження в шворневій балці виникають на верхній полиці та вертикальному листі і дорівнюють 285 МПа.

Максимальні напруження в боковій стіні виникають в верхньому обв'язувальному поясі і дорівнюють 310 МПа.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Максимальні напруження в поперечних балках виникають на верхній полиці і дорівнюють 150 МПа.

Максимальні напруження в торцевій стіні виникають на другому з низу горизонтальному поясі (швелер) і дорівнюють 588 МПа.

При III розрахунковому режимі максимальне допустиме напруження становить 240 МПа для всіх елементів кузова напіввагону. Загальна схема напруженого стану напіввагону. (рисунок 3.8)

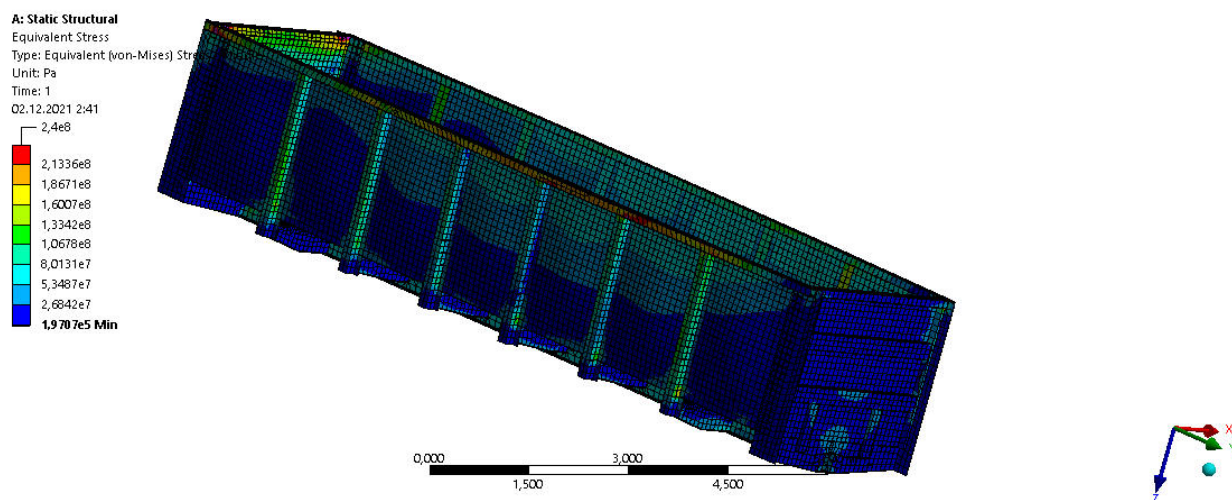


Рисунок 3.8 – Схема напруженого стану кузова напіввагону при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан хребтової балки кузова напіввагона представлений на рисунку 3.9.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 4
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 02.12.2021 2:44

4e8
 3,4317e8
 2,8635e8
 2,2952e8
1,6354e8 Max
 1,1586e8
 5,9036e7
 2,2091e6

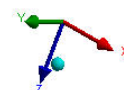
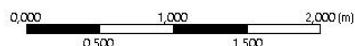
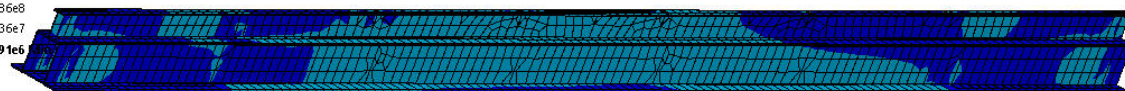


Рисунок 3.9 – Напружений стан хребтової балки при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан бокової стіни кузова напіввагона представлений на риунку 3.10.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 2
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 02.12.2021 2:42

2,4e8
 2,1003e8
 1,8006e8
 1,5009e8
 1,2011e8
 9,0144e7
 6,0172e7
 3,0201e7
2,2977e5 Min

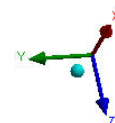
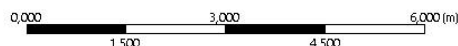
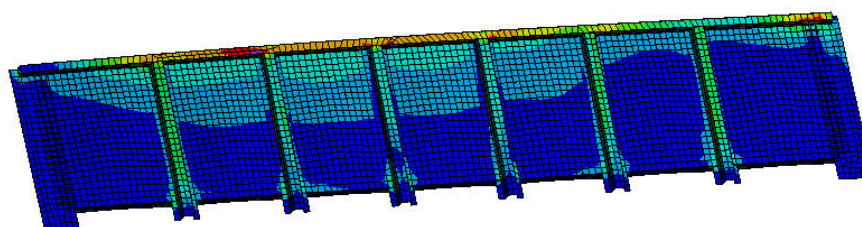


Рисунок 3.10 – Напружений стан бокової стіни при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан шкворневої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 3.11.

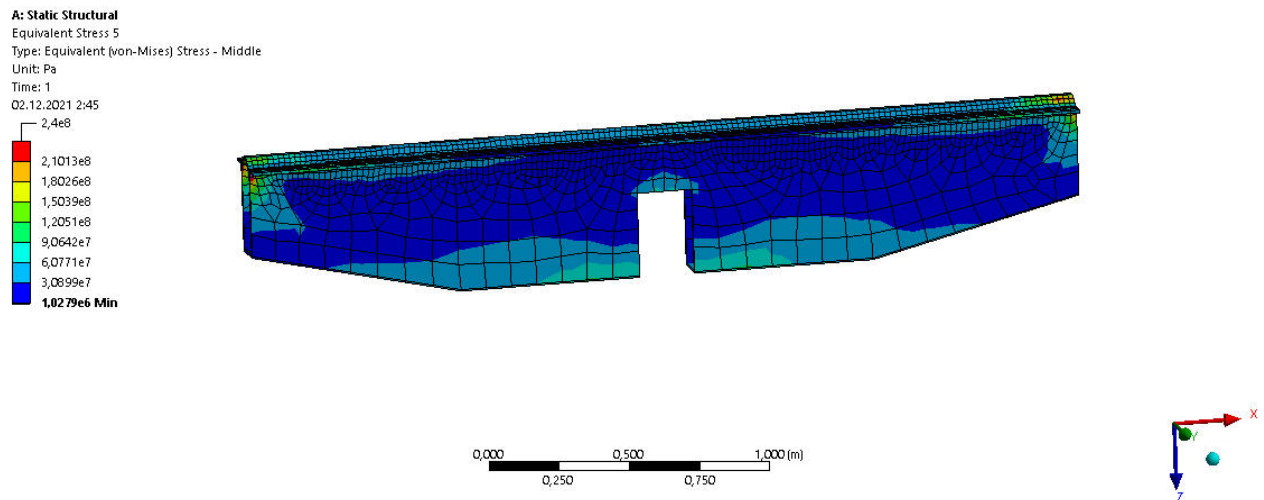


Рисунок 3.11 – Напружений стан шкворневої балки при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан кінцевої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 3.12.

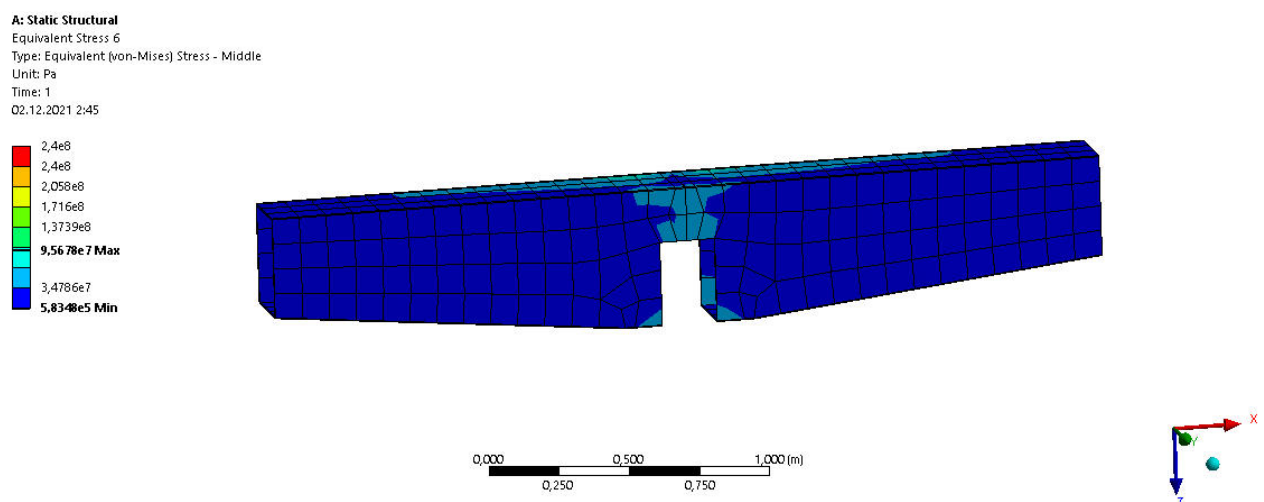


Рисунок 3.12 – Напружений стан торцевої балки при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан торцевої стіни кузова напіввагона представлений на рисунку 3.13.

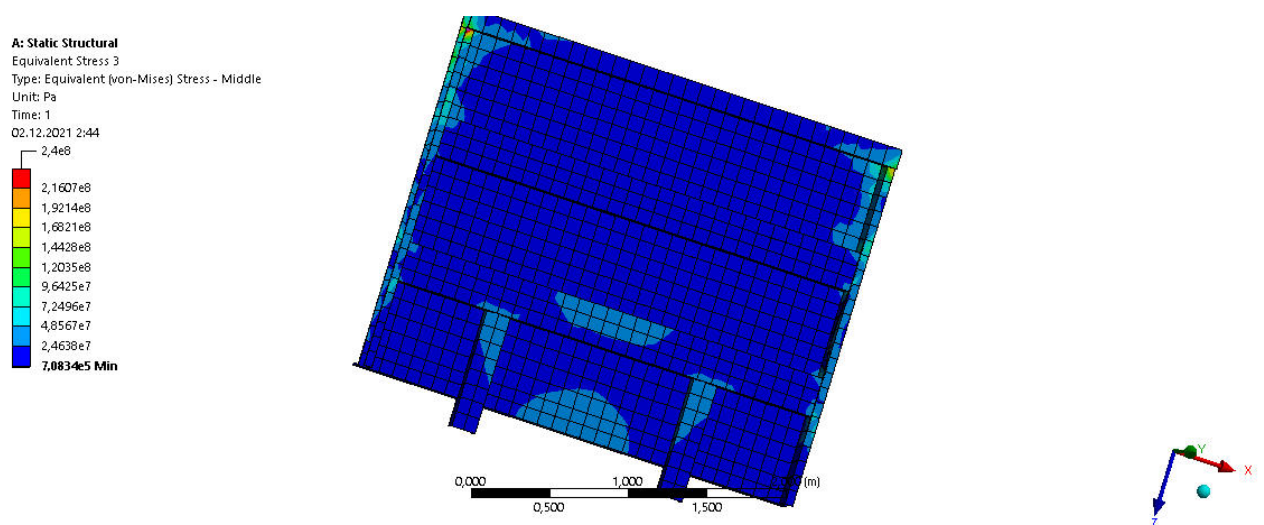


Рисунок 3.13 – Напружений стан торцевої стіни при III розрахунковому режимі, МПа

Значення максимальних напружень в окремих елементах кузова напіввагона при III розрахунковому режимі приведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Максимальні напруження в окремих елементах напіввагона при III розрахунковому режимі, МПа

Елементи кузова напіввагона	Значення напружень, МПа	Допустимі напруження, МПа
Рама напіввагону	163	240
Торцева балка	95	250
Шкворнева балка	120	240
Торцева стіна	96	250
Бокова стіна	210	250

Поперечні балки	100	250
Обшивка торцевої стіни	97	250
Нижній обв'язувальний пояс торцевої стіни	108	250
Верхній обв'язувальний пояс бокової стіни	210	250

При III розрахунковому режимі максимальні напруження в хребтовій балці виникають на горизонтальному листі двутавра посередині та дорівнюють 163 МПа.

Максимальні напруження в торцевій балці виникають на верхній полиці та торцевому листі і дорівнюють 95 МПа.

Максимальні напруження в шворневій балці виникають на верхній полиці та вертикальному листі і дорівнюють 120 МПа.

Максимальні напруження в боковій стіні виникають в верхньому обв'язувальному поясі і дорівнюють 210 МПа.

Максимальні напруження в поперечних балках виникають на верхній полиці і дорівнюють 100 МПа.

Максимальні напруження в торцевій стіні виникають на першому з низу горизонтальному поясі (швелер) і дорівнюють 96 МПа.

3.2 Аналіз результатів

При I розрахунковому режимі, при ударі найбільші напруження виникають в торцевій стіні. Вони становлять 585 МПа , що більше напружень, що допускаються.

При III розрахунковому режимі, при стисканні найбільші напруження виникають в боковій стіні . Вони становлять 210 МПа , що не більше напружень, що допускаються 240 МПа.

Напруження, що перевищують допустимі, спостерігаються в торцевій стінці при ударних режимах навантаження, що викликано жорсткістю. За рахунок пластичної переробки напруження в процесі експлуатації зменшаться.

При третьому розрахунковому режимі ми можемо бачити сприятливу картину напруженого стану кузова напіввагону.

У подальшій частині роботи ми поставимо собі за мету збільшити міцність торцевої стіни за рахунок введення додаткових підкріплюючих елементів.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Модернізація

4.1 Підсилення конструкцію кузова напіввагона

За приведеними вище розрахунками бачимо що, найслабше місце в кузові напіввагона є торцева стіна, данні напруження перевищують допустимі, тому в моделі провели зміни саме в торцевій стіні.

Для підвищення міцності торцевої стіни в якості модернізації була проведені зміни в моделі напіввагона. Змінена торцева стіна, підсилена третім швелером 250х102х9мм.(рисунок 4.1)

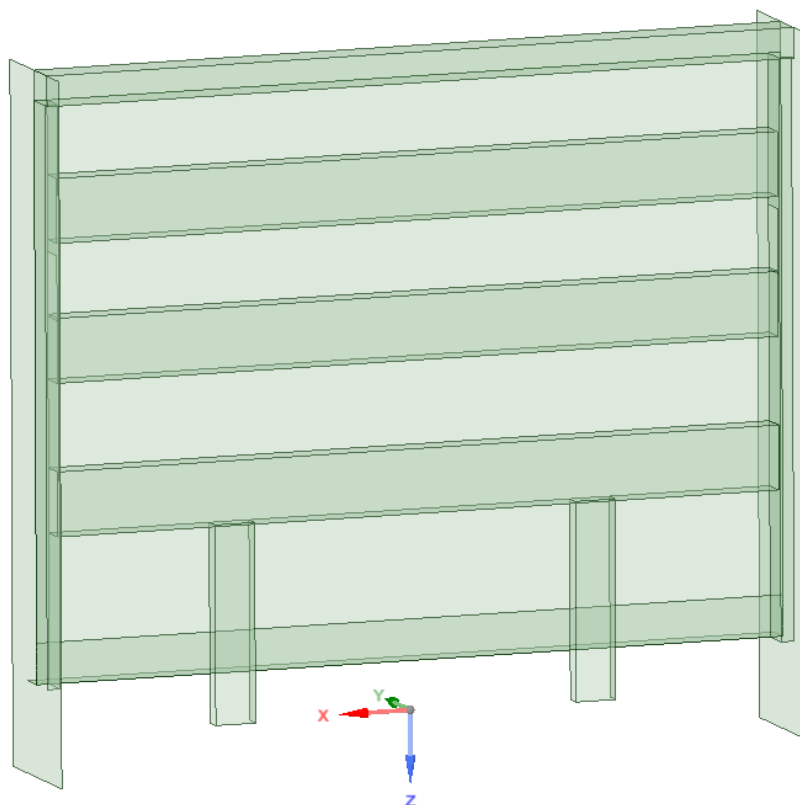


Рисунок 4.1 – Модернізована торцева стіна кузова напіввагона

Для оцінки результатів модернізації проведемо розрахунки на міцність підсиленої моделі кузова наіввагона відповідно наведених в попередніх методиках.

4.2 Результати розрахунків

Загальна схема напруженого стану наіввагону І розрахунковому режимі. (рисунок 4.2)

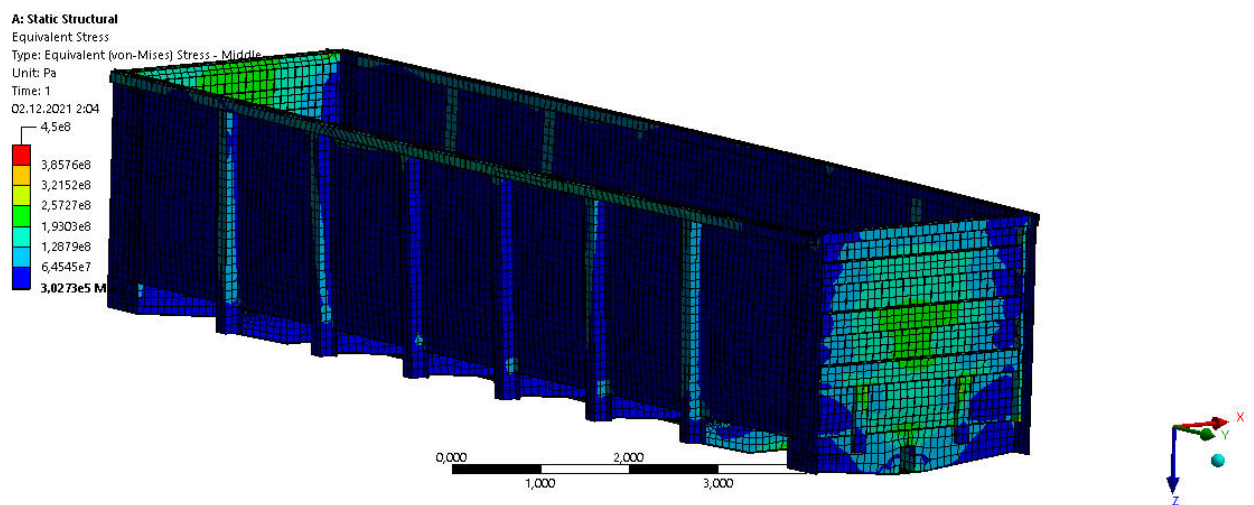


Рисунок 4.2 – Схема напруженого стану кузова наіввагону при І розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан хребтової балки кузова наіввагона представлений на рисунку 4.3.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

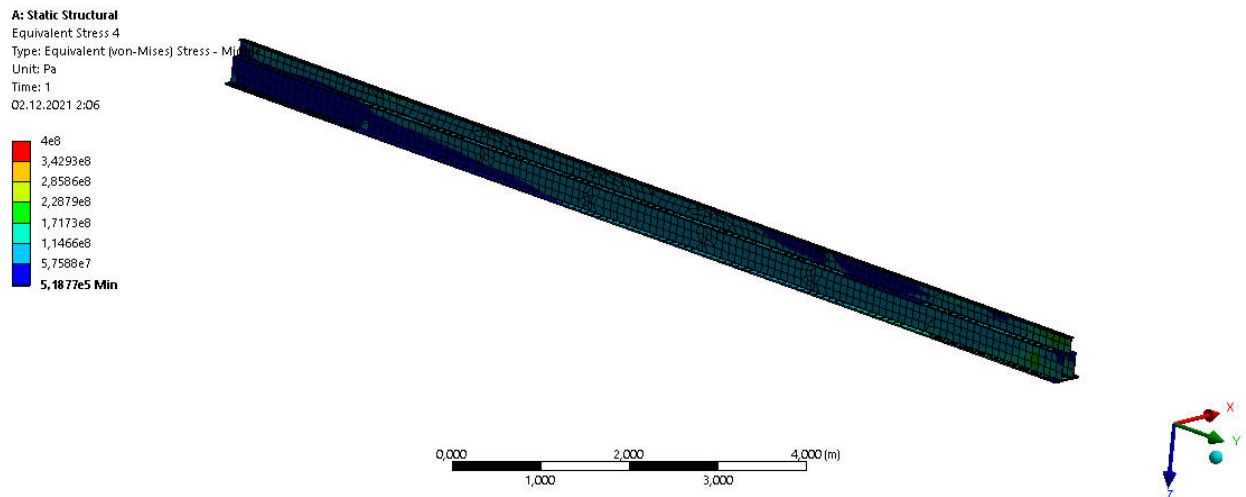


Рисунок 4.3 – Напружений стан хребтової балки при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан бокової стіни кузова напіввагона представлений на риунку 4.4.

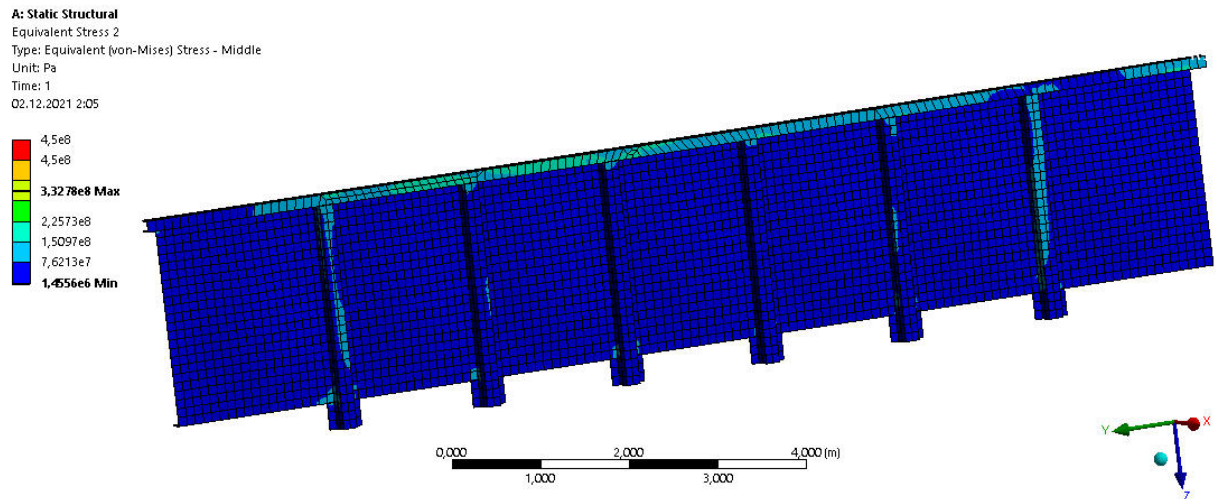
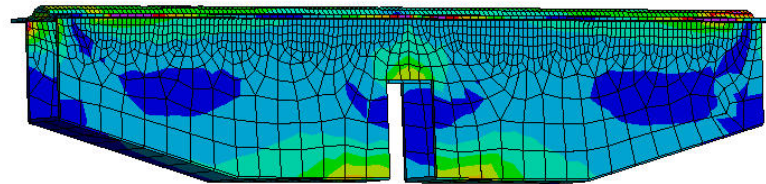


Рисунок 4.4 – Напружений стан бокової стіни при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан шкворневої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 4.5.

A: Static Structural
Equivalent Stress 5
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
Unit: Pa
Time: 1
02.12.2021 2:07

4e8
3,4385e8
2,8769e8
2,3154e8
1,7538e8
1,1923e8
6,3076e7
6,9219e6 Min



0,000 0,250 0,500 0,750 1,000 (m)

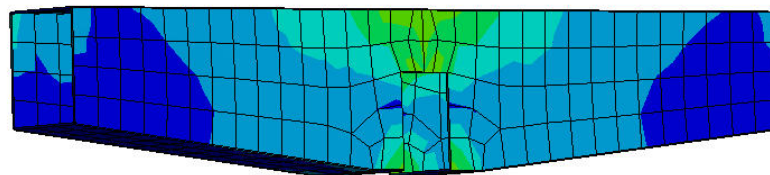


Рисунок 4.5 – Напружений стан шкворневої балки при I розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан кінцевої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 4.6.

A: Static Structural
Equivalent Stress 6
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
Unit: Pa
Time: 1
02.12.2021 2:07

4e8
3,5048e8
3,0096e8
2,5144e8
2,0192e8
1,524e8
1,0288e8
5,3355e7
3,8339e6 Min



0,000 0,250 0,500 0,750 1,000 (m)



Рисунок 4.6 – Напружений стан торцевої балки при I розрахунковому режимі, МПа

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Напружений стан торцевої стіни кузова напіввагона представлений на рисунку 4.7.

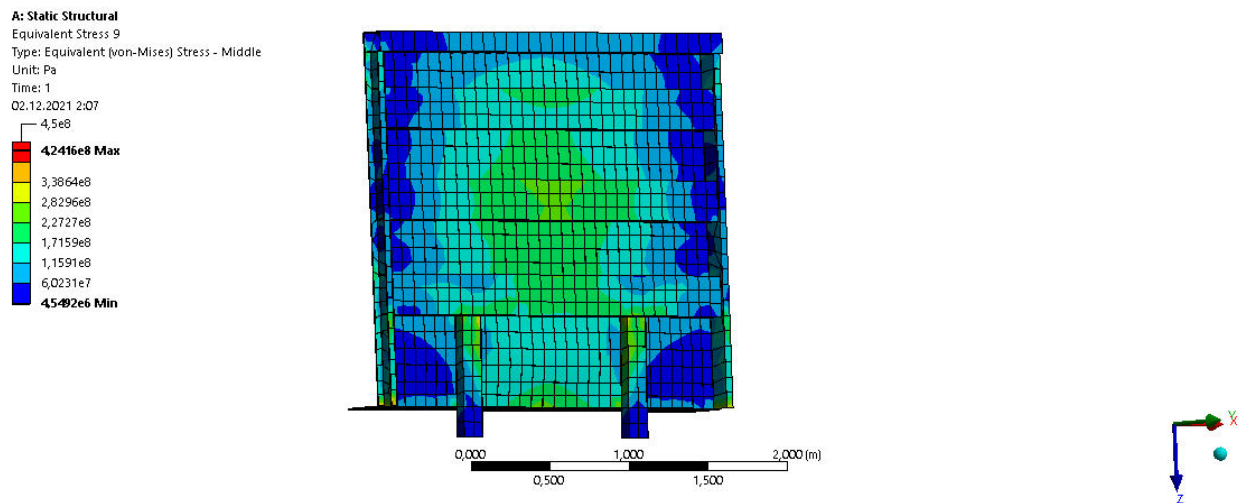


Рисунок 4.7 – Напружений стан торцевої стіни при I розрахунковому режимі, МПа

Значення максимальних напружень в окремих елементах кузова напіввагона при I розрахунковому режимі приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Максимальні напруження в окремих елементах напіввагону при I розрахунковому режимі

Елементи кузова напіввагона	Значення напружень, МПа	Допустимі напруження, МПа
Хребтова балка	230	351
Торцева балка	250	370
Шкворнева балка	287	351
Торцева стіна	338	370
Бокова стіна	332	370

Поперечні балки	150	370
Обшивка торцевої стіни	326	370
Нижній обв'язувальний пояс торцевої стіни	227	370
Верхній обв'язувальний пояс бокової стіни	227	370

При I розрахунковому режимі зміненої моделі максимальні напруження в хребтовій балці виникають на верхній полиці в консольній частині балки, біля передніх упорних кутників та дорівнюють 230 МПа.

Максимальні напруження в торцевій балці виникають на верхній полиці та торцевому листі і дорівнюють 250 МПа.

Максимальні напруження в шворневій балці виникають на верхній полиці та вертикальному листі і дорівнюють 287 МПа.

Максимальні напруження в боковій стіні виникають в верхньому обв'язувальному поясі і дорівнюють 332 МПа.

Максимальні напруження в поперечних балках виникають на верхній полиці і дорівнюють 150 МПа.

Максимальні напруження в торцевій стіні виникають на другому з низу горизонтальному поясі (швелер) і дорівнюють 338 МПа.

Загальна схема напруженого стану навіввагону при III розрахунковому режимі (рисунок 4.8)

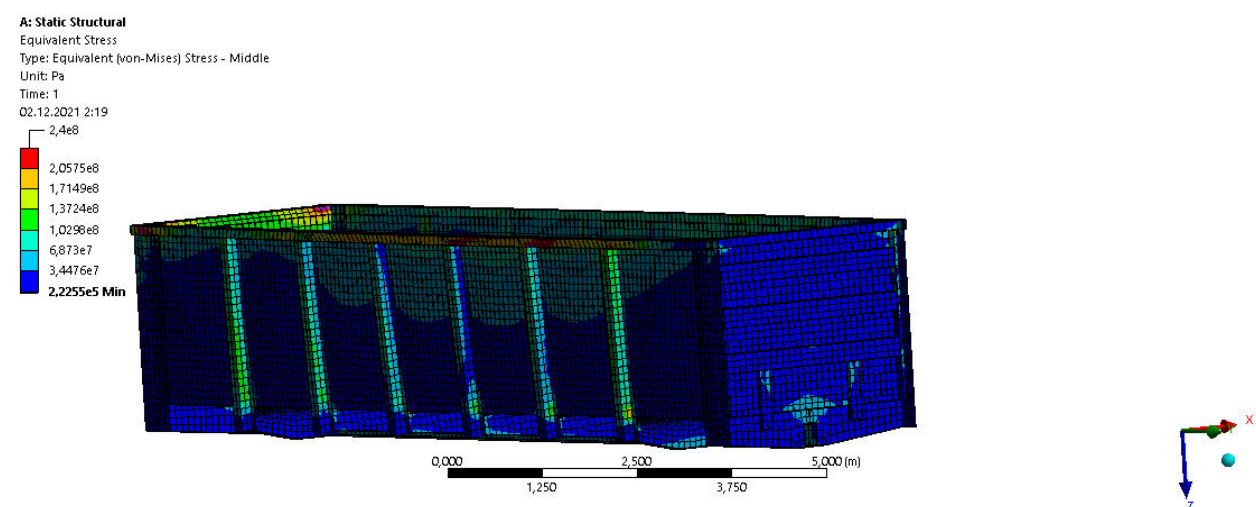


Рисунок 4.8 – Схема напруженого стану кузова напіввагону при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан хребтової балки кузова напіввагона представлений на рисунку 4.9.

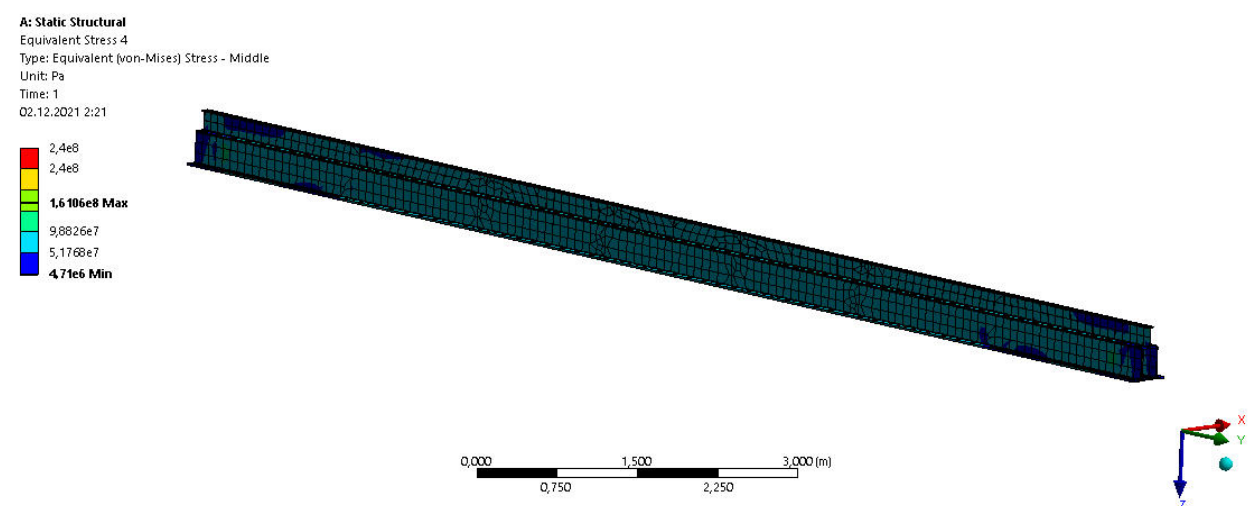


Рисунок 4.9 – Напружений стан хребтової балки при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан бокової стіни кузова напіввагона представлений на риунку 4.10.

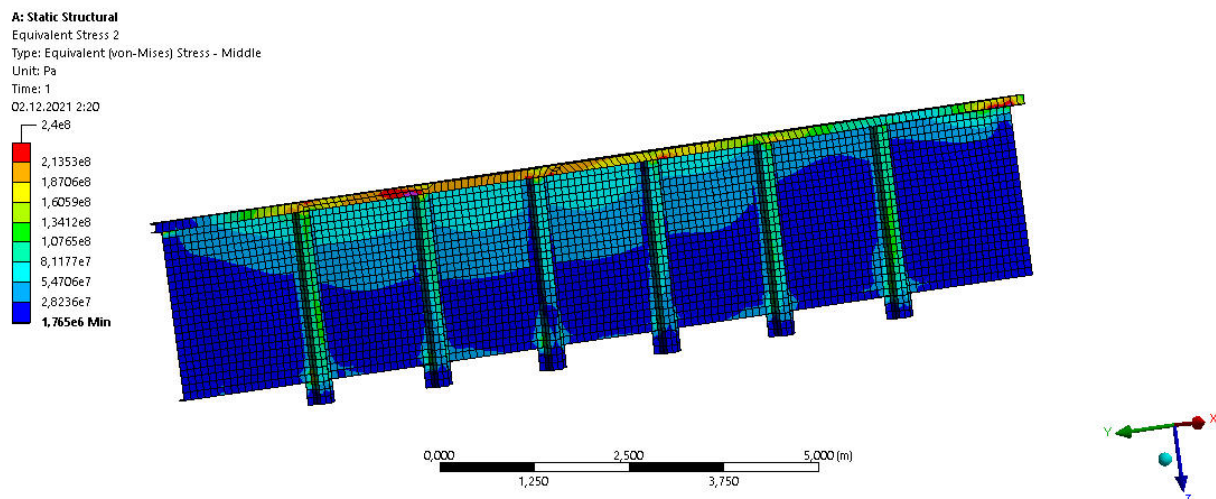


Рисунок 4.10 – Напружений стан бокової стіни при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан шкворневої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 4.11.

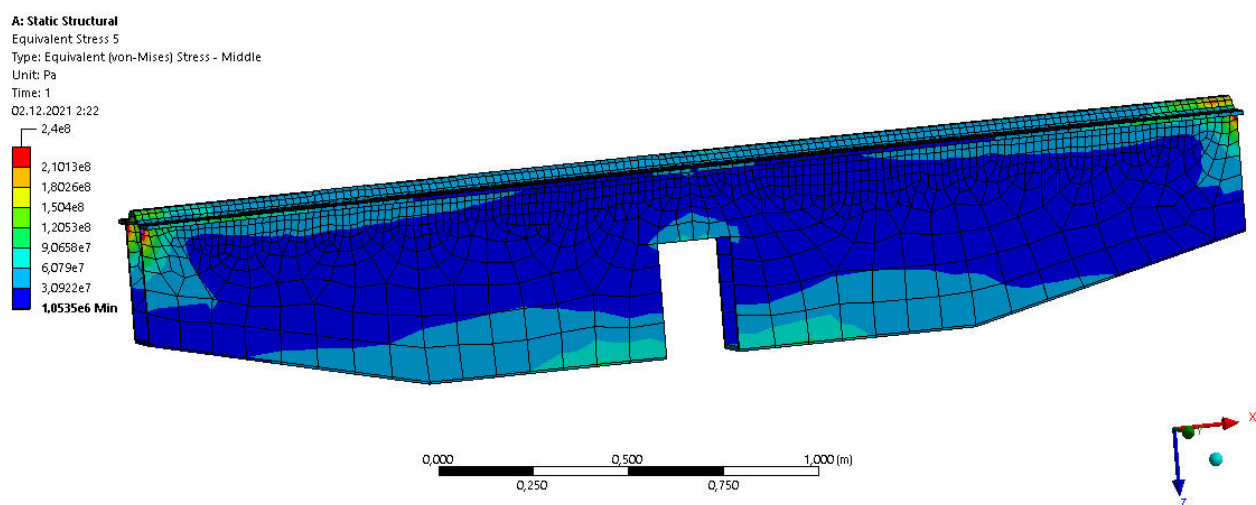


Рисунок 4.11 – Напружений стан шкворневої балки при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан кінцевої балки кузова напіввагона представлений на рисунку 4.12.

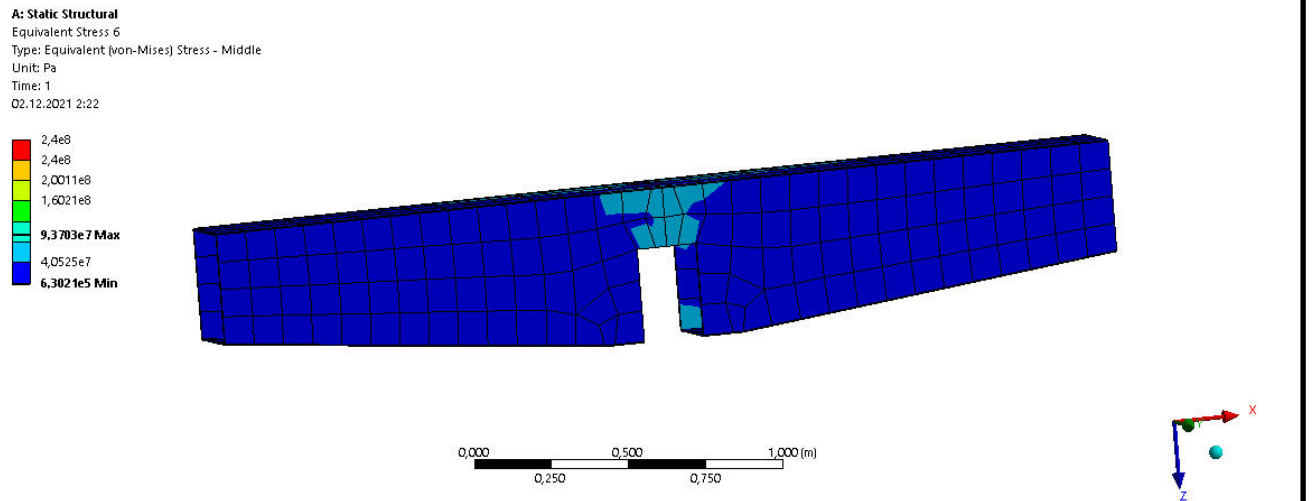


Рисунок 4.12 – Напружений стан торцевої балки при III розрахунковому режимі, МПа

Напружений стан торцевої стіни кузова напіввагона представлений на рисунку 4.13.

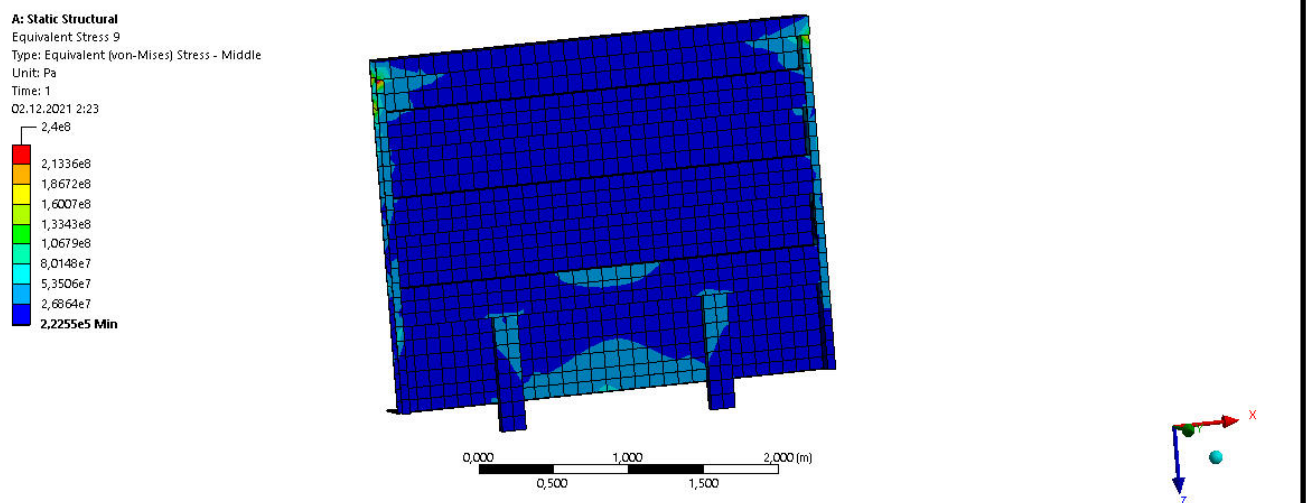


Рисунок 4.13 – Напружений стан торцевої стіни при III розрахунковому режимі, МПа

Значення максимальних напружень в окремих елементах кузова напіввагона при III розрахунковому режимі приведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Максимальні напруження в окремих елементах напіввагону при III розрахунковому режимі

Елементи кузова напіввагона	Значення напружень, МПа	Допустимі напруження, МПа
Рама напіввагону	161	240
Торцева балка	93	250
Шкворнева балка	90	240
Торцева стіна	96	250
Бокова стіна	210	250
Поперечні балки	100	250
Обшивка торцевої стіни	96	250
Нижній обв'язувальний пояс торцевої стіни	106	250
Верхній обв'язувальний пояс бокової стіни	210	250

При III розрахунковому режимі зміненої моделі максимальні напруження в хребтовій балці виникають на горизонтальному листі двутавра посередині та дорівнюють 161 МПа.

Максимальні напруження в торцевій балці виникають на верхній полиці та торцевому листі і дорівнюють 93 МПа.

Максимальні напруження в шворневій балці виникають на верхній полиці та вертикальному листі і дорівнюють 90 МПа.

Максимальні напруження в боковій стіні виникають в верхньому обв'язувальному поясі і дорівнюють 210 МПа.

Максимальні напруження в поперечних балках виникають на верхній полиці і дорівнюють 100 МПа.

Максимальні напруження в торцевій стіні виникають на першому з низу горизонтальному поясі (швелер) і дорівнюють 96 МПа.

4.3 Аналіз результатів

При I розрахунковому режимі, при ударі найбільші напруження виникають в торцевій стіні. Вони становлять 338 МПа , що не більше напружень, що допускаються.

При III розрахунковому режимі, при стисканні найбільші напруження виникають в боковій стіні . Вони становлять 210 МПа , що не більше напружень, що допускаються 240 МПа.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

За даними результатами бачимо що, данна модернізація торцевої стіни привела до позитивних результатів, при I та III розрахункових режимах маємо сприятливу картину напруженого стану кузова напіввагона.

Висновок до розділу: В розділі була проведена модернізація торцевої стіни кузова напіввагона моделі 12-783. Торцеву стіну підсилили підкріплюючим елементом швелер 250x102x9 мм. За приведеним розрахунком на міцність бачимо що максимальні напруження в торцевій стіни складають 338 МПа, що не перевищують допустимі 370 МПа. Можемо виділити, що дана модернізація привела до позитивних результатів, торцева стіни витримує усі задані навантаження, напруження не перевищують допустимі. Міцність кузова забезпечена.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Проведено дослідження можливості підвищення вантажопідйомності кузова напіввагона моделі 12-783 будівництва ПАТ “Крюківський вагонобудівний завод” з осьовим навантаженням 23,5 тс до 25 тс.

Для оцінки на міцність конструкції було розроблено геометричну модель кузова напіввагона, представлену як сукупність поверхонь у просторі. На її основі побудовано скінченно-елементну модель яка містить 25 857 елементів, 25 950 вузлів. Характерний розмір ребра елемента – 0,1м.

Проведено два розрахунки на міцність за I при ударі та III при стисканні розрахунковими режимами, для перевірки його відповідності до вимог нормативної документації [26].

Приклали до моделі розраховані навантаження відповідно до вимог нормативної документації [26]. Провели аналіз отриманих результатів. За даними результатами напруженого стану моделі кузова напіввагона визначили що найбільші напруження 588 МПа, виникають в торцевій стіні, що перевищують допустимі, при I розрахунковому режимі. При III розрахунковому режимі ми бачимо більш сприятливу картина максимальні напруження 210 МПа, що виникають в боковій стіні вони не перевищують допустимих, що дорівнюють 250 МПа.

Для збільшення міцності торцевої стіни кузова напіввагона обрали підсилити її підкріплюючим елементом швелером 250x102x9.

Провели аналогічний розрахунок для I та III розрахункових режимів. Провели аналіз результатів. За результатами бачимо що максимальні

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

напруження в торцевій стіні при I розрахунковому режимі зменшилися та становлять 338 МПа що не перевищують допустимі 370 МПа. При III розрахунковому режимі максимальні напруження не змінилися 210 МПа в боковій стіні, що не перевищують допустимих 20 МПа. Можемо виділити що, дана модернізація привела до позитивних результатів, торцева стіні витримує усі задані навантаження, напруження не перевищують допустимі.

Розроблена модель кузова витримує усі задані навантаження, напруження не перевищують допустимі. Міцність кузова забезпечена. Розроблену модель можу запропонувати вагонобудівним заводам, як модернізацію торцевої стіні.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анофрієв, В. Г. Розробка конструкцій та машинобудівних технологій створення вантажних вагонів нового покоління / Анофрієв В. Г., Зародов О. О., Ільчишин В. В., Ісопенко І. В., Можейко Є. Р., Мокрій Т. Ф., Позняков В. Д., Рейдемейстер О. Г., Ушкалов В. Ф., Шаповал А. В., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна // Вагонный Парк. – 2014.–№10 (91).– С.4-7.

2. Шапошник В. Ю., Шикунів О. А. Удосконалення конструкції верхньої обв'язки напіввагона. The World of Science and Innovation : Abstr. of VI Intern. Sci. and Practical Conf., London, United Kingdom, 14–16 Jan. 2021. London, United Kingdom, 2021. P. 1181–1187.

3. Бубнов, В. М. Улучшение прочностных характеристик грузовых вагонов на тележках модели 18-1711: [Препринт] / В. М. Бубнов, С. В. Мямлин, Н. Б. Манкевич // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Сєверодонецьк, 2013. – № 4 (193). – С. 32–34.

4. Фомін О. В., Горбунов М. І., Швець А. О., Фоміна А. М., Скляр А. В. Удосконалення стіни бокової напіввагонів вітчизняного виробництва. Вісник сертифікації залізничного транспорту. 2020. № 4-5. С. 44–51.

5. Инновационные разработки в области грузового вагоностроения / В. Ф. Муханов, А. А. Тен, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Зб. наук. праць

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Донецького інституту заліз. тр-ту Української держ. академії заліз. тр-ту. — Донецьк, 2010. — Вип. 22. — С. 76—82.

6. Бороненко Ю. П., Третьяков А. В., Зимакова М. В. Оценка возможности и эффективности повышения осевых нагрузок грузовых вагонов. Вестник института проблем естественных монополий: техника железных дорог. 2017. Номер 1 (37). С. 32-37.

7. Бороненко Ю.П. Вагони зі збільшеними навантаженнями від коліс на рейки - резерв підвищення провізної та пропускної спроможності залізниць // Транспорт Российской Федерации. – 2008. – №5(18).– С.1-4.

8. Бороненко Ю. П. Инновационный грузовой подвижной состав железных дорог и его высокотехнологичное производство. Наука и транспорт. № 3. 2012. С. 18-20.

9. Полувагон КВСЗ: полувагон мод. 12-783 [Електронний ресурс] / ПАТ Крюківський вагонобудівний завод. – Режим доступа: <https://www.kvsz.com/index.php/ru/produktsiya/gruzovoe-vagonostroenie/poluvagony/item/195-poluvagon-mod-12-783>

10. Двухосная тележка КВСЗ: двухосная тележка модель 18-7033 тип 3 [Електронний ресурс] / ПАТ Крюківський вагонобудівний завод. – Режим доступа: <https://www.kvsz.com/index.php/ru/produktsiya/gruzovoe-vagonostroenie/poluvagony/item/832>

11. Шадур Л.А. Вагоны: Учебник для вузов ж.д. трансп. / Л.А. Шадур, И.И. Челноков, Л.Н. Никольский, Е.Н. Никольский, П.Г. Проскурнев, Г.А. Казанский В.Ф. Девятков; Под ред. Л.А. Шадура и И.И. Челнокова. - М.: Транспорт, 1965. -439 с.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

12. Лукин В.В. Анисимов П.С. Федоссов Ю.П. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж-д. трансп. / Под ред. В. В. Лукина. М. Маршрут. 2004. 424 с.

13. Павлюкова Л.С. Конструкция, техническое обслуживание грузовых вагонов: Учебное пособие. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. - 224 с.

14. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник. Чернігів: ЧДТУ, 2007. — 288 с.

15. Атрощенко В.А. Особенности силовых воздействий сыпучих грузов на торцевые стены крытых грузовых вагонов и анализ напряженного состояния торцевых стен: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Атрощенко. - Брянск:БИТМ, 1984.-20 с.

16. Савчук О.М. Оптимальное проектирование и совершенствование конструкций неподдресоренных деталей ходовых частей подвижного состава:автореф. дис. ... докт. техн. наук. - Днепропетровск: ДИИТ, 1986.

17. Макухин В.М. Оптимальное проектирование цельнометаллических кузовов полувагонов: автореферат дис. ... канд. тех. наук / В.М. Макухин. - М:МИИТ, 1987.-20 с.

18. Лозбинец В.П. Теоретические основы конструирования оптимальных несущих систем вагонов / В.П. Лозбинец // В сб.: Российские гранты в области транспортных наук. - М.: Минобразования РФ, 1994.

19. Лозбинец Ф.Ю. Разработка научных основ оптимального проектирования несущих систем кузовов вагонов по критерию минимума затрат на создание, эксплуатацию и ремонт: автореферат дис. ... докт. техн. наук / Ф.Ю. Лозбинец.- М.: МГУПС (МИИТ), 2001. - 48 с.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Коршунов, С.Д. Методика расчетно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава / С.Д. Коршунов, А.Н. Скачков, С.Л. Самошкин, Д.И. Гончаров, А.С. Жуков // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 4 (45) – С. 38-47

21. Лозбинец, Ф.Ю. Оценка живучести сварных соединений в несущих конструкциях кузовов вагонов / Ф.Ю. Лозбинец // Вестник Брянского государственного технического университета. - Брянск: БГТУ, 2009. - №3 (23). - С.93-103.

22. Лозбинец, Ф.Ю. Оптимизационные расчеты несущих кузовов вагонов на основе МКЭ и методов нелинейного программирования / Ф.Ю. Лозбинец / Учебно-методическое пособие. - Брянск: ЦНТИ, 2001. - 105 с.

23. Манкевич, Н.Ю. Усовершенствование конструкций литых деталей двухосных тележек грузовых вагонов / Н.Ю. Манкевич ДИИТ, 2015

24. Лукин Я.А. Оптимизация несущих систем кузовов цельнометаллических вагонов типа замкнутой оболочки с учетом начальных несовершенств / Я.А. Лукин, Е.С. Ефименко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2008. - № 1.

25. Общие требования к грузовым вагонам нового поколения. - М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 2001. - 14 с.

26. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.

					031.160187.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71