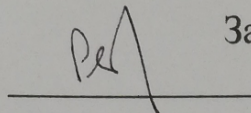


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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 піввагона у стадії проектування»

Theme «Investigation of the open car body strength during the design stage»

Керівник дипломної роботи
к.т.н., доцент



Олексій Рейдемейстер

Студентка групи ВГ 2021 Олена Піценко

ІП (укр.)

Student Olena Pitsenko

ІП (Англ.)

Дніпро – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. СПОСОБИ ОЦІНКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ КУЗОВА ПІВВАГОНА

1.1 Конструкція кузова піввагона (тенденції удосконалення кузова піввагона)

1.2 Способи розрахункової оцінки міцності кузова піввагона

1.3 Оптимізація геометричних характеристик кузова піввагона

2 МОДЕЛЬ КУЗОВА ПІВВАГОНА

2.1 Конструкція та параметри піввагона

2.2 Геометрична модель кузова піввагона

2.3 Скінченно-елементна модель кузова піввагона

2.4 Розрахункові режими, навантаження

3 НАПРУЖЕНИЙ СТАН КУЗОВА ПІВВАГОНА

3.1 Результати розрахунків

3.2 Аналіз результатів

4 ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА ПІВВАГОНА

4.1 Внесені зміни

ВИСНОВКИ

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

					031.160185.ДМР.000.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження міцності кузова піввагона у стадії проектування		
Розроб.	Піценко						
Перевір.	Рейдмейстер						
Реценз.							
Н. Контр.							
Затверд.					ДНУЗТ, ар.ВГ2021		
					Літ.	Арк.	Акрушів
						3	78

ВСТУП

Залізничний транспорт займає провідне місце у задоволенні потреб виробничої сфери та населення у перевезеннях, є важливим фактором забезпечення соціально-економічного розвитку України, зміцнення її зовнішньоекономічних зв'язків.

В умовах ринкових механізмів господарювання, конкуренції з боку інших видів транспорту перед вітчизняним вагонобудуванням стоїть завдання створення високоефективних конструкцій вагонів, які відповідають світовому рівню розвитку рухомого складу.

Вагонобудування є великим споживачем металу в країні, тому зниження витрат на виробництво вагонів пов'язують, зазвичай, зі зниженням металоємності вагонних конструкцій.

У конструкціях вагонів найбільш металомісткими є кузови, на частку яких припадає 50 – 60% ваги тари. Витрати металу, його раціональний розподіл по несучій конструкції кузова в першу чергу пов'язані з його міцністю і жорсткістю. В даний час розрахунки на міцність кузовів в середньому займають 2,5 місяці або 20% від тривалості проектування і виготовлення дослідного зразка вагона, такий же час необхідно на випробування кузова, що становить близько 30% від загального обсягу і вартості випробувань.

Актуальним завданням при проектуванні вагонних конструкцій є зниження металоємності. Певні можливості для вирішення цього завдання представляє теорія оптимального проектування конструкцій. Стосовно кузовів вагонів наявні результати оптимізації параметрів несучих елементів при обмеженні міцності.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це дозволить знизити матеріалоемність вагонів, підвищити вантажопідйомність, збільшити середні швидкості руху в завантаженому та порожньому станах, покращити антикорозійні та антифрикційні властивості, збільшити термін служби та зменшити загальну виробничу та експлуатаційну собівартість.

Мета роботи – розробити модель для оцінки міцності кузова та визначити такі параметри конструкції, за яких вона має найменшу масу при забезпеченні рівня міцності, що вимагає нормативна документація.

У першому розділі розглянуто конструкцію кузова піввагона та тенденції його удосконалення. Також розглянуто способи розрахункової оцінки міцності кузова піввагона і виконано огляд робіт з оптимізації геометричних характеристик кузова піввагона.

У другому розділі розглянуто та описано детально конструкцію та параметри піввагона моделі 12-783 будівництва ПАТ “Крюківський вагонобудівний завод”. Розроблено геометричну модель кузова піввагона. Побудована скінченно-елементна модель кузова. Проведений розрахунок на міцність кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі та при III розрахунковому режимі при стисканні.

У третьому розділі зроблено опис результатів розрахунків та проведено їх аналіз.

У четвертому розділі проведено оптимізацію конструкції кузова напіввагона, описані внесені зміни та оцінено їх ефективність.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. СПОСОБИ ОЦІНКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ КУЗОВА ПІВВАГОНА

1.1. Конструкція кузова піввагона (тенденції удосконалення кузова піввагона)

Піввагони призначені для перевезення кам'яного вугілля, руди, лісоматеріалів, прокату металів та подібних сипких та штучних вантажів. Загалом піввагони призначені для перевезення вантажів, що не потребують захисту та укриття від впливу атмосферного середовища.

Кузов піввагона не має даху, що дозволяє зручно завантажувати та вивантажувати вантаж, використовуючи різноманітні засоби механізації, такі як мостові та козлові крани, вагоноперекидачі та інші. Піввагони діляться на два основні типи: універсальні та спеціалізовані. Універсальні піввагони мають розвантажувальні люки в металевій підлозі для розвантаження сипучих вантажів гравітаційним способом та торцевими дверима. Спеціалізовані піввагони мають глухий кузов (без кришок люків у підлозі та глухими торцевими стінами), для перевезення сипких вантажів у замкнутих маршрутах з розвантаженням їх на вагоноперекидачах.

Піввагони бувають чотирьох-, шести- і восьмивісні.

Рама піввагона має хребтову балку, дві кінцеві, дві шкворневі та чотири проміжні балки. (рисунок 1.1).

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

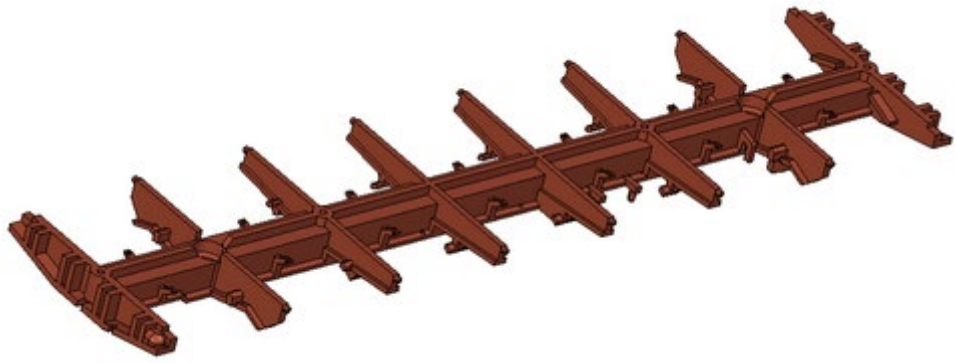


Рисунок 1.1 – Рама піввагона.

Конструкція кузова піввагона складається з двох бічних стін (які у свою чергу складаються з верхньої та нижньої обв'язок, кутових та бічних стійок та металевої обшивки), двох торцевих стін (каркас включає верхню обв'язку, дві бічні стійки, два горизонтальні пояси, дві проміжні напівстійки та закритий обшивкою, рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Кузов піввагона.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Замість глухих торцевих стін можуть бути торцеві двері. Торцеві двері піввагона складаються з двох стулок, які підвішені шарнірно петлями до кутових стійок кузова. Також вона складається з верхньої, нижньої та бічної обв'язки та обшита металевим листом. Для утримання у закритому положенні двері забезпечені верхнім та нижнім запорами (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Торцеві двері піввагона.

Металеві кришки розвантажувальних люків утворюють підлогу. Вони складаються з двох поперечних бічних, поздовжньої передньої та середньої обв'язок та підсилювальної планки, перекритих штампованим листом з гофрами, розташованими поперек вагона. Кришка шарнірно з'єднана з двотавром хребтової балки петлею.

Кожна кришка люка обладнана торсіонним пристроєм для полегшення їх підняття після розвантаження вагона. Запор люка складається з закидки, сектора та планки.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В експлуатації на залізницях України, Росії та країн СНД перебувають в основному чотиривісні піввагони будівництва Уралвагонзаводу (УВЗ) з глухими торцевими стінами (моделей 12-119, 12-132) та піввагони будівництва Крюківського вагонобудівного заводу (КрВБЗ) з торцевими стінами у вигляді двостулкових дверей (моделей 12-753, 12-1000 та 12-757) [1–3]. Характеристика піввагонів представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика піввагонів

Техническая характеристика полувагонов							
Показатель	Универсальные 4-осные полувагоны					Специализированные	
	12-753	12-757	12-132	12-119	12-196	12-1592	12-197
Грузоподъемность, т	69	70	70	69	73,5	71	74,5
Тара, т	22,5	24,3	24	22,5	26	21,2	25
Объем кузова, м ³	74	85	88	76	96	83	92
База вагона, м	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65
Длина, м:							
по осям сцепления автосцепок	13,92	13,92	13,92	13,92	13,92	13,92	13,92
по концевым балкам рамы	12,8	12,8	12,8	12,73	—	12,8	—
Нагрузка от колесной пары на рельс, кН	228	228	230	228	245	228	245
Габарит	0-BM	0-BM	0-BM	0-BM	1-T	0-BM	1-T

Тенденції удосконалення кузова піввагона

Піввагон моделі 12-132-03 створили фахівці УВЗ, успішно вирішивши завдання щодо збільшення інтервалу міжремонтних пробігів. Вагон має наступні конструктивні особливості: несучі елементи кузова виготовлені із сталі класу міцності 390; посилена конструкція кришок розвантажувальних люків; застосований «підпружинений запор механізму кришок люків»; посилено вузол з'єднання балок рами та стійок бічних стін (рисунок 1.4)



Рисунок 1.4 – Піввагон моделі 12-132-03.

Піввагони моделі 12-757 будівництва КрВБЗ мають посилену конструкцію кузова, здатні витримати до 75 тс корисного навантаження, але при цьому варто використовувати візки, що допускають навантаження від осі на рейки до 25 тс. Об'єм кузова збільшений до 85 м³. Розширений проріз торцевих дверей дозволяє проводити через них завантаження та розвантаження великогабаритних вантажів (рисунок 1.5).

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Піввагон моделі 12-757.

Піввагон 12-9833 з кузовом глухого типу створений на Тихвінському вагонобудівному заводі разом із компанією Starfire Engineering&Technologies, Inc. Його особливості: 13 проміжних стояків; з'єднання за принципом шарніра верхніх обв'язок стін кузова, яке виключає силовий момент від дії розпирного та поздовжнього навантажень. Таке з'єднання є типовим для США.

1.2.Способи розрахункової оцінки міцності кузова піввагона

Оцінка міцності кузова вагона на етапі проектування дає змогу:

- отримати конструкцію, що задовольняє вимогам нормативної документації та здатна без доробок пройти приймальні випробування;

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

- порівняти різні варіанти конструкції та обрати найбільш вдалий, зокрема, визначити оптимальні параметри, за яких конструкція має найліпші експлуатаційні якості за найменшої маси.

У сучасній практиці для оцінки міцності кузова широко застосовується метод скінченних елементів. За даними літературних джерел визначені найбільш поширені на практиці способи побудови скінченно–елементних моделей кузовів вагонів — з плоских елементів типу «Оболонка» (елемент опирається як деформаціям у власні площині, так і деформаціям згину), розмір ребра — від 10 до 100 мм.

Відповідно до теорії методу скінченних елементів оболонковий елемент – окремий випадок елемента тривимірного (твердотільного), а тривимірний скінченний елемент – є елемент точний і дає точний результат. Його можна використовувати завжди та скрізь. Масивні тверді тіла доцільно моделювати (наприклад, корпус автозчеплення, колесо та ін) об'ємними скінченними елементами.

Скінченний елемент – це деяка мала область тіла в сукупності із заданими в ній функціями форми, що апроксимують геометрію кінцевого елемента та невідомі величини [4].

Метод скінченних елементів є одним з найбільш популярних методів дослідження інженерних конструкцій. Поряд з основною сферою застосування МСЕ – аналізом на міцність і розрахунком деформацій – він все ширше застосовується для завдань, пов'язаних з гідро- і термодинамікою, електронікою та іншими областями, де потрібно швидко достовірно прогнозування поведінки складних конструкцій при впливі зовнішніх факторів різної фізичної природи. Простота і універсальність зробили МСЕ базовим і загальноприйнятим інструментом для ведення інженерних розрахунків і наукових досліджень.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						132
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна ідея методу скінченних елементів полягає в тому, що розглянута конструкція (тіло, середовище) поділяється на ряд найпростіших за формою елементів. Ця процедура називається дискретизацією тіла. Розміри елементів зазвичай малі порівняння з розмірами всієї конструкції, але вони мають скінченні розміри. Звідси і назва методу, що підкреслює його відмінність від методів теорії пружності, де при складанні основних рівнянь рівноваги тіло ділиться на нескінченно малі елементи, через що поведінка тіла описується системою диференціальних рівнянь, а в МСЕ – алгебраїчних рівнянь.

Метод скінченних елементів (МСЕ) є одним із найбільш поширених чисельних методів розрахунку конструкцій. Популярність його пояснюється успішним поєднанням порівняно простого алгоритму з можливістю застосування його до розрахунку систем довільної складності. Суттєвою перевагою методу є ефективність програмного забезпечення, створеного на алгоритмах МСЕ [5].

Ідеї, на яких базується МСЕ, виникли при розробці матричних методів розрахунку стержневих конструкцій, зокрема, методу сил і методу переміщень. Широкому застосуванню цих методів завадила відсутність ефективних машинних методів розв'язку великих систем алгебраїчних рівнянь.

Бурхливий розвиток обчислювальної техніки сприяв зростанню інтересу інженерів до матричних методів. На цей час метод скінченних елементів є найбільш поширеним методом розрахунку конструкцій і, взагалі, найбільш універсальним методом числового розв'язку задач механіки. Існують численні обчислювальні комплекси, які реалізують алгоритми МСЕ, розроблене математичне і програмне забезпечення.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		143

У зв'язку з цим цікаво розглянути процес реалізації МСЕ програмами нового покоління, які працюють у діалоговому режимі, такими як універсальні математичні програми Mathematica, Maple, MathCAD, Matlab та ін.

Узагальнюючи, можна сформулювати таку послідовність використання МСЕ (алгоритм):

- 1) дискретизація конструкції, тобто подання її як сукупності скінченних елементів;
- 2) побудова матриць жорсткості елементів;
- 3) побудова загальної матриці жорсткості та вектора навантажень для усієї області;
- 4) накладення граничних умов і редукція (тобто відповідне зменшення розмірів) матриць жорсткості, векторів невідомих і навантаження;
- 5) розв'язок системи рівнянь відносно вузлових переміщень;
- 6) визначення інших необхідних величин, які залежать від вузлових невідомих.

Навантаження, що діють на кузов, визначені ГОСТ 33211. Міцність кузовів оцінюють за великих поздовжніх зусиль, що виникають при маневровій роботі та при русі вагона у складі поїзда (І розрахунковий режим з варіантами дії поздовжніх сил під час удару, ривку, рушання з місця та гальмування). Розрахункові значення напружень порівнюють з допустимими, що менші границі текучості на 5-15%, тобто зазначені навантаження не повинні призвести до появи залишкових деформацій. Крім того, визначають опір втомі кузова. Навантаження, що діють на вагон при русі по перегонах зі швидкостями аж до конструкційної включно, не повинні викликати появу втомних тріщин протягом всього терміну служби вагона. Спрощена оцінка опору втомі відповідає розрахунку за III режимом. Додаткові варіанти навантаження відповідають розвантаженню на вагоноперекидачі, падінню брили сипкого вантажу та ін.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		154

Скінченно-елементна модель кузова піввагона. Даний приклад ілюструє процес створення скінченно-елементної моделі каркаса кузова піввагона моделі 12-132 з балкових елементів. Скінченно-елементна модель показана на рисунку 1.6.

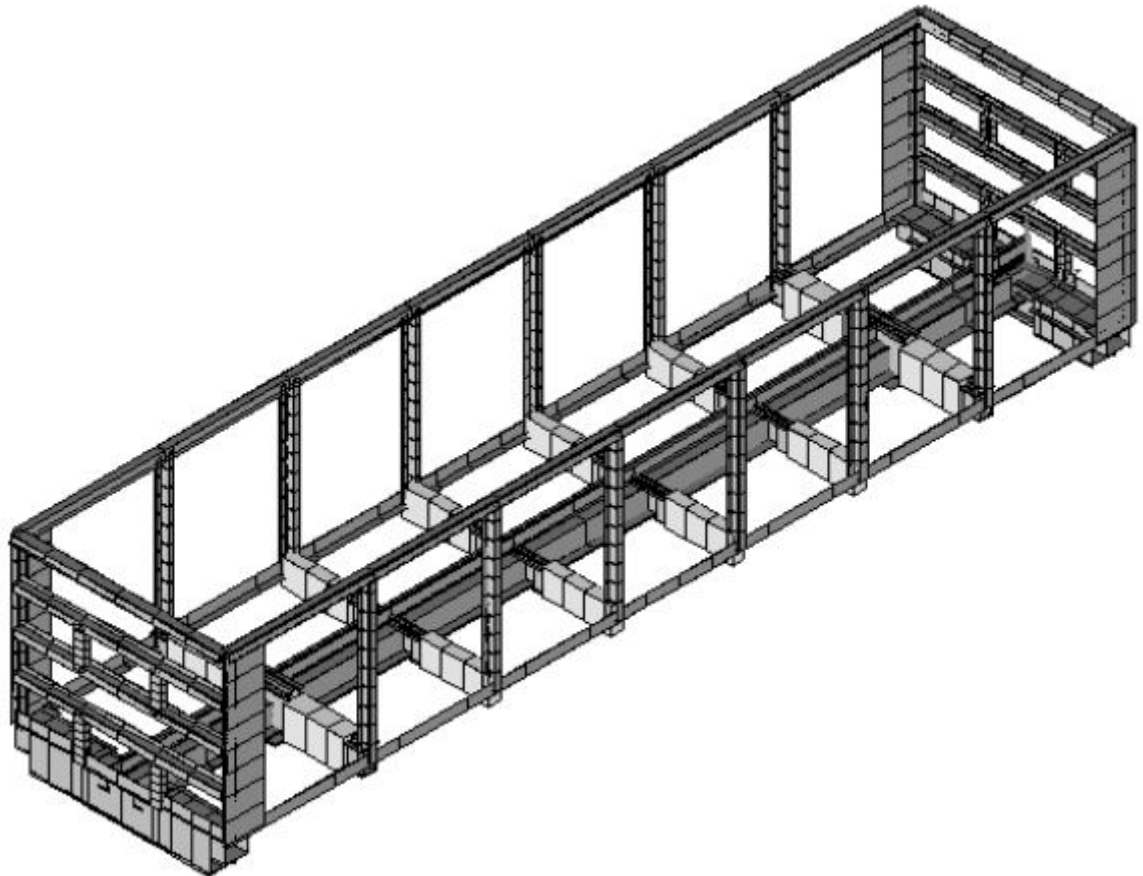


Рисунок 1.6 – Скінченно-елементна модель кузова піввагона моделі 12-132.

Як свідчить практика, в умовах експлуатації вагони все ж таки отримують ушкодження. Це пояснюється кількома можливими причинами.

По-перше, умови експлуатації вагонів погіршилися порівняно з 1996 роком, коли були прийняті норми розрахунку.

По-друге, хоча сьогодні для виконання розрахунків вагонів і використовують широко обчислювальні машини, сучасні методи

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		165

геометричного моделювання та потужні системи автоматизованого проектування, при побудові математичних, геометричних та числових моделей все ще приймають багато спрощень. Треба відмітити, що при некоректній розрахунковій моделі метод скінченних елементів може не тільки не уточнити результати, але і призвести до ще більшої похибки, ніж традиційні схеми для ручних розрахунків, які базуються на методі сил. Потрібно, щоб модель якомога точно копіювала фізичні процеси та стани, що спостерігаються і зафіксовані.

Тож актуальними є задачі уточнення розрахункових навантажень, вдосконалення методів розрахунку, а також і самих конструкцій вагонів. Це є напрямком подальших досліджень.

1.3. Оптимізація геометричних характеристик кузова піввагона

Особливістю проведення проектувальних робіт з покращення техніко-економічних та експлуатаційних показників вантажних вагонів є використання інженерних програмних комплексів не лише на етапах перевірки міцностних якостей конструкцій піввагонів, які розроблюються, а сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки (рівень об'ємів оперативної та накопичувальної пам'яті, швидкодія розрахункових пристроїв, досягнення у створенні штучного інтелекту) дозволяє значно розширити можливості проектувальника при формуванні нових базових схем піввагонів та їх комплектації складовими.

Вищезазначене обґрунтовує необхідність розробки концептуально нової теоретичної основи для проектування кузовів піввагонів, яка буде використовувати сучасні методи та підходи оптимізаційного автоматизованого проектування транспортних засобів, сучасні можливості обчислювальної

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		176

техніки, накопичений досвід виготовлення та експлуатації піввагонів. Передбачається, що таке практичне викорисання такої розробки дозволить широко модернізувати вже існуючі та створювати нові моделі піввагонів.

При формуванні зазначеної теорії на першому етапі планується створення сукупності вимог до конструкцій кузовів піввагонів, реалізація яких дозволить досягнення максимально можливого рівня їх техніко-економічні та експлуатаційні показників в заданих умовах виготовлення та експлуатації.

Ідеальний кузов піввагона – кузов, який буде перевозити максимальну кількість вантажу з мінімальними витратами на виготовлення та експлуатаційними витратами в визначених умовах виробничої бази і територіального курсування. Пропонується представлення ідеального кузова піввагона у вигляді віртуальної оболонки, яка характеризується показниками та параметрами, які задовольняють вищевказаним вимогам. При цьому одну з головних ролей при формуванні собівартості виготовлення кузова піввагонів буде відігравати адаптація його конструкції до запланованої для будівництва вагонів ресурсної та технологічної бази (врахування вартості енергоносіїв та робочих ресурсів, спрямованості на ливарні чи складально–зварювальні технології, існуюче обладнання та ін.), що є складним науково–технічним завданням, яке вимагає детального та окремого розгляду.

Для визначення можливих напрямків підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів розглянемо ймовірні шляхи їх ідеалізації. Відомо, що основними шляхами наближення технічної системи до ідеалу є: підвищення кількості функцій, які вона виконує; «згортання» у робочий орган; перехід у надсистему. Також визначено, що при наближенні до ідеалу технічної системи спочатку протидіє силам природи, потім адаптується до них, і на кінець, використовує їх у своїх цілях. Нижче більш детально розглянуто загальні шляхи підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів до яких віднесено:

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		187

- 1) скорочення окремих частин вантажних вагонів. Зазначене доцільно виконувати за рахунок об'єднання функцій декількох елементів у одному або раціональному їх перерозподілі. Одним із перспективних методів реалізації зазначеного напрямку є метод функціонально-ідеального моделювання. Суть методу полягає в тому, що система розділяється на елементи, та визначаються функції цих елементів. Виділяються основні функції та функції, які містять небажані ефекти. За визначеними правилами видаляються елементи, які містять функції, виконання яких призводить до появи небажаних ефектів, за виключенням елементів, які містять основні функції. З'ясовується, які функції після видалення лишилися нерозподіленими, між рештою елементів, в результаті чого виходить функціонально-ідеальна модель. До цієї моделі визначаються вимоги, проводиться їх аналіз, формулюються задачі і будуються попередні пропозиції;
- 2) видалення окремих процедур, операцій чи процесів. У якості прикладу можна розглянути процедуру змащування буксових вузлів вантажних вагонів, яка спочатку характеризувалася необхідністю сезонної заміни мастила, в подальшому необхідністю його заміни на проміжних ремонтах, а на сьогодні розроблені рішення, які дозволяють експлуатацію букс без заміни мастила до 1 млн. км;
- 3) збільшення кількості функцій, що виконуються. Також такий напрямок передбачає міжрівневі (між модулями або між вузлами, або між базовими елементами) перенесення корисних функцій;
- 4) збільшення відносних показників. У вантажних вагонів дана тенденція проявляється, зокрема, постійним пошуком шляхів зменшення коефіцієнту тари (співвідношення тари до вантажопідйомності) та збільшення корисного використання габаритного простору;
- 5) використання більш прогресивного обладнання, матеріалів, процесів і т.п., які відповідають провідному рівню науки та техніки;

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		198

- 6) ліквідація небажаних ефектів. Наприклад, використання у технологічному обладнанні пристроїв, які попереджуватимуть небажані ефекти виконання технологічних операцій (наприклад, вигин конструкції від теплового впливу при зварюванні, більш прогресивні аераційні пристрої тощо);
- 7) застосування одноразових об'єктів. Можливим прикладом такого напрямку є введення до конструкцій вантажних вагонів жертвних елементів, які будуть за рахунок власних пошкоджень гасити енергії (наприклад, ударів) які виникають в екстремальних ситуаціях, тим самим запобігаючи пошкодженням основних складових конструкцій;
- 8) блочні конструкції, що дозволяють спростити та прискорити процеси збирання та ремонтів вантажних вагонів;
- 9) застосування дорогих матеріалів тільки в необхідних (робочих) місцях;
- 10) використання передових ресурсів.

Основи теорії оптимального проектування що стосуються різноманітних конструкцій вагонів викладені в роботах [7–19].

Одними з перших робіт, присвячених застосуванню теорії оптимального проектування для кузовів вагонів, є стаття В.А. Царапкіна і А.М. Бабаєва [20] і роботи В.А. Царапкіна [21,22]. У зазначених роботах розглянуто задачу з визначення оптимальних параметрів перетинів стрижневих елементів за критерієм мінімуму площ поперечних перерізів на основі методу покоординатного спуску.

О.М. Савчуком і В.А. Царапкіним в роботі [23] також піднімалися питання параметричної оптимізації, а в роботі [24] О.М. Савчук запропонував спосіб структурної оптимізації форм масивних деталей на основі алгоритму «виклацування».

У статті В.В. Лукіна і В.П. Медведєва [25] наведено спосіб визначення оптимальних габаритних розмірів кузова, кількості осей і ряду інших параметрів. Розглянута цільова функція у вигляді наведених витрат, що залежать від бази вагона, довжини і висоти кузова.

Питанню оптимізації конструкцій присвячені роботи Ю.Ф. Тарарушкіна [26–28] і М.Н. Овечнікова [29], виконані в Московському інституті інженерів залізничного транспорту.

В роботі В.В. Саричева [30] запропоновано методику визначення оптимальної номенклатури профілів для кузовів вагонів.

Робота В.М. Макухіна [31], в якій на базі методу скінченних елементів (МСЕ) розроблений алгоритм дослідження напруженого стану кузовів піввагонів, прийнятний для використання в оптимізаційних розрахунках. Сформульовано багатокритеріальну задачу оптимального проектування кузовів з урахуванням зміни їх габаритних розмірів і запропонований метод її вирішення. Запропоновано спосіб урахування впливу корозії конструкції в процесі експлуатації на результати оптимізації, що полягає в збільшенні знайдених оптимальних товщин на величину допуску на корозію. Розроблена методика для оптимізації товщини листів поперечних балок рами і стійок бічної стіни восьмивісного піввагона.

В роботі [32] відзначено, що певний етап розвитку теорії оптимального проектування і застосування її для конструювання і модернізації кузовів вагонів пов'язаний з роботами наукового колективу кафедри «Вагони» Брянського державного технічного університету.

В даний час на кафедрі «Вагони» БГТУ сформовано наукову школу оптимального проектування кузовів вагонів. Ця наукова школа представлена працями В.П. Лозбінева, Н.І. Кузьменко, Ф.Ю. Лозбінева, М.А. Буличова, Е.В.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Афоніної, А.А. Лагутіна, С.В. Сорокіної, Ю.Л.Філюкова, А.Ю.Кузнецова, Я.А. Лукіна, Е.С. Єфименко, О.Н. Козлової і роботами інших дослідників.

В роботі Н.І. Кузьменко [33], виконаної під керівництвом Е.Н. Нікольського і В.П. Лозбінева в 1979 р, вперше для кузовів піввагонів розроблені методи уточненого розрахунку та аналізу напруженого стану при дії сил розпору сипучим вантажем. Визначено вплив крутильної жорсткості окремих елементів кузова. Запропоновано алгоритм параметричної оптимізації перетинів стійок бічної стіни піввагона. З використанням даного алгоритму здійснена оптимізація перетинів стійок піввагонів.

У 1982 р. В.П. Лозбіневим в роботі [34] представлено рішення проблеми оптимізації кузовів вантажних вагонів з метою досягнення мінімальної металоємності. Запропоновано нове рішення задачі розрахунку напруженого стану тонкостінних просторових систем з урахуванням дискретного впливу. Розроблено алгоритми і програми уточненого розрахунку на ЕОМ кузовів вантажних вагонів, що дозволяють врахувати взаємний вплив обшивки і підкріплюючих елементів, ексцентриситет підкріплюючих елементів по відношенню до поверхні обшивки, змінність розмірів поперечних перерізів підкріплюючих елементів по довжині, жорстке з'єднання підкріплень в вузлах їх перетину з обшивкою. Запропоновано метод оптимізації кузовів вагонів, заснований на базі градієнтного методу і методу штрафних функцій. Розроблено методику оптимального проектування кузовів вантажних вагонів, що враховує специфіку конструкцій. Дана методика сформована на основі уточнених розрахунків, методів оптимізації параметрів і способів дослідження знайдених оптимальних параметрів конструкції на глобальність.

В роботі [35] В.П. Лозбіневим розглянуті основні методи оптимального проектування кузовів вагонів. Розглянуто питання оптимізації несучих систем вагонів при різних обмеженнях. В роботі [36] В.П. Лозбіневим розглядаються методи знаходження оптимальної структури і параметрів несучих елементів

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						222
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кузовів, при яких забезпечується екстремум цільової функції мінімуму металоємності і вартості витрат на виробництво і ремонт вагонів. В якості найбільш доцільного підходу при проектуванні принципово нових конструкцій вагонів з визначенням раціональної структури несучої системи пропонується ієрархічний підхід.

Також рішення різних питань оптимального проектування розглянуті В.П. Лозбіневим в роботах [37], [38], [39] та інших публікаціях.

В.К. Гулаковою, Ю.Л. Філюковим, А.Е. Степановим в роботі [40] було запропоновано алгоритм і програма оптимізації параметрів і форми поперечного перерізу стрижневих елементів кузовів вагонів.

В роботі С.В. Сорокіної [41], виконаної в 1984 році під керівництвом професора Е.Н. Нікольського і В.П. Лозбінева, розроблена програма, що дозволяє автоматично визначати оптимальні розміри і форму поперечних перерізів стрижневих елементів кузовів з умови мінімуму маси кузова при виконанні умови міцності. Запропонована підпрограма, яка автоматизує роботу з розрахунку геометричних характеристик перетинів стрижневих елементів.

А.П. Мисютіним в 1985 р. в роботі [42] реалізований запропонований В.П. Лозбіневим метод структурної оптимізації стрижневих елементів на основі принципу «виродження» елементів так званого «первісного» розтину.

Професор Е.Н. Нікольський для вирішення задачі оптимізації несучої конструкції кузова в роботі [43] запропонував використовувати метод чергування основних систем (МЧОС) в поєднанні з методом кінцевих елементів.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

У дисертації Ю.Л. Філюкова [44] в 1986 р. розроблені алгоритм і програма для ЕОМ оптимізації вузлів несучої конструкції кузова рефрижераторного вагона.

Кузнецовим А.Ю. в 1988 р. захищена дисертація [45], в якій запропонована методика оптимізації частин кузова критого вантажного вагона.

Вдосконалення методики оптимального проектування кузова вагона присвячена кандидатська дисертація Ф.Ю. Лозбінева [46], захищена в 1989 р.

Я.І. Кульбовський в 1992 р. захистив дисертацію [47], в якій розроблена методика оптимізації параметрів несучих елементів кузовів локомотивів.

А.В. Конов в роботі [48], виконаної під керівництвом В.П. Лозбінева, запропонував методику оптимізації несучих елементів кузовів вагонів з урахуванням міцності і стійкості.

Професор В.В. Кобищанов в роботі [38] запропонував методику оптимізації параметрів кузова пасажирського вагона блокової конструкції з урахуванням попереднього напруження його вузлів.

М.А. Буличов в дисертації [24] запропонував варіант методики оптимізації несучої системи кузова вагона з урахуванням обмежень по міцності і опору втоми. Було визначено, що на підсумковий оптимальний варіант конструкції кузова вагона істотно впливають терміни деповських ремонтів і коефіцієнт зниження межі витривалості несучого елемента по відношенню до межі витривалості гладкого стандартного зразка.

У дисертації Афоніної Є.В. [28] вперше розроблена методика оптимізації кузовів вагонів з урахуванням вимог міцності і живучості несучих елементів. Запропоновано методику оптимізації конструкції кузова, несучі елементи якого містять початкові технологічні дефекти.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисертація Коненкової Н.І. [43] приурочено оптимізації кузовів вагонів за критерієм мінімуму собівартості конструкції при обмеженні по міцності.

Подальший розвиток методів оптимізації несучих систем кузовів вагонів міститься в роботах Ф.Ю. Лозбінева [20–24], де в якості цільової функції прийнятий критерій мінімуму витрат на створення, експлуатацію та ремонт вагона.

Ф.Ю. Лозбіневим в роботах [20–24] запропонована методика оптимального проектування кузовів вагонів з комплексного економічного критерію. Цей критерій дозволяє отримувати мінімум сумарних витрат на стадіях розробки конструкції, її експлуатації та ремонту. Наведено способи оцінки обмежень по втомної довговічності з урахуванням стадії живучості. Розглянуто різні методи параметричної та структурної оптимізації, наведено алгоритм підвищення живучості елементів кузова. Проведено оптимізаційний аналіз кузовів вагонів різних типів: критого вантажного вагона, пасажирського вагона, рефрижераторного вагона, вагона для перевезення автомобілів. Розглянуто економічні сторони процесу оптимізації кузовів вагонів, в тому числі – економічна ефективність оптимізації кузовів вагонів.

В роботі [21] Ф.Ю. Лозбіневим викладено варіант методики оцінки живучості зварних з'єднань в несучих елементах кузовів вагонів, показані особливості оцінки живучості при наявності початкових технологічних тріщин, запропонований спосіб підвищення живучості несучих елементів, застосовуваний на стадії проектування.

У спільних роботах Я.А. Лукіна і Е.С. Єфименко [40], [41] досліджено вплив початкової зігнутості несучих елементів обшивки і технологічних тріщин на напружений стан несучих елементів кузова вагона, запропонована методика оптимізації несучих систем кузовів вагонів з урахуванням початкових недосконалостей.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

У роботах О.Н. Козлової і В.П. Лозбінева [43, 44] проаналізовано вплив рівномірного корозійного зносу, виразкової корозії на напруги в несучих елементах кузова критого вантажного вагона, запропонована методика оптимізації зазначеного вагона з уточненими урахуванням корозійної стійкості.

Важливою стадією у розвитку методів оптимального проектування конструкцій є роботи професора І.М. Серпика і виконані під його керівництвом роботи Ф.Н. Левковича, А.В. Алексейцева, А.І. Тютюнникова [45–47]. В наведених роботах для розв'язання задачі структурно–параметричної оптимізації були застосовані математичні методи еволюційного моделювання (генетичні алгоритми). Загальний підхід до оптимального синтезу несучих конструкцій за допомогою еволюційного моделювання розглянуто в роботі [6].

Ф.Н. Левковичем в роботі [47] розроблена методика оптимізації несучих систем вагонів-платформ з використанням еволюційного моделювання. В роботі визначені раціональні значення керуючих параметрів пропонованої схеми генетичної ітераційної процедури, запропонована схема рішення задачі параметричної оптимізації для пластинчато–стрижневих систем з урахуванням можливості варіювання параметрів складових перетинів стрижнів, товщини пластин і координат вузлових точок, розроблена методика параметризації несучих систем вагонів–платформ для виконання процесу оптимізації.

А.В. Алексейцевим в роботі [14] розроблено метод структурно параметричної оптимізації несучих конструкцій за допомогою генетичних алгоритмів. В роботі розроблена схема імітаційного моделювання для попередньої оцінки міцності конструкцій, визначені оптимальні значення керуючих параметрів для пропонованого варіанту імітаційного моделювання, запропонована схема рішення задачі оптимізації стрижневих і пластинчастих

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

систем металевих конструкцій з урахуванням можливості виключення деяких конструктивних елементів, варіювання параметрів складових перетинів стрижнів, товщини пластин і координат вузлових точок.

В роботі І. Н. Серпіко і А. І. Тютюнникова [19] приведено методику оптимізації несучих систем кузовів вантажних вагонів з використанням комплексу математичних моделей.

З робіт, в яких представлено реалізація оптимізаційного процесу в промислових програмних комплексах МСЕ, слід відзначити роботу Д.Г. Шимковича [11] і роботу С.П. Ричкова [12].

Із зарубіжних досліджень в сфері оптимального проектування конструкцій слід відзначити роботи [13–18].

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2. МОДЕЛЬ КУЗОВА ПІВВАГОНА

Розроблена скінченно—елемента модель кузова піввагона, що складається з рами (хребтова, дві шворневі, дві кінцеві та чотири проміжні поперечні балки), двох бокових та двох торцевих стінок каркасної конструкції (верхня та нижня обв'язка, стійки, обшивка, горизонтальні проміжні балки на торцевих стінах).

Визначені навантаження на вагон відповідно до ГОСТ 33211. Розраховані напруження від окремих груп сил (поздовжніх з силами інерції кузова та вантажу, вертикальних статичних, динамічних добавок, поперечних інерціальних, розпору вантажу) та від навантажень обох розрахункових режимів. Порівняння результатів розрахунку та експерименту підтвердило достовірність розробленої моделі.

На наступній стадії дослідження модель буде використана для визначення оптимальних параметрів кузова. Мета полягає в зменшенні маси кузова при збереженні несучої здатності. За цільову функцію прийнято масу кузова, обмеження відповідають умовам міцності (розрахункові значення напружень не перевищують допустимих).

2.1. Конструкція та параметри піввагона

В даній дипломній роботі в якості прототипу ми будемо розглядати піввагон моделі 12-783 будівництва ПАТ “Крюківський вагонобудівний завод”. Це універсальний чотиривісний, суцільнометалевий вагон зі зварним кузовом, виготовлений з низьколегованої сталі 09Г2С або 09Г2Д. Він призначений для перевезення штучних, сипких в тому числі дрібношматкових і пакетованих вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів по

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

всій мережі залізниць з шириною колії 1520 мм з можливістю розвантаження через розвантажувальні люки розміщені в підлозі вагона або на вагоноперекидачі. Відкритий зверху кузов має чотирнадцять розвантажувальних люків, кришки яких утворюють підлогу. Розвантаження вагона здійснюється через розвантажувальні люки або на вагоноперекидачі. Гальма – автоматичне пневматичне та стоянкове. Ходова частина – два двовісних візки мод. 18-7055 типу 2 ГОСТ 9246 або інші візки типу 2 ГОСТ 9246. Автозчеп СА-3. Поглинаючий апарат класу Т1 (рисунок 2.1).

Рама піввагона має хребтову балку, дві кінцеві балки, дві шкворневі балки та чотири проміжні балки. Конструкція кузова піввагона складається з двох бічних стін (які у свою чергу складаються з верхньої та нижньої обв'язок, кутових та бічних стійок та металевої обшивки), двох торцевих стін (каркас включає верхню обв'язку, дві бічні стійки, два горизонтальні пояси, дві проміжні напівстійки та обшивка). Люки складаються з двох поперечних бічних, поздовжньої передньої та середньої обв'язок та підсилювальної планки, перекритих штампованим листом з гофрами, розташованими поперек вагона. Кришка шарнірно з'єднана з двотавром хребтової балки петлею. Кожна кришка люка обладнана торсіонним пристроєм для полегшення їх підняття після розвантаження вагона. Запор люка складається з закидки, сектора та планки.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики піввагона моделі 12-783

Технічні характеристики піввагона моделі 12-783	
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
Візок	18-7055
Міжремонтний пробіг, років (тис.км)	3(210)
Конструкційна швидкість, км/год	120
Термін служби, років	22

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

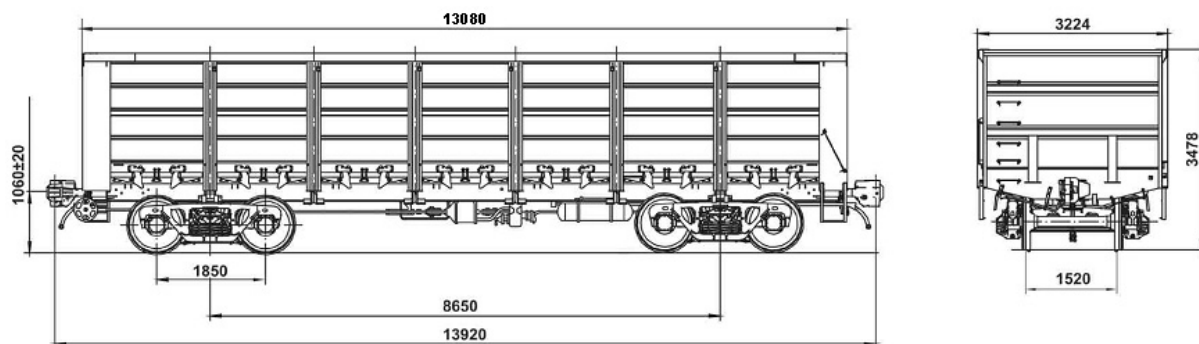


Рисунок 2.1 – Піввагон моделі 12-783 будівництва ПАТ “Крюківський вагонобудівний завод”.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Візок двовісний модель 18-7055 тип 2

Візок відповідає типу 2 згідно з ГОСТ 9246, ДСТУ 7530. Призначений для встановлення під вантажні вагони з навантаженням від колісної пари на рейки 23,5 тс, що експлуатуються на магістральних залізницях колії 1520 мм. Конструкцією візка передбачена можливість його використання на залізницях колії 1435 мм (при підкочненні відповідних колісних пар та переобладнанні гальмівної важільної передачі). Візок забезпечує експлуатаційну надійність вагонів в інтервалі температур навколишнього середовища від –60 до +50 градусів Цельсія (виконання УХЛ категорія розміщення 1 згідно з ГОСТ 15150).

Візок складається з:

- колісних пар з циліндричними роликовими підшипниками або здвоєними циліндричними підшипниками CRU-Дуплекс в корпусі букси;
- бокових рам і надресорної балки посиленої конструкції;
- комплекту центральної лінійної ресорної підвіски, до якого входять циліндричні пружини з клиновими гасниками коливань;
- гальмівної важільної передачі.

За вимогою візок комплектується зносостійкими елементами та ковзунами постійного контакту згідно проекту С 03.04 (рисунок 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики візка двовісного модель 18-7055 тип 2

Технічні характеристики візка двовісного модель 18-7055 тип 2	
Маса, не більше, кг	4 900
Висота від рівня головок рейок до опорної поверхні	806

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

підп'ятника у вільному стані, мм	
База, мм	1 850
Гнучкість ресорної підвіски, мм/Н (мм/тс)	$1,13 \times 10^{-4}(1,13)$
Максимальне статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230 (23,5)
Міжремонтний пробіг до першого деповського ремонту, років (тис. км)	3 (210)
Конструкційна швидкість, км / год	120

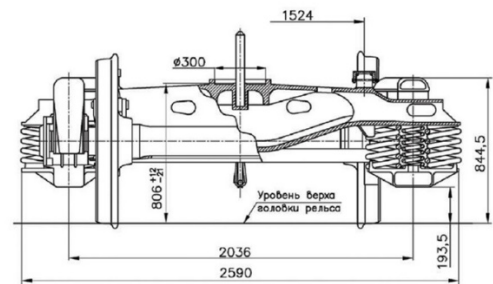
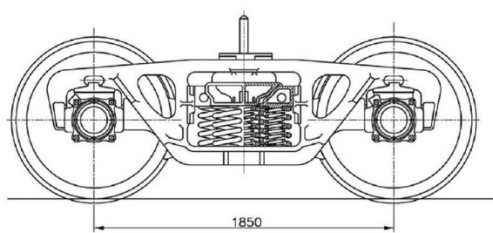
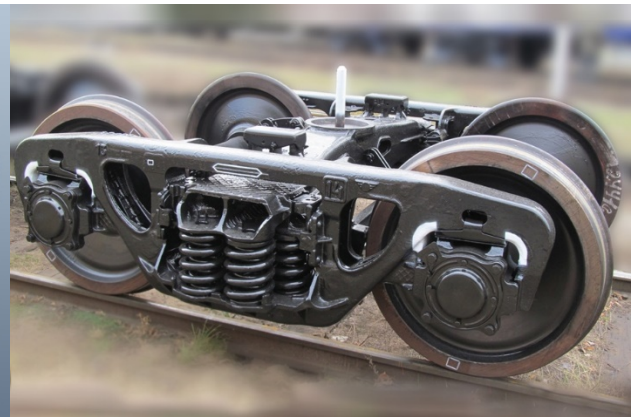
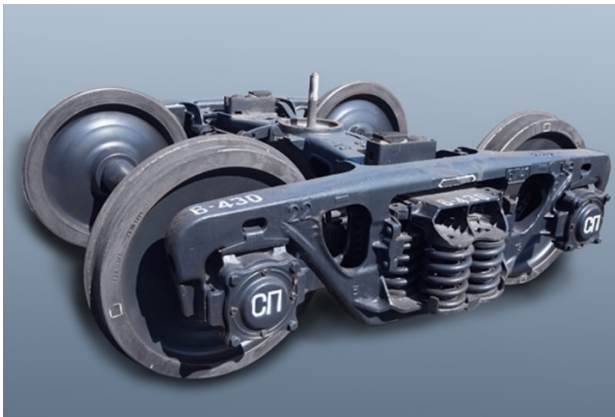


Рисунок 2.2 – Візок двовісний модель 18-7055 тип 2.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.2.Геометрична модель кузова піввагона

Побудова скінченно-елементної моделі починається з розробки геометричної моделі. Скінченно-елементу модель ми хочемо зробити пластинчасту, тому в геометричній моделі кузов вагона представлений як сукупність поверхонь у просторі.

Для побудови геометричної моделі кузова піввагона моделі 12-783 ми використали такі характеристики конструкції вагона дайної моделі (рисунок 2.3).

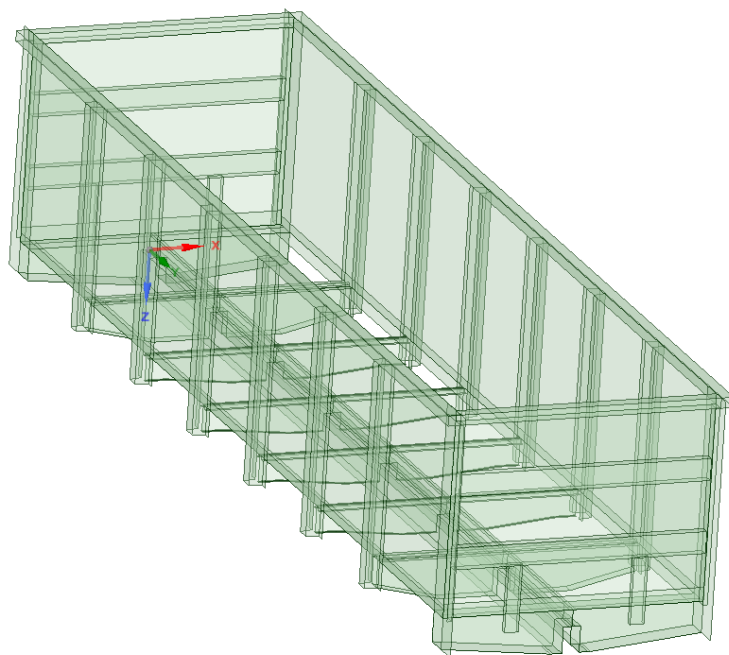


Рисунок 2.3 – Геометрична модель кузова піввагона моделі 12-783.

Рама кузова (рисунок 2.4) складається з хребтової балки із двох зетів №31 та двотавра №19; двох шкворневих балок замкнутого коробчатого поперечного перерізу з двох вертикальних листів товщиною 8 мм та двох горизонтальних листів — нижній товщиною 12 мм та верхній товщиною

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

10 мм; двох кінцевих балок коробчатого перерізу із гнутого профілю товщиною 7 мм; чотирьох проміжних балок двотаврового профілю, звареного з вертикального листа товщиною 12 мм та двох горизонтальних поясів товщиною 8 мм нижній та 7 мм верхній.

Верхнім листам шкворневих і проміжних балок надано опуклу форму, щоб верхні точки цих балок були вище гофр кришок розвантажувальних люків. При такому рівні зазначених елементів довгомірні вантажі, що перевозяться, спираються на балки рами, а не на кришки люків. Крім того, опукла форма верхніх листів проміжних балок сприяє більш повному розвантаженню через люки.

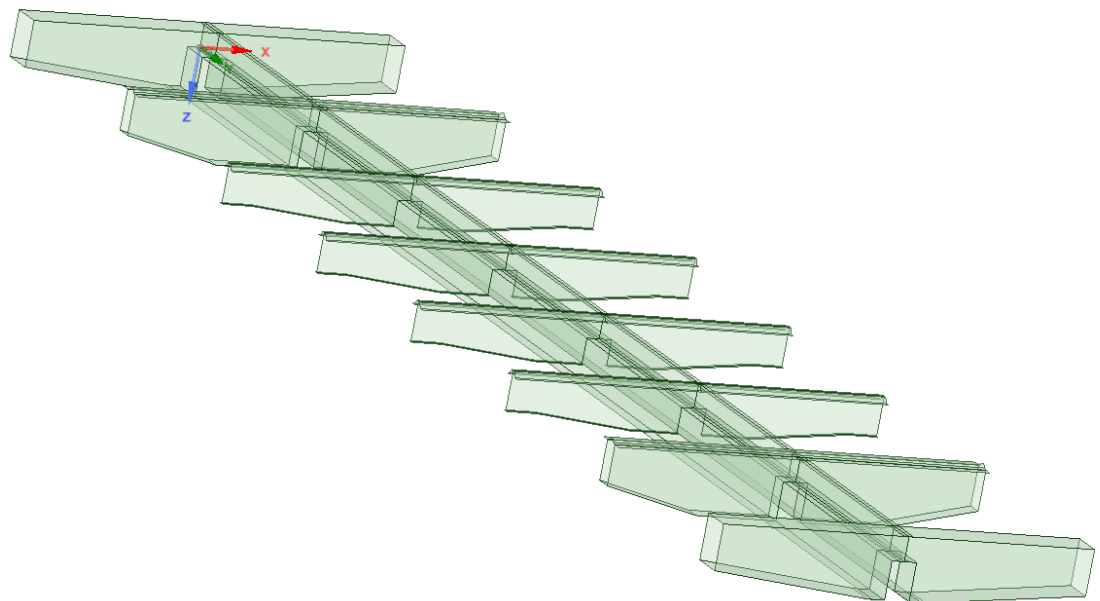


Рисунок 2.4 – Геометрична модель рами піввагона моделі 12-783.

Бічна стінка кузова (рисунок 2.5) складається з каркаса, обшитого металевим листом товщиною 5 мм з гнутого профілю з гофрами, що періодично повторюються. Верхня обв'язка замкнутого поперечного перерізу

виготовлена з гнутого профілю товщиною 10 мм. Нижня обв'язка виготовлена із прокатного кутника 160x100x10 мм. Стійки виконані із гнутого профілю товщиною 6 мм. Кутові стійки посилені пластинами із сталі товщиною 8 мм.

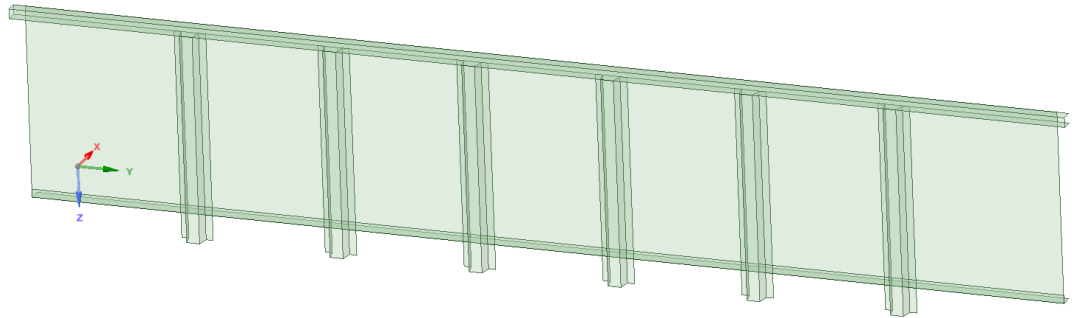


Рисунок 2.5 – Геометрична модель бічної стінки піввагона моделі 12-783.

Верхня обв'язка торцевих стін виготовлена із замкнутого гнутого елемента поперечного перерізу перетином 160x145x10 мм, а нижня обв'язка – із гнутого куточка перетином 160x100x12 мм. Поперечні пояси торцевої стіни кузова виготовлені зі спеціального гнутого профілю 250x102x9 мм, напівстійки – зі швелера №16, а бічні стійки стіни – зі швелеру №12. Бічні стійки з двох сторін приварені до кутових стійок пластин бічних стін. Обшивка торцевої стіни виконана з гладких листів товщиною 4 мм, приварена до каркасу з внутрішньої сторони кузова (рисунок 2.6).

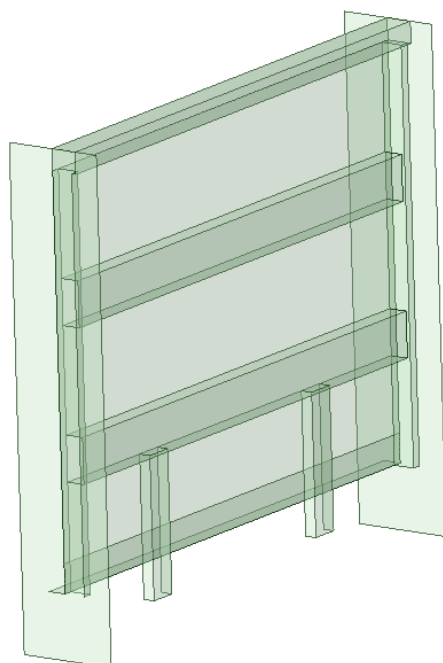


Рисунок 2.6 – Геометрична модель торцевої стіни піввагона моделі 12-783.

2.3. Скінченно-елементна модель кузова піввагона

Геометрична модель автоматично розбивається на скінченні елементи, що являють собою переважно чотирикутні елементи (4-кутні оболонки), для переходів можуть використовуватися трикутні елементи.

Характерний розмір ребра елемента – 0,1 м

Кількість вузлів – 25 950

Кількість елементів – 25 857

Матеріал кузова — сталь з модулем Юнга 210 ГПа та коефіцієнтом Пуассона 0,3 (рисунок 2.7).

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

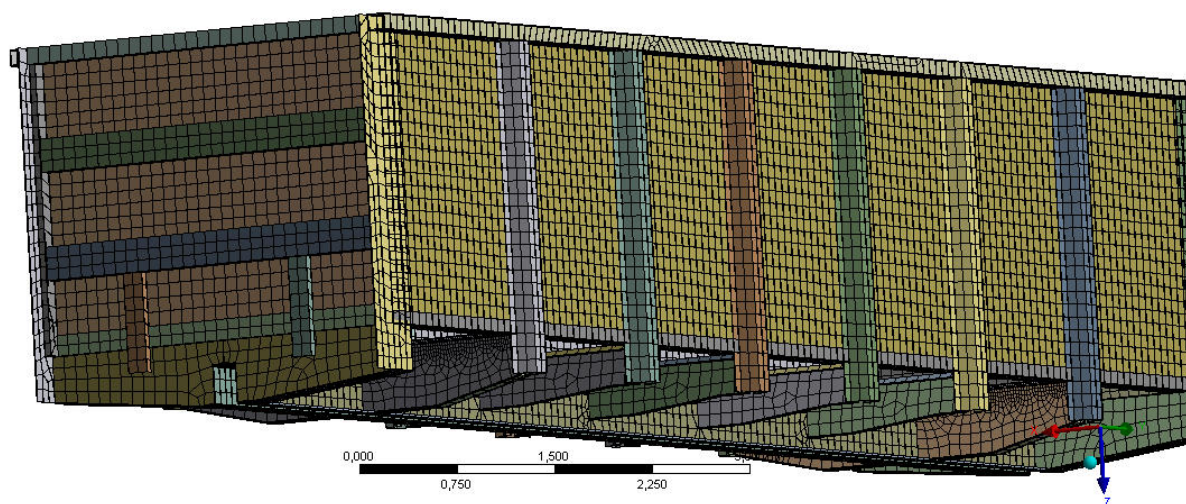


Рисунок 2.7 – Скінченно-елементна модель кузова піввагона моделі 12-783.

2.4. Розрахункові режими, навантаження

Великий об'єм теоретичних відомостей про методи розрахунків вагонів на міцність представлено в другому та третьому виданнях книги Л. А. Шадура [49, 50].

Сили, що діють на вагон, поділяють на 4 основні групи: 1) вертикальне навантаження; 2) бокове навантаження; 3) поздовжнє навантаження; 4) самоврівноважені сили – від розпору сипучих вантажів.

При оцінці міцності вагонів керуються Нормами [51]. Згідно з цим нормативним документом дія експлуатаційних навантажень та їх величини визначаються трьома розрахунковими режимами.

За I розрахунковим режимом розглядається відносно рідке поєднання екстремальних навантажень. В експлуатації він відповідає для вантажних вагонів осаджуванню і рушанню великовагового потягу з місця, співударянню вагонів при маневрах, у тому числі при спуску з гірок, екстренне гальмування в поїздах при малих швидкостях руху, для пасажирських вагонів – аварійне співударянню при маневрах, або зіткнення вагонів в позаштатних ситуаціях, а

також аварійний ривок (поштовх) вагона при проходженні у вантажному поїзді.

За III розрахунковим режимом розглядається відносно часте можливе поєднання помірних за величиною навантажень, характерне для нормальної роботи вагона в потязі. В умовах експлуатації III режиму відповідає випадок руху вагона в складі поїзда по прямолінійних і криволінійних ділянках колії та стрілочних переводах з допустимою швидкістю при періодичних службових регулювальних гальмуваннях, періодичних помірних ривках і поштовхах, штатній роботі механізмів і вузлів вагона.

Проведемо розрахунок для III розрахункового режиму при стисканні. (Стискаюча поздовжня квазістатична сила; сила тяжіння бруто; вертикальне динамічне навантаження; поперечна сила; сили розпору вантажу.)

Поздовжня квазістатична сила N діє з обох кінців вагона та прикладена до передніх (розтягуюча сила $N > 0$) або задніх (стискаюча сила $N < 0$) упорів.

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

Сила тяжіння бруто складається із сили тяжіння кузова та сили тяжіння вантажу. Сила ваги 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 як

$$P_B = m_B g, \quad (1)$$

де m_B – максимальна допустима маса вантажу (вантажопідйомність вагона), $m_B = 70,0 \text{ т}$.

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

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$P_{\text{В}}^{\text{ЛЮК}} = \frac{m_{\text{В}} g}{14}, \quad (2)$$

$$P_{\text{В}}^{\text{ЛЮК}} = \frac{70 \cdot 9,81}{14} = 49,05 \text{ кН.}$$

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

$$k_{\text{ДВ}} = \frac{\overline{k_{\text{ДВ}}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(k_{\text{ДВ}})}}, \quad (3)$$

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, що враховує вплив кількості осей у візку під одним кінцем вагона на значення коефіцієнта динаміки:

$$b = \frac{n + 2}{2 \cdot n}, \quad (4)$$

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

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

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

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

$f_{\text{ст}}$ – статичний прогин ресорного підвішування, $f_{\text{ст}} = 0,0475$ м.

Тоді

$$\overline{k_{\text{дв}}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot \frac{33,3 - 15}{0,0475} = 0,1886,$$

$$k_{\text{дв.мах}} = \frac{0,1886}{1,13} \sqrt{\frac{4}{3,14} \cdot \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,352.$$

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

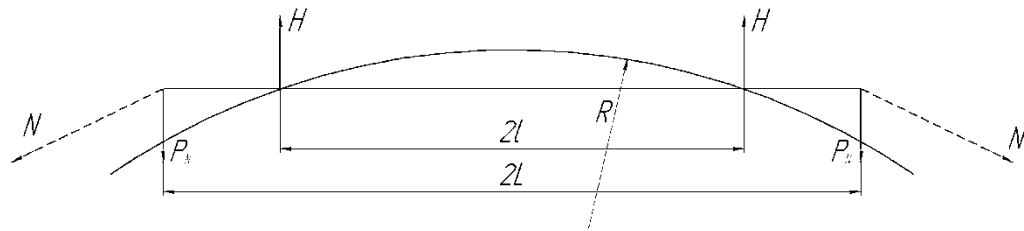
$$P_{\text{д}}^{\text{люк}} = 49,05 \cdot 0,352 = 17,2656 \text{ кН},$$

і прикладається в ті ж точки, що й статичне навантаження від ваги вантажу. Вертикальне динамічне навантаження від кузова рівномірно розподілено по розрахунковій моделі і враховується шляхом збільшення значення прискорення вільного падіння в $(1 + k_{\text{дв}}) = (1 + 0,352) = 1,352$ раз.

Поперечна складова P_N поздовжньої квазістатичної сили прикладається до рами кузова у площині передніх упорних косинців автозчіпного пристрою у разі дії розтягуючих сил та у площині задніх упорів при дії стискаючих сил (рисунок 2.8).

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

а)



б)

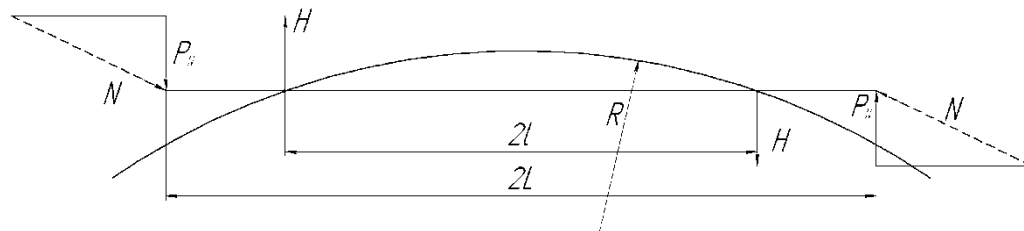


Рисунок 2.8 – Прикладення сил взаємодії між вагонами під час проходження кривих ділянок колії: а – розтяг; б – стиск.

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

$$P_N = N \left[\frac{\delta L}{l^2} \left(1 + \frac{L}{a} \right) + \frac{L_c}{R} \right] \frac{l}{L}, \quad (5)$$

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 та довжина вагона по осях зчеплення автозчеплень, $2l = 8,65$ м, $2L = 13,080$ м, $2L_c = 13,92$ м;

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

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		442

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

Тоді при стисканні

$$P_N = 2500 \left[\frac{0,04 \cdot 6,54}{4,325^2} \left(1 + \frac{6,54}{1} \right) + \frac{6,96}{250} \right] \cdot \frac{4,325}{6,54} = 219,297 \text{ кН.}$$

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

$$p = \gamma g y (1 + k_{\text{дв}}) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (6)$$

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

$k_{\text{дв}}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки, приймаємо для I розрахункового режиму $k_{\text{дв}} = 0,1$, для III розрахункового режиму – $k_{\text{дв.мах}} = 0,352$

γ – насипна щільність вантажу визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{m_{\text{в}}}{V}, \text{ т/м}^3. \quad (7)$$

V – об'єм кузова, $V = 78 \text{ м}^3$,

$$\gamma = \frac{70}{78} = 0,897 \text{ т/м}^3 ;$$

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

Тоді максимальний тиск на стінки кузова (рисунок 2.9) при:

III розрахунковому режимі

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$p = 0,897 \cdot 9,81 \cdot 2,365 \cdot (1 + 0,352) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{0}{2} \right) = 28,136 \text{ кН/м}^2$$

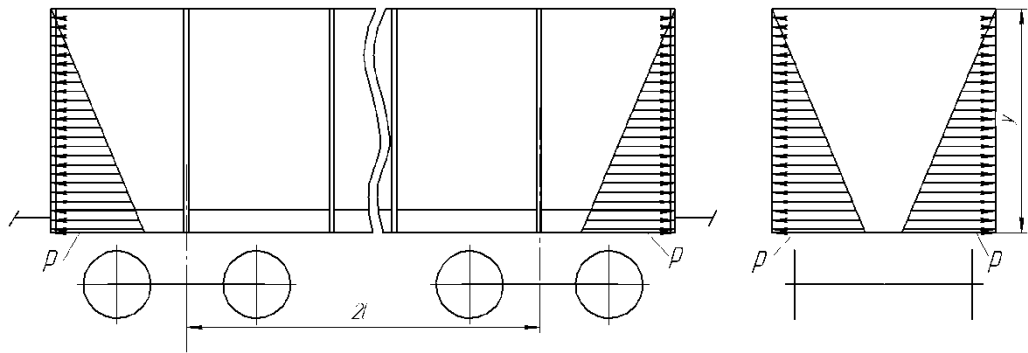


Рисунок 2.9 – Прикладення сили розпору вантажу до торцевих і поздовжніх стін кузова.

Проведемо розрахунок для I розрахункового режиму при ударі.

(Стискаюча поздовжня сила удару; поздовжні сили інерції кузова та вантажу; 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

Вертикальна добавка P_z (рисунок 2.10) від поздовжньої сили інерції кузова бруто на візок визначається за формулою:

$$P_z = N \frac{h_k}{2l}, \quad (7)$$

де h_k – відстань від центру тяжіння кузова вагона до осі автозчеплення,
 $h_k = 1,4$ м;

$2l$ – база вагона, $2l = 8,650$ м.

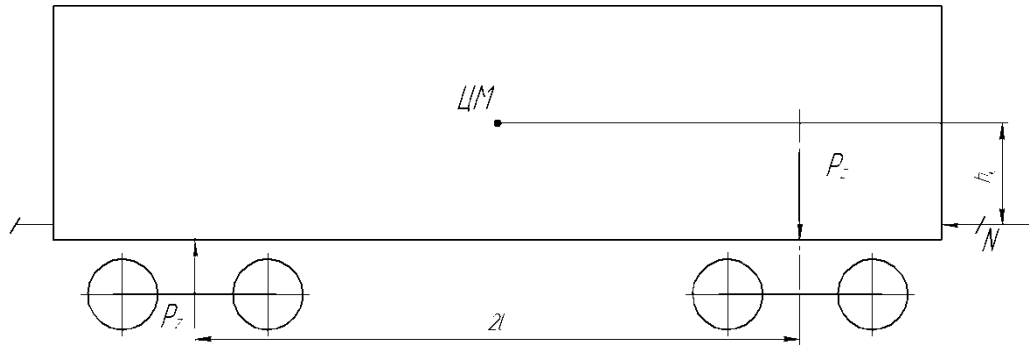


Рисунок 2.10 – Схема прикладення вертикальної добавки від поздовжньої сили інерції кузова брутто.

I розрахунковий режим, удар

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

Сили розпору вантажу p при I розрахунковому режимі

$$p = 0,897 \cdot 9,81 \cdot 2,365 \cdot (1 + 0,1) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{0}{2} \right) = 22,892 \text{ кН/м}^2$$

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3. НАПРУЖЕНИЙ СТАН КУЗОВА ПІВВАГОНА

3.1.Результати розрахунків

Допустимі напруження для I та III розрахункових режимів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Допустимі навантаження $[\sigma]$, МПа

Частина кузова	Границя текучості σ_T , МПа	I розрахунковий режим	III розрахунковий режим
Хребтова та шкворневі балки	390	351	240
Елементи кузова, окрім хребтової та шкворневих балок	390	370	250

I розрахунковий режим

Схема прикладання навантажень для I розрахункового режиму при ударі представлена на рисунку 3.1.

A: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
Items: 10 of 12 indicated
01.12.2021 23:13

- A CP1
- B SL1
- C SL2
- D CP2
- E A: 38,472 m/s²
- F N1: 1,5e+006 N
- G N2: 1, N
- H PLD: 700, N
- I Variable Load: PRLDS
- J Variable Load: PRLSE

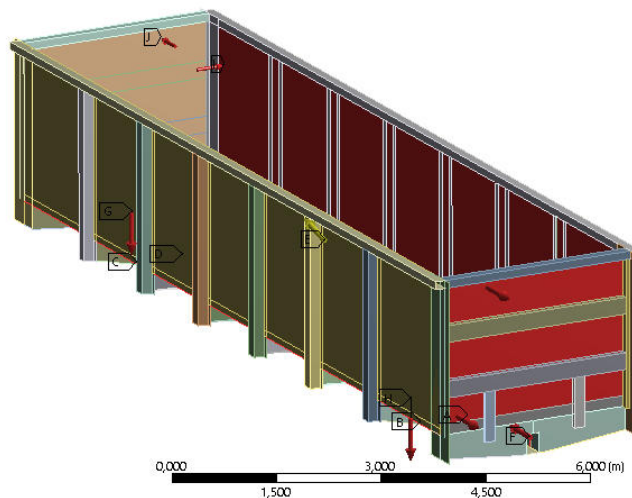


Рисунок 3.1 – Схема прикладання навантажень для I розрахункового режиму при ударі.

При I розрахунковому режимі максимальне допустиме навантаження становить 370 МПа для всіх елементів кузова піввагона, окрім хребтової балки та шкворневих балок, для них – 351 МПа. Загальна схема напруженого стану напіввагона при I розрахунковому режимі при ударі наведена на рисунку 3.2.

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
Unit: Pa
Time: 1
01.12.2021 23:09

- 4e8
- 3,5e8
- 3,0001e8
- 2,5001e8
- 2,0002e8
- 1,5002e8
- 1,0003e8
- 5,0031e7
- 35820 Min

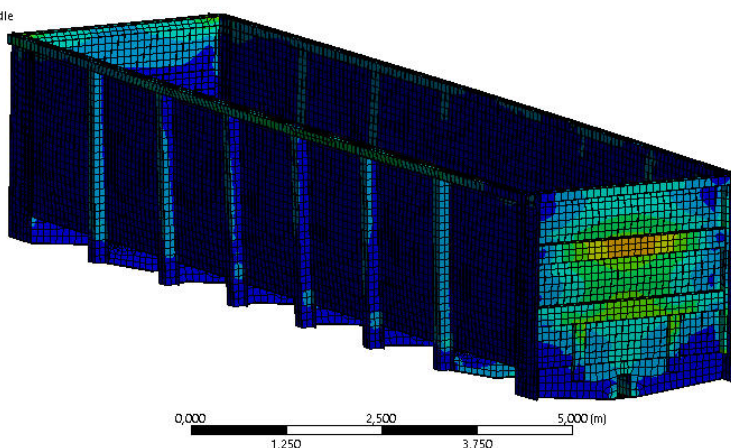


Рисунок 3.2 – Напруження в кузові напіввагона при I розрахунковому режимі при ударі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

031.160185.ДМР.000.ПЗ

Арк.

46

Напружений стан хребтової балки кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 3.3.

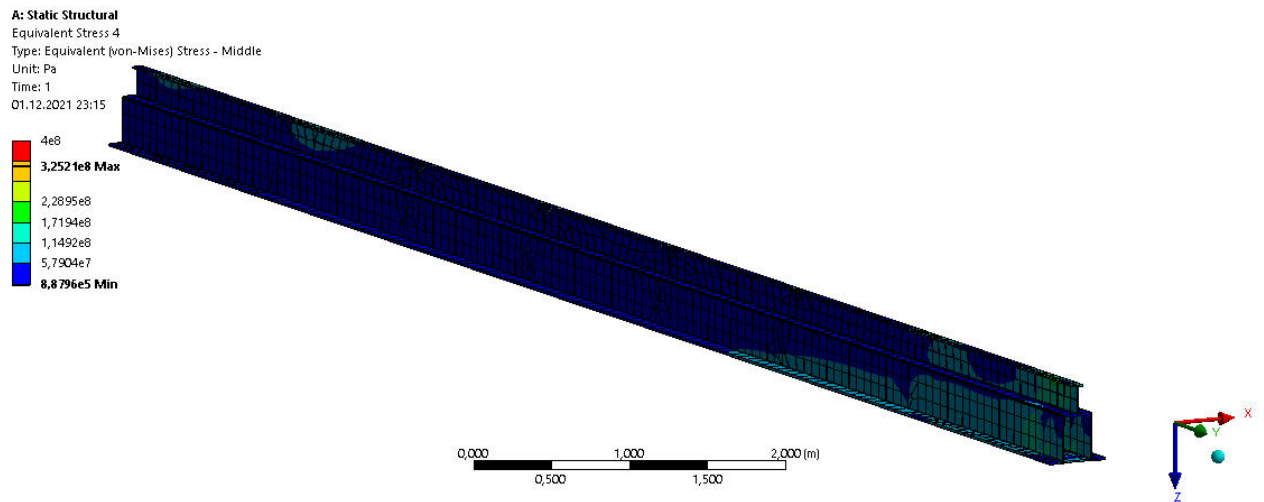


Рисунок 3.3 – Напружений стан хребтової балки кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан шворневої балки кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 3.4.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 5
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 01.12.2021 23:18

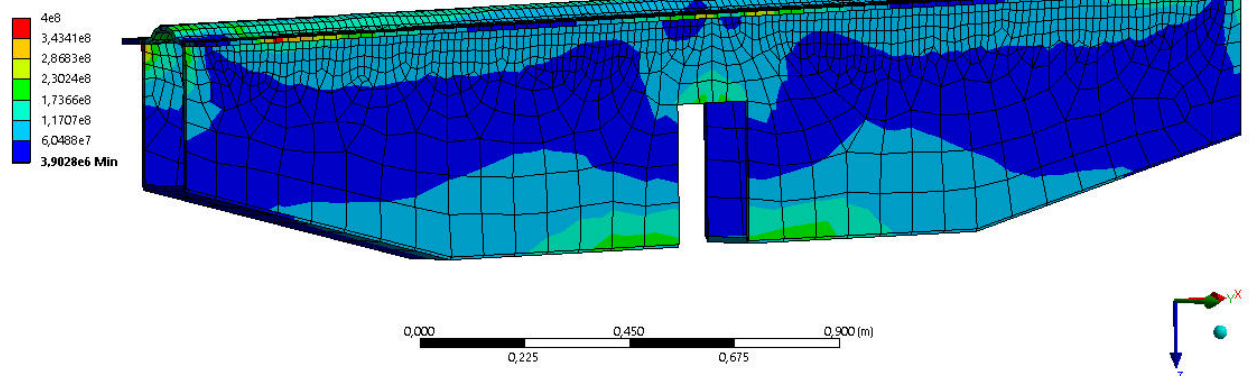


Рисунок 3.4 – Напружений стан шворневої балки кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 3.5.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 6
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 01.12.2021 23:20

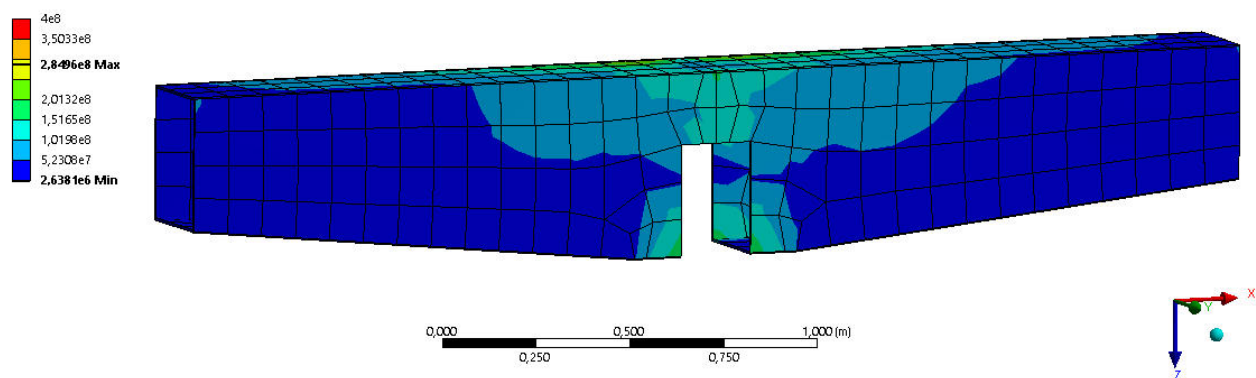


Рисунок 3.5 – Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан бокової стіни кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 3.6.

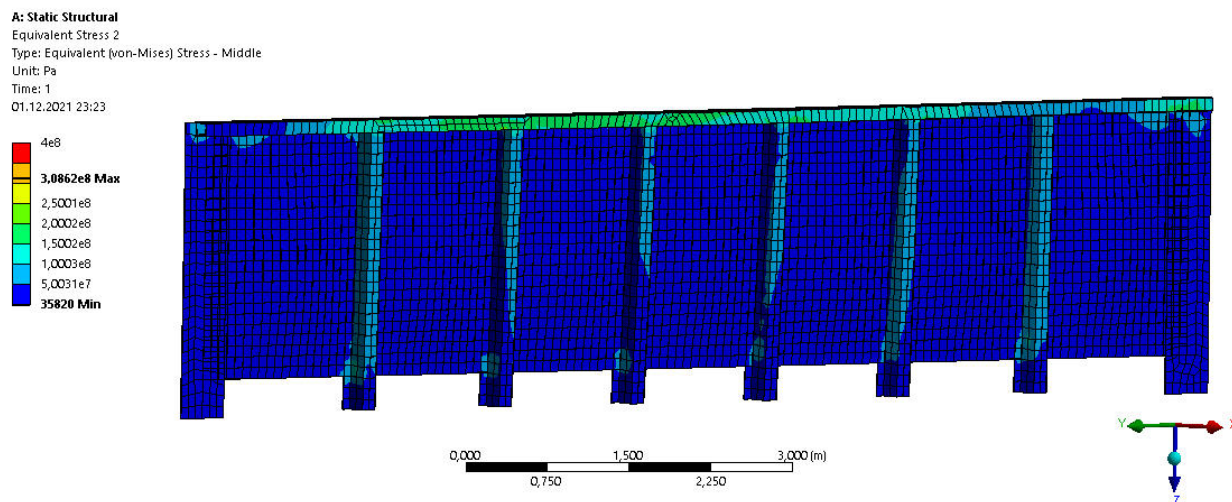


Рисунок 3.6 – Напружений стан бокової стіни кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 3.7.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 3
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 01.12.2021 23:26

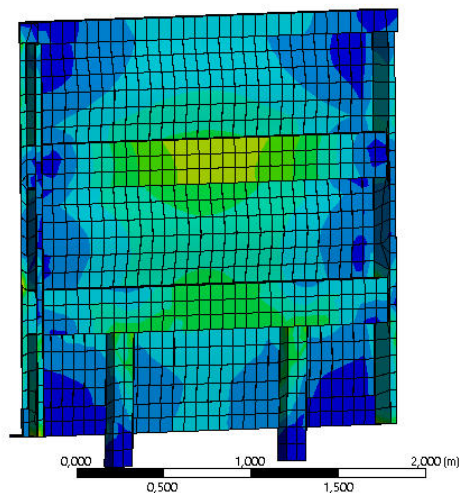
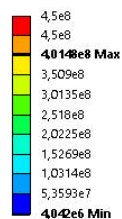


Рисунок 3.7 – Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі.

В таблиці 3.1 наведені значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі.

Таблиця 3.1 – Значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона при I розрахунковому режимі при ударі

Елементи кузова піввагона	Значення напружень, МПа
Хребтова балка	114
Шкворнева балка	117
Кінцева балка	151
Торцева стіна	350
Нижній обв'яз торцевої стіни	95

Верхній обв'яз торцевої стіни	172
Кутові стійки торцевої стіни	170
Обшивка бокової стіни	91

III розрахунковий режим

Схема прикладання навантажень для III розрахункового режиму при стисканні представлена на рисунку 3.8.

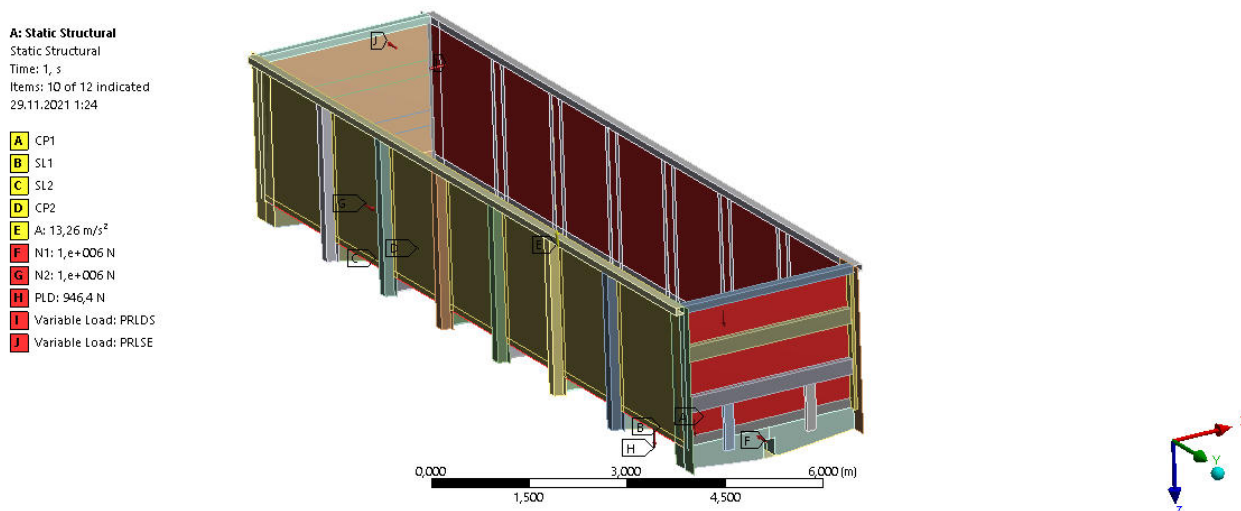


Рисунок 3.8 – Схема прикладання навантажень для III розрахункового режиму при стисканні.

При III розрахунковому режимі максимальне допустиме напруження становить 240 МПа для всіх елементів кузова піввагона, окрім хребтової балки та шкворневих балок, для них – 250 МПа. Загальна схема напруженого стану навіввагона при III розрахунковому режимі при стисканні наведена на рисунку 3.9.

A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 29.11.2021 1:29
 2,4e8
 2,0003e8
 1,6006e8
 1,2009e8
 8,0126e7
 4,0157e7
 1,8845e5 Min

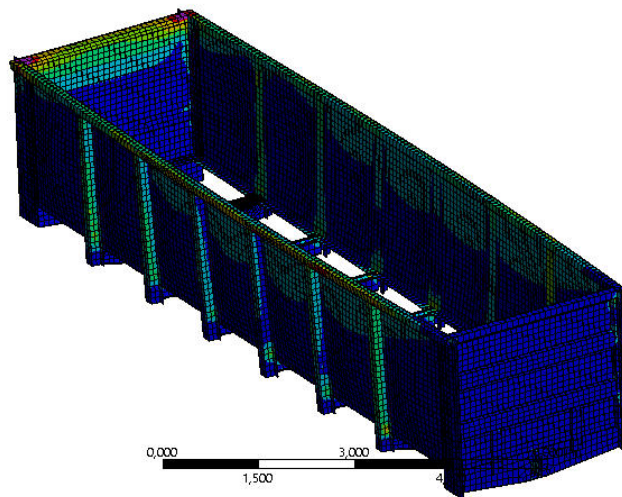


Рисунок 3.9 – Напруження в кузові піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан хребтової балки кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 3.10.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 4
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 29.11.2021 1:31
 2,4e8
 2,4e8
 2,0609e8
 1,5904e8 Max
 1,0435e8
 7,0443e7
 3,6532e7
 2,6208e6 Min

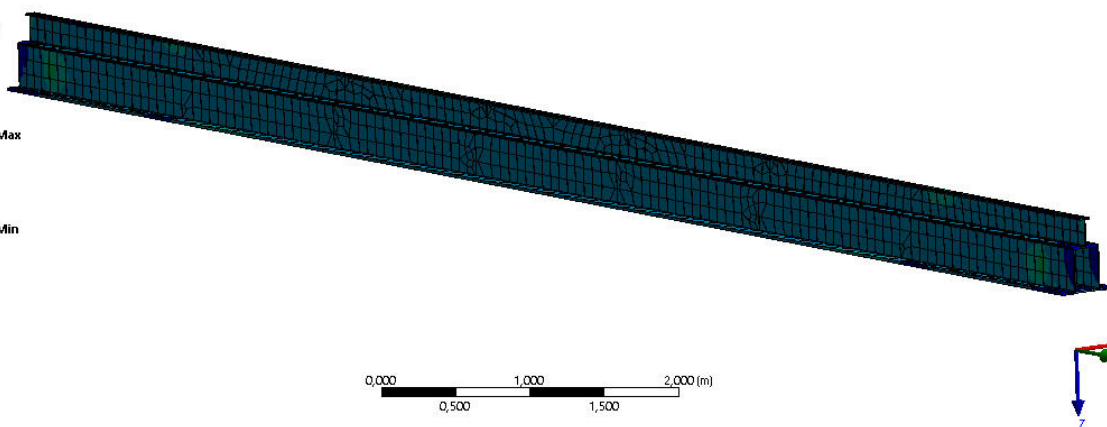


Рисунок 3.10 – Напружений стан хребтової балки кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан шкворневої балки кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 3.11.

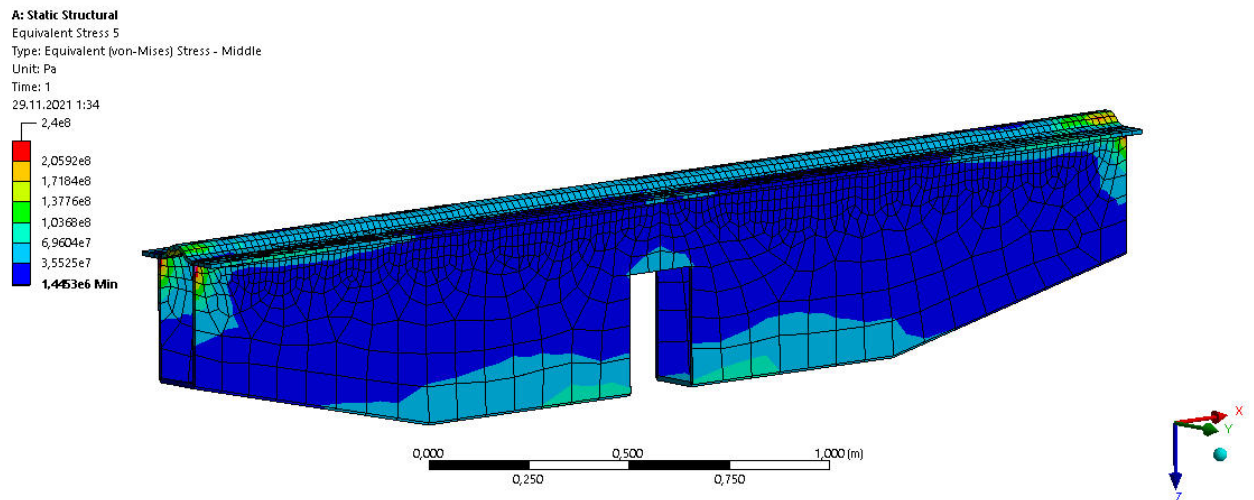
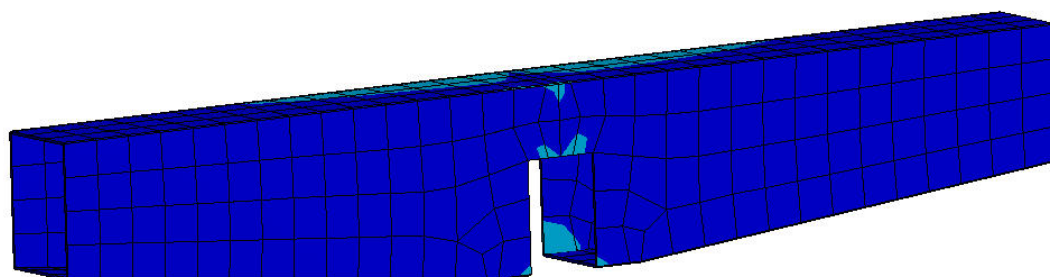


Рисунок 3.11 – Напружений стан шкворневої балки кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 3.12.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 6
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 29.11.2021 1:35

2,4e8
 2,4e8
 2,001e8
 1,602e8
 9,391e7 Max
 4,048e7
 5,855e5 Min



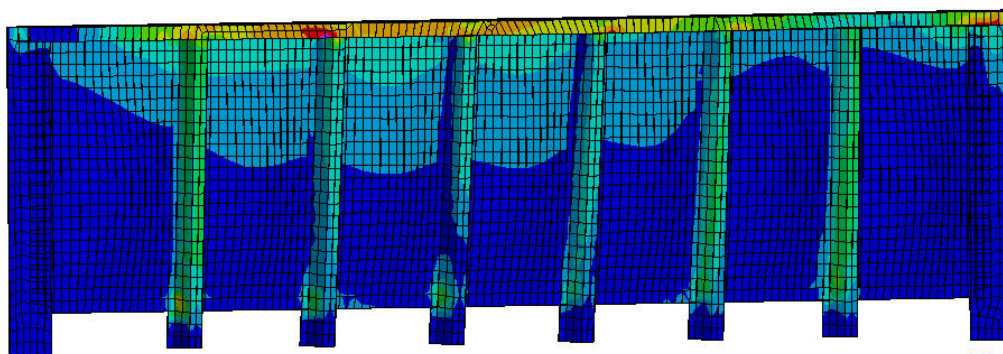
0,000 0,250 0,500 0,750 1,000 (m)

Рисунок 3.12 – Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан бокової стіни кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 3.13.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 2
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 29.11.2021 1:38

2,4e8
 2,1003e8
 1,8006e8
 1,5008e8
 1,2011e8
 9,0139e7
 6,0167e7
 3,0195e7
 2,225e5 Min



0,000 0,750 1,500 2,250 3,000 (m)

Рисунок 3.13 – Напружений стан бокової стіни кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 3.14.

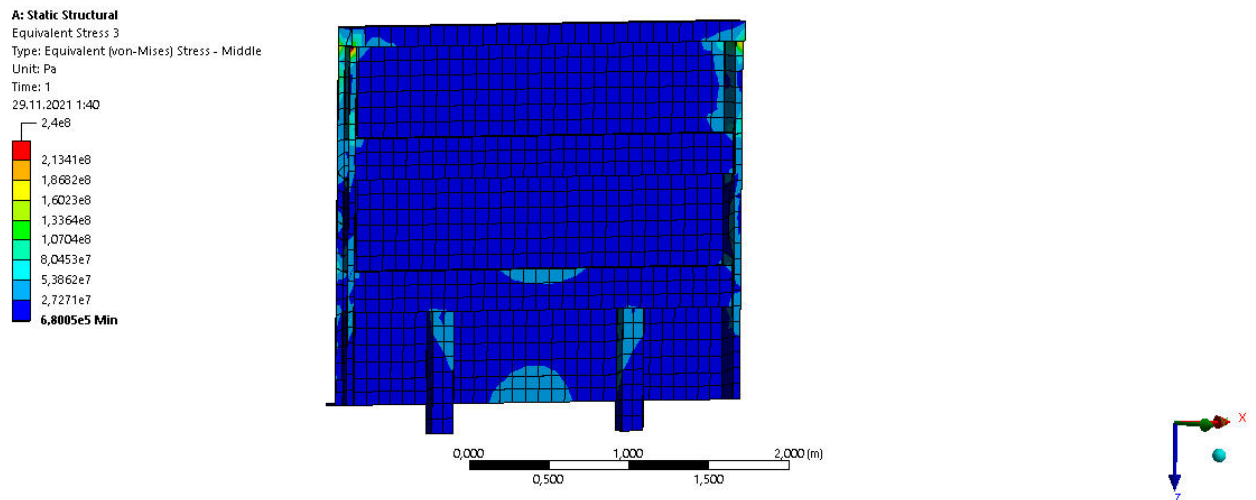


Рисунок 3.14 – Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні.

В таблиці 3.2 наведені значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні.

Таблиця 3.2 – Значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона при III розрахунковому режимі при стисканні

Елементи кузова піввагона	Значення напружень, МПа
Хребтова балка	101
Шкворнева балка	73
Кінцева балка	94

Торцева стіна	53
Нижній обв'яз торцевої стіни	43
Верхній обв'яз торцевої стіни	52
Кутові стійки торцевої стіни	65
Обшивка бокової стіни	106

3.2. Аналіз результатів

При I розрахунковому режимі при ударі найбільші напруження виникають в торцевій стіні. Вони становлять 350 МПа, що не більше напружень, що допускаються 370 МПа. За рахунок пластичної приробки (пластичні деформації можуть виникнути внаслідок дії понаднормованих навантажень) напруження в процесі експлуатації зменшаться.

При III розрахунковому режимі при стисканні найбільші напруження виникають в хребтовій балці. Вони становлять 101 МПа, що не більше напружень, що допускаються 240 МПа.

При III розрахунковому режимі ми можемо бачити сприятливу картину напруженого стану кузова піввагона.

У подальшій частині роботи ми поставимо собі за мету знизити товщини несучих елементів, аби заощадити масу вагона і зменшити тару.

4. ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА ПІВВАГОНА

4.1. Внесені зміни

Виходячи з результатів розрахунку, які були проведені в попередніх розділах, ми обрали основні елементи, напруження в яких менші за допустимі, та зменшили їх товщину.

Товщину всіх елементів в хребтовій балці зменшили на 2 мм, окрім полиць зетів, їх на 5 мм. В шкворневих, кінцевих та проміжних балках на 2 мм. Стійки бічних стін з 6 мм до 4 мм та їх обшивки з 5 мм до 4 мм.

За рахунок змін товщин елементів конструкції, зменшилася її маса на 1,5 тис. кг – з 9563,9 кг до 8041,8 кг.

В таблиці 4.1 наведено кількісне значення в кг, на скільки зменшилась маса кузова піввагона, за рахунок елементів в яких було змінено товщину.

Таблиця 4.1 – Значення на скільки зменшилась маса кузова піввагона, за рахунок елементів в яких було змінено товщину

Елементи кузова піввагона, товщину яких було зменшено	Зменшення маси, кг
Хребтова балка	386,8
Шкворневі балки	120,2
Проміжні балки	113,8

Кінцеві балки	127,2
Стійки бокових стін	302,8
Обшивка бокових стін	471,5

Далі ми розглядаємо результати розрахунків зміненої моделі піввагона із зменшеною масою, для I (удар) та III (стиск) розрахункових режимів, за тих самих навантажень.

I розрахунковий режим

Загальна схема напруженого стану піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі наведена на рисунку 4.1.

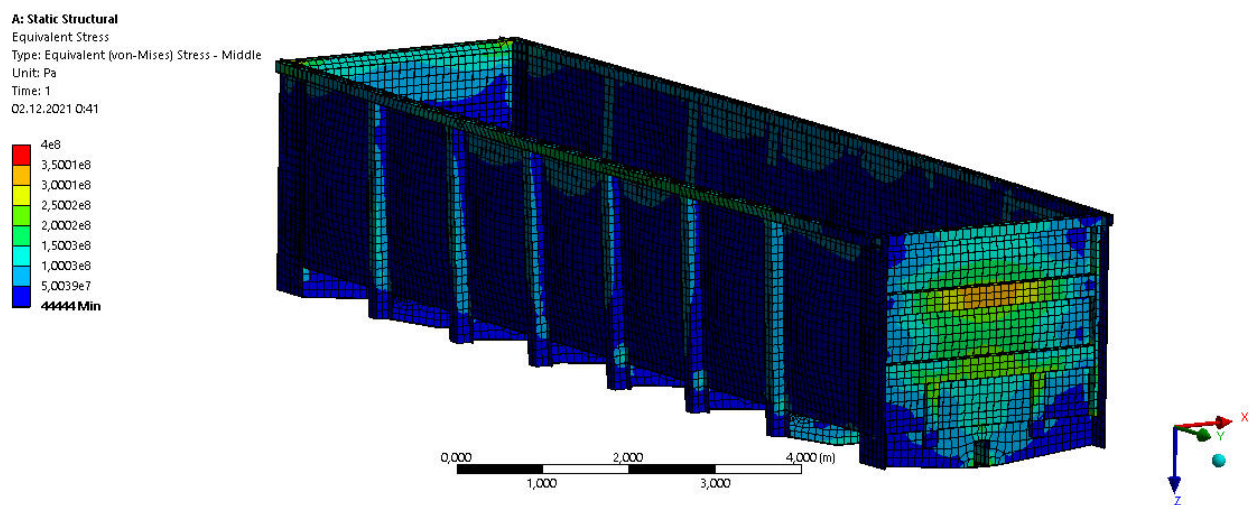


Рисунок 4.1 – Напруження в кузові піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан хребтової балки кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 4.2.

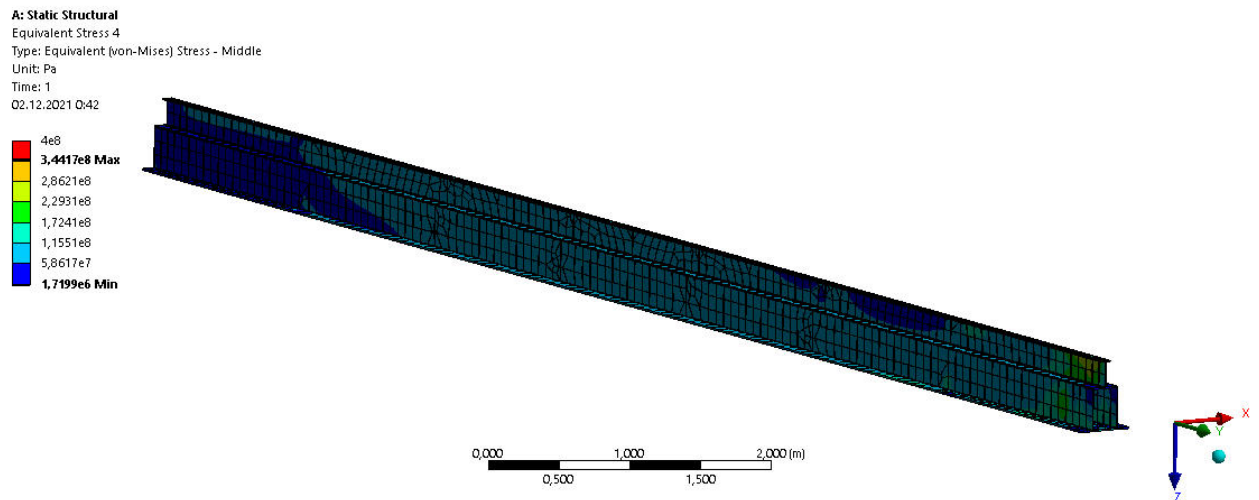


Рисунок 4.2 – Напружений стан хребтової балки кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан шворневої балки кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 4.3.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 5
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 02.12.2021 0:43

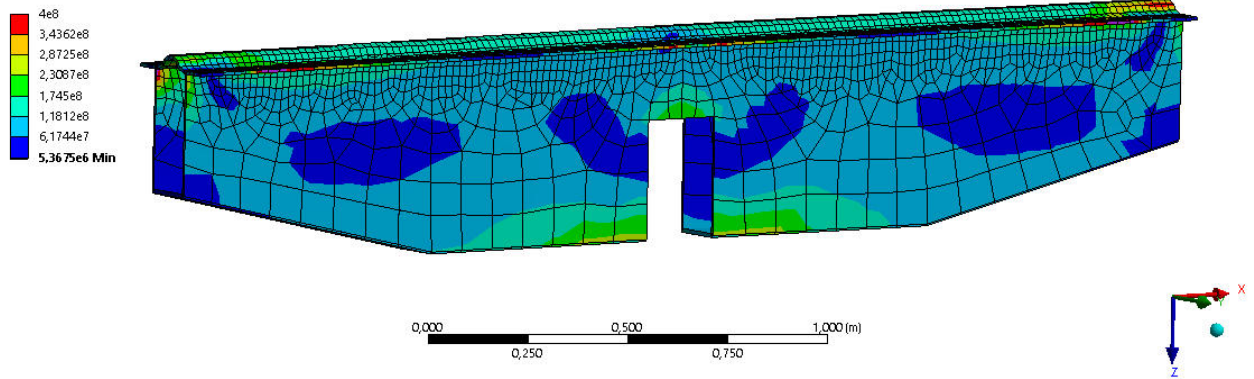


Рисунок 4.3 – Напружений стан шворневої балки кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 4.4.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 6
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 02.12.2021 0:43

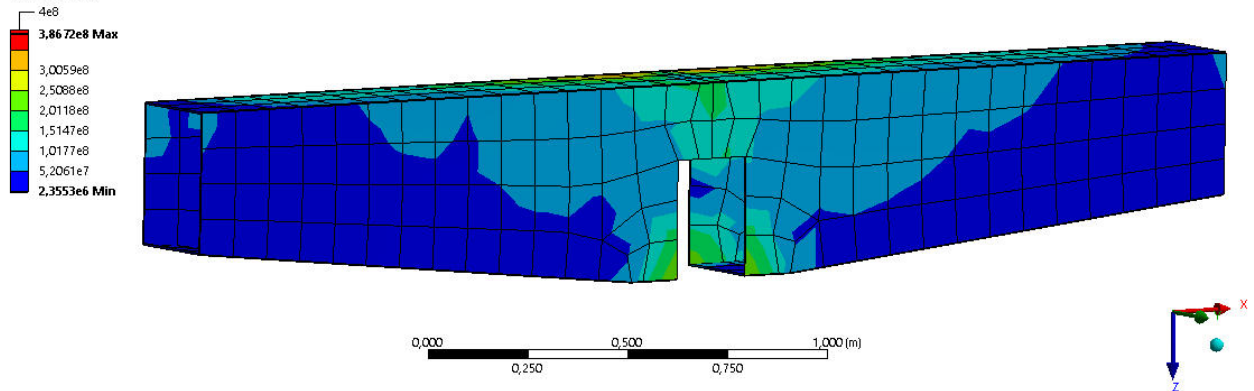


Рисунок 4.4 – Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан бокової стіни кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 4.5.

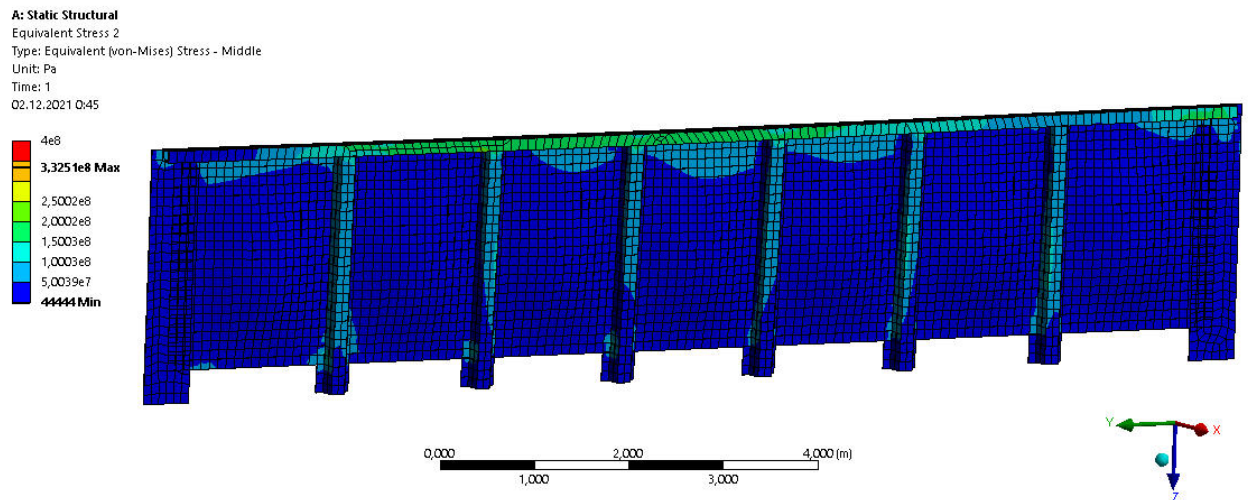


Рисунок 4.5 – Напружений стан бокової стіни кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі.

Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі представлений на рисунку 4.6.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 3
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 02.12.2021 0:49

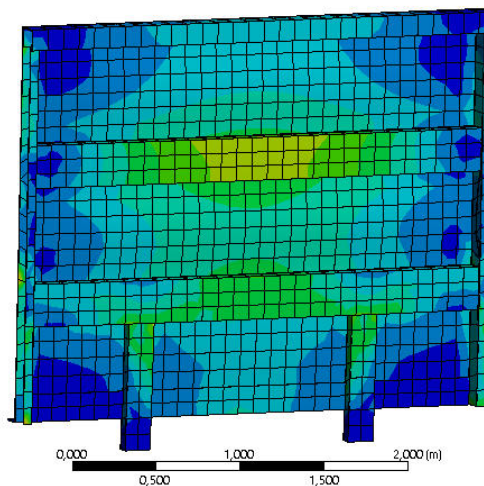
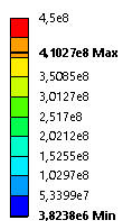


Рисунок 4.6 – Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі.

В таблиці 4.2 наведені значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі.

Таблиця 4.2 – Значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона із зменшеною масою при I розрахунковому режимі при ударі

Елементи кузова піввагона	Значення напружень, МПа
Хребтова балка	121
Шкворнева балка	175
Кінцева балка	151
Торцева стіна	360

Нижній обв'яз торцевої стіни	121
Верхній обв'яз торцевої стіни	172
Кутові стійки торцевої стіни	176
Обшивка бокової стіни	91

III розрахунковий режим

Загальна схема напруженого стану навіввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні наведена на рисунку 4.7.

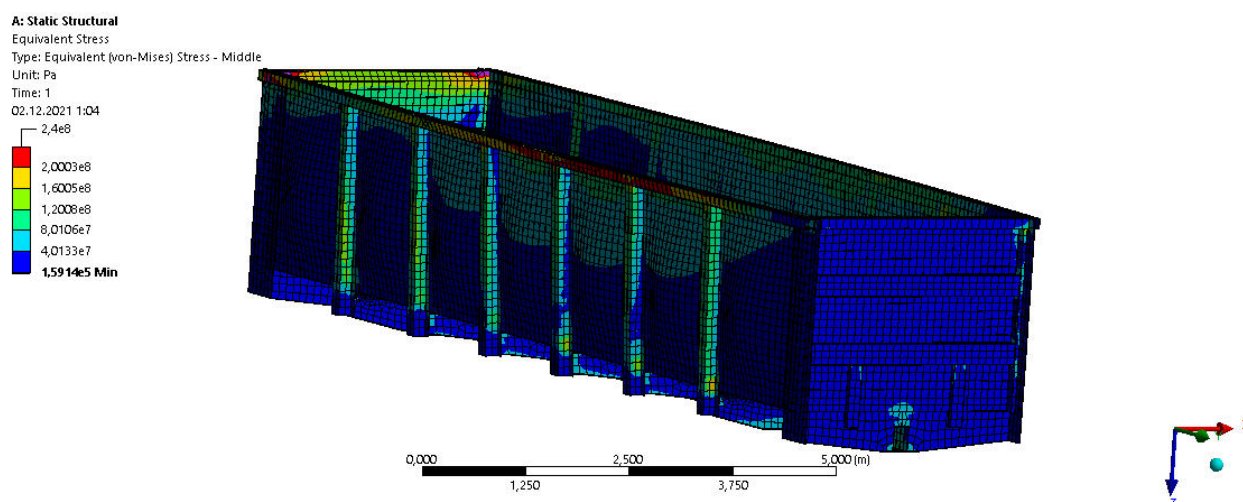


Рисунок 4.7 – Напруження в кузові піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан хребтової балки кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 4.8.

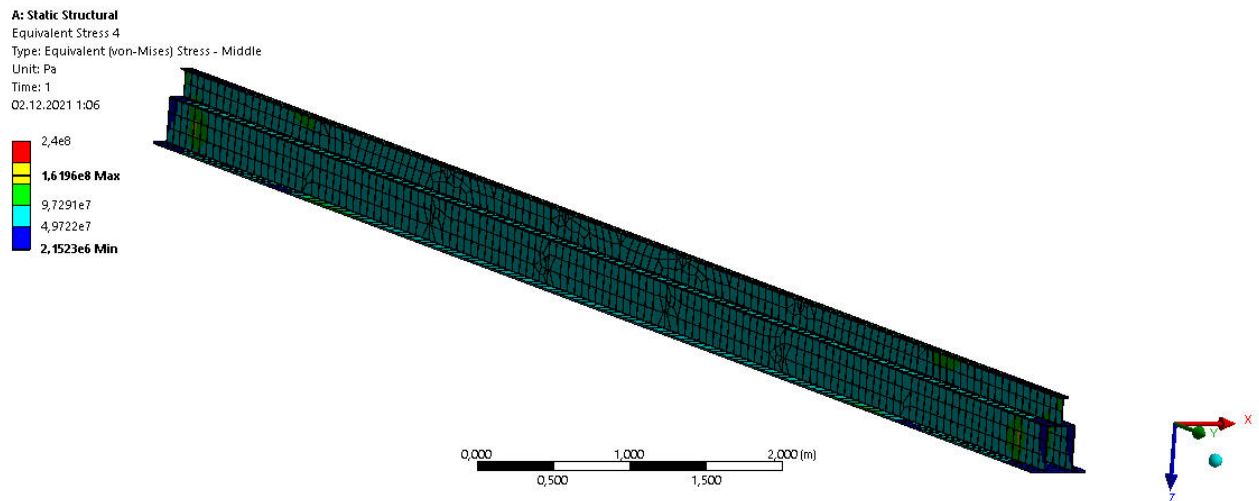


Рисунок 4.8 – Напружений стан хребтової балки кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан шворневої балки кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 4.9.

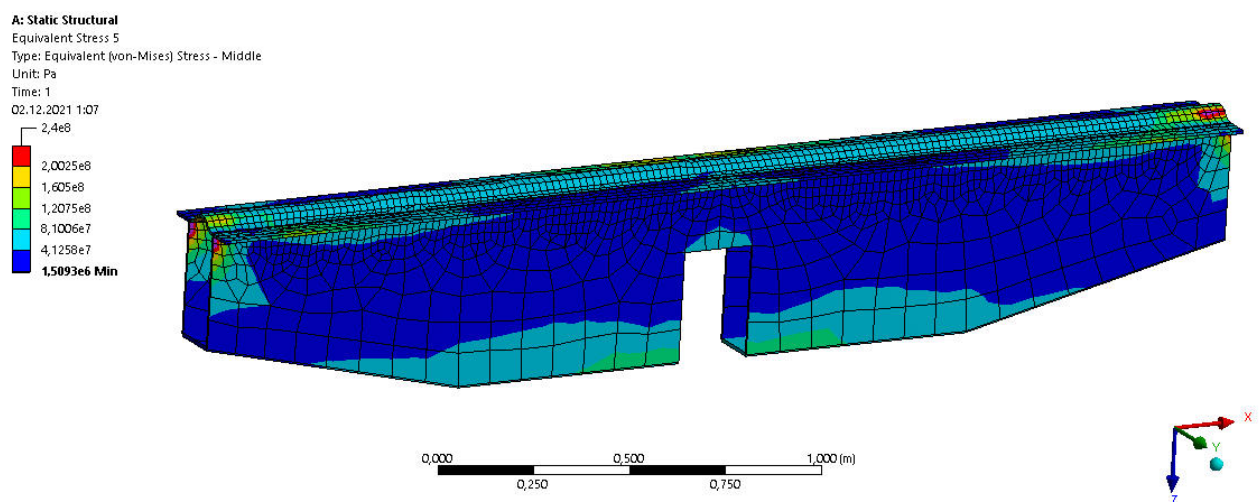


Рисунок 4.9 – Напружений стан шворневої балки кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 4.10.

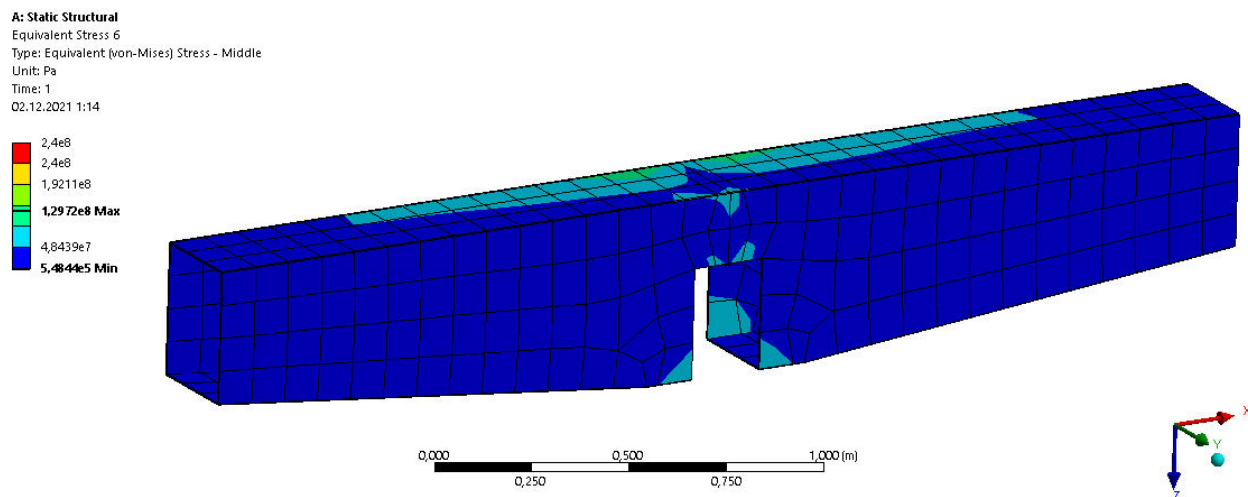


Рисунок 4.10 – Напружений стан кінцевої балки кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан бокової стіни кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 4.11.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 2
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 02.12.2021 1:09

2,4e8
 2,0574e8
 1,7148e8
 1,3722e8
 1,0296e8
 6,8701e7
 3,4441e7
 1,8078e5 Min

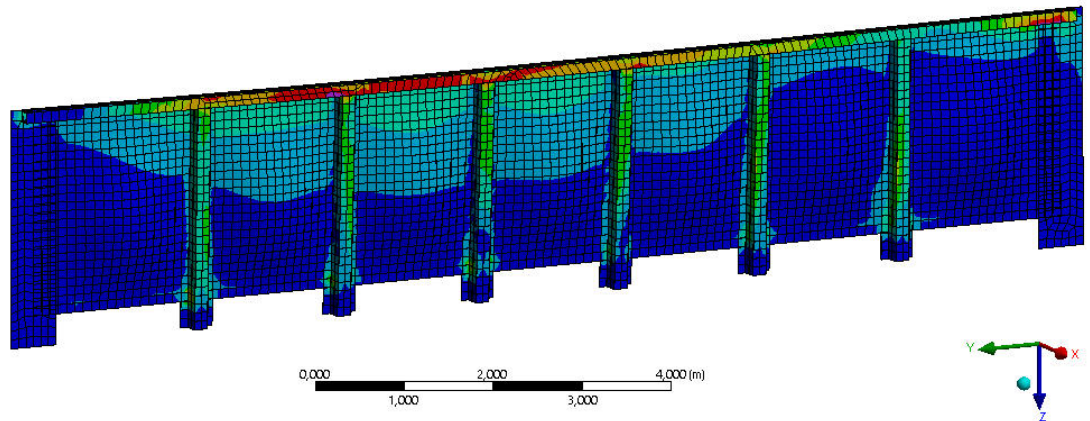


Рисунок 4.11 – Напружений стан бокової стіни кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні.

Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні представлений на рисунку 4.12.

A: Static Structural
 Equivalent Stress 3
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Middle
 Unit: Pa
 Time: 1
 02.12.2021 1:10

2,4e8
 2,134e8
 1,8681e8
 1,6021e8
 1,3361e8
 1,0701e8
 8,0416e7
 5,3819e7
 2,7221e7
 6,2408e5 Min

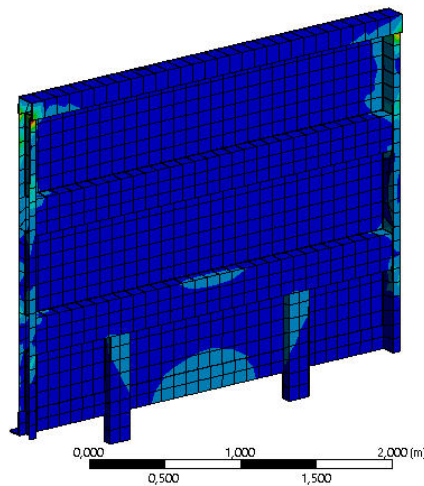


Рисунок 4.12 – Напружений стан торцевої стіни кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні.

В таблиці 4.3 наведені значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні.

Таблиця 4.3 – Значення максимальних напружень в основних елементах кузова піввагона із зменшеною масою при III розрахунковому режимі при стисканні

Елементи кузова піввагона	Значення напружень, МПа
Хребтова балка	161
Шкворнева балка	115
Кінцева балка	129
Торцева стіна	54
Нижній обв'яз торцевої стіни	53
Верхній обв'яз торцевої стіни	53
Кутові стійки торцевої стіни	88
Обшивка бокової стіни	126

При I розрахунковому режимі при ударі найбільші напруження виникають в торцевій стіні. Вони становлять 350 МПа, що не більше напружень, що допускаються — 370 МПа.

При III розрахунковому режимі при стисканні найбільші напруження виникають в хребтовій балці. Вони становлять 161 МПа, що не більше напружень, що допускаються — 250 МПа.

В таблиці 4.4 наведено кількісне значення — на скільки збільшились напруження в елементах кузова піввагона за рахунок зміни товщин елементів конструкції.

Таблиця 4.4 – Збільшення напружень в елементах кузова піввагона

Елементи кузова піввагона	Відносне збільшення напружень, %	
	I розрахунковий режим	III розрахунковий режим
Хребтова балка	6,1	59,4
Шкворнева балка	49,5	57,5
Кінцева балка	0	37,2
Торцева стіна	0	1,8
Нижній обв'яз торцевої стіни	27,3	23,2
Верхній обв'яз торцевої стіни	0	1,9
Кутові стійки торцевої стіни	3,5	35,3
Обшивка бокової стіни	0	18,8

Модель кузова піввагона із зменшеною масою витримує усі задані навантаження – напруження не перевищують допустимі. Міцність конструкції забезпечена, що вимагає нормативна документація [51]. Заощадили масу вагона і зменшили тару.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведено дослідження міцності кузова піввагона на стадії проектування та запропоновано оптимізацію конструкції кузова універсального чотиривісного, суцільнометалевого піввагона зі зварним кузовом та з чотирнадцятьма розвантажувальними люками. В якості прототипу прийнято піввагон моделі 12-783 побудови ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод».

2. Для оцінки міцності кузова застосовано метод скінченних елементів. Розроблено геометричну модель кузова піввагона, що представляє кузов як сукупність поверхонь у просторі, та на її основі автоматично створено скінченно-елементну модель, яка має 25 857 елементів (типу «оболонка» — плаский елемент, що опирається згину та деформаціям у власній площині) та 25 950 вузлів. Характерний розмір ребра елемента – 0,1 м.

3. Провели розрахунки на міцність кузов піввагона для I розрахункового режиму при ударі та для III розрахункового режиму при стисканні для перевірки його відповідності вимогам нормативної документації [51].

Матеріал кузова — сталь марки 15ХСНД або іншої класу міцності 390.

Найбільші напруження I розрахункового режиму (удар) 350 МПа виникають у торцевій стіні, воне не більші за напруження, що допускаються, — 370 МПа. За рахунок пластичної приробки (виникає внаслідок дії понаднормованих навантажень) напруження в процесі експлуатації зменшаться. При III розрахунковому режимі (стискання) найбільші напруження виникають в хребтовій балці. Вони становлять 101 МПа, що не більше напружень, що допускаються, — 240 МПа. При III розрахунковому

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

режимі наявний значний запас міцності, за рахунок якого можна досягти помітного зменшення маси конструкції.

4. Для оптимізації конструкції кузова піввагона ми обрали основні елементи, напруження в яких менші за допустимі, та зменшили їх товщину. Для всіх елементів хребтової балки товщину зменшено на 2 мм, окрім полиць зетів, для них — на 5 мм. В шкворневих, кінцевих та проміжних балках — на 2 мм. Товщину полиць та стінок бокових стін зменшено з 6 мм до 4 мм, обшивки — з 5 мм до 4 мм. За рахунок змін товщин елементів конструкції її маса зменшилася на 1,5 тис. кг — з 9564 кг до 8042 кг.

Проведено оцінку міцності полегшеної конструкції для перевірки відповідності вимогам нормативної документації [51]. Найбільші напруження I розрахункового режиму (удар) виникають в торцевій стіні та складають 360 МПа, III режиму — в хребтовій балці, 161 МПа. В обох випадках вони не перевищують допустимі 370 та 240 МПа відповідно. Міцність конструкції забезпечено.

5. За рахунок більш повного використання запасу міцності конструкції досягнуто зменшення маси тари вагона з 24,0 до 22,5 т, та коефіцієнта тари з 0,343 до 0,315 (за умови збільшення вантажопідйомності з 70 до 71,5 т).

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.

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

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

4. Компьютерные технологии проектирования и расчета - учеб. пособие / В.Ф. Лапшин, А. Э. Павлюков, К. М. Колясов. — 2-е изд. испр и доп. — Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2012.— 92 с.

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

6. 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.

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

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

8. Тарарушкин Ю.Ф. Оптимизация в САПР: учеб. пособие / Ю.Ф. Тарарушкин. - М.МИИТ, 1994.

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

10. Лозбинец В.П. Формирование и развитие научной школы оптимального проектирования вагонов / В.П. Лозбинец // Вестник Брянского государственного технического университета. - Брянск: БГТУ, 2005. - №1 (5). - С.83-87.

11. 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.

12. Лозбинец В.П. Методика проектирования оптимальных несущих систем вагонов/ В.П. Лозбинец // Механика вагонов - Брянск: БГТУ, 1998. - С. 6-14.

13. Мысютин А.П. Оптимизация конструкции рамы кузова облегченного пассажирского вагона в зоне переходного узла хребтовой балки переменного сечения: автореф. дис. ... канд. техн. наук/ А.П. Мысютин. - Брянск: БИТМ, 1985.-24 с.

14. Никольский Е.Н. Развитие оптимизационных расчетов кузовов вагонов на базе метода чередования основных систем / Е.Н. Никольский // Автоматизация расчетов прочности грузовых вагонов. - М.:ЦНИИТЭИтяжмаш, 1985.-Сер.5.-Вып. 10.-С. 1-2.

15. Филюков Ю.Л. Особенности работы и оптимизация некоторых узлов несущей конструкции кузова рефрижераторного вагона: автореф. дис. ... канд.техн. наук/ Ю.Л. Филюков. - Брянск: БИТМ, 1986. - 26 с.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Кузнецов А.Ю. Оптимизация по частям кузова крытого грузового вагона из условия минимума массы его элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Ю. Кузнецов. - Брянск: БИТМ, 1988. - 24 с.

17. Кобищанов В.В. Оптимизация параметров кузова пассажирского вагона блочной конструкции с учетом предварительного напряжения его узлов / В.В. Кобищанов, П.С. Ломаков // Тез. докл. Международной наuchнотехнической конф. «Проблемы повышения качества машин». - Брянск: БГТУ, 1994. - С.62-63.

18. Булычев М.А. Методика оптимизации несущей системы кузова вагона с учётом ограничений по прочности и сопротивлению усталости: автореф. Змн. Арк. № докум. Підпис Дат а Арк. 031.160188.ДМР.000.ПЗ дис. ... канд. техн. наук / М.А. Булычев. - Брянск: БГТУ, 1999. - 24 с.

19. Афонина Е.В. Оптимизация металлоконструкций кузовов грузовых вагонов с учётом требований прочности и живучести несущих: автореф. дис. канд. техн. наук элементов / Е.В. Афонина. - Брянск: БГТУ, 2001. - 19 с.

20. 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.

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. Автоматизированная система проектирования оптимальных параметров несущих конструкций кузовов вагонов / Ф.Ю. Лозбинец В.П. Лозбинец. - М: ГосФАП РФ, 1998. - Рег. №509800000001. - 25 с.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. 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.

24. Лозбинец Ф.Ю. Оптимальное проектирование несущих конструкций кузовов вагонов/ Ф.Ю. Лозбинец // Тяжелое машиностроение, 2006. - № 11. - С. 18-22.

25. 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.

26. Бейн, Д.Г. Автоматизация определения оптимальных параметров несущих элементов кузовов грузовых вагонов / Д.Г. Бейн, О.Н. Козлова, В.П. Лозбинец // Состояние, проблемы и перспективы автоматизации технической подготовки производства на промышленных предприятиях: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (16-18 ноября 2009 г., г. Брянск / Под ред. В.И. Аверченкова. - Брянск: БГТУ, 2009. - С. 104.

27. Серпик, И.Н. Современные информационные технологии в параметрической оптимизации несущих систем вагонов / И.Н. Серпик, Ф.Н. Левкович А.И. Тютюнников // Современные наукоемкие технологии, 2004 - №6. - С. 43-44.

28. Алексейцев А.В. Метод структурно-параметрической оптимизации конструктивных систем на основе эволюционного моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Алексейцев. - Брянск: БГИТА, 2006. - 20 с.

29. Серпик И.Н. Оптимизация несущих систем кузовов грузовых вагонов с использованием комплекса математических моделей / И. Н. Серпик, А. И. Тютюнников // Тяжелое машиностроение, 2007. - №8. - С.25-28 . ПО. Серпик,

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

И.Н. Эволюционное моделирование в проектировании несущих систем вагонов / И. Н. Серпик, В. Г. Сударев, А. И. Тютюнников, Ф. Н. Левкович // ВЕСТНИК ВНИИЖТ, 2008. - №5. - С. 21-25.

30. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC.visualNastran for Windows / Д.Г. Шимкович . - М.:ДМК Пресс, 2004. - 703 с, ил. (Серия «Просвещение»).

31. Рычков СП. MSC.visual Nastran для Windows / Рычков СП. - М.: НТ Пресс, 2004. - 552 с: ил. - (Проектирование и моделирование).

32. Archetti F. Global Optimization, Algorithms Nonlinear Optimization: Theory and Algorithms / F. Archetti, G.P. Szego, L.C.W. Dixon, E. Spedicato, G.P. Szego, Eds. - Birlchausor, Boston, 1980.

33. Box M.J. Non-Linear Optimization Techniques / M.J. Box, D. Davies, W.H. Swann, ICI Monograph 5, Oliver and Boyd, Edinburg, 1972. 20.Brooks, S.N. A Comparison of Maximum Seeking Methods. J. Oper. Res., 7 (1959) / S.N. Brooks. -С 430-437.

34. Clough, R.W. The finite element in plane stress analysis / R.W. Clough // Proc. 2-nd ASCE Conf. on Electronic Computation. - Pittsburgh, 1960, Sept.

35. Murray W. (ed.) Numerical Methods for Unconstrained Optimization / W. Murray, Academic Press, London, 1972.

36. Powell M.J.D. On Search Directions for Minimization Algorithms / M.J.D. Powell, Math. Prog., 4(2), 1973, 193-201.

37. Shanno D.F. Matrix Conditioning and Nonlinear Optimization / D.F. Shanno, K.H. Phua, Math. Prog., 14, 1978, 149-160.

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

38. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни / В.З. Власов. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. - 568 с.

39. Расин Д.Ю. Безопасность эксплуатации кузовов пассажирских вагонов при нормативных продольных соударениях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.Ю. Расин. - Брянск: БГТУ, 2008. - 19 с.

40. Вайнберг Д.В. Расчет пластин / Д.В. Вайнберг, Д.Е. Вайнберг. - Киев.: Буддвельник, 1970. - 436 с.

41. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. - Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976. - 608 с.

42. Никольский Е.Н. Оболочки с вырезами типа вагонных кузовов. - М.: Машиностроение, 1963. - 312 с.

43. Лукин В.В. Конструирование и расчёт вагонов / В. В. Лукин, Л. А. Шадур, В. Н. Котуранов, А. А. Хохлов, П. С. Анисимов// Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. В.В. Лукина. - М: УМК МПС России, 2000. 731с.

44. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах / Утверждены МПС Росси 27 мая 2003 г. № ЦМ-943.

45. Повышение прочности, эксплуатационной надежности и ходовых качеств эксплуатируемых и новых типов вагонов, их узлов и деталей. - г. Москва:ВНИИЖТ МПС, ВНИПТИВ, ВНИИВ, 1973.

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

47. Текст наукової роботи на тему «Вибір конструктивних рішень елементів вагонів з малою масою тари». Наука та прогрес транспорту. Вісник

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2017, №3 (69).

48. Каганов, В.Я. Оптимальная компоновка двутавровых сечений сжатоизогнутых элементов стальных рам / В.Я. Каганов, Л.Я. Гримайло // Тез. докл. конф. по применению ЭВМ в строительной механике. Л., 1971. - С.29-33.

49. Расчет вагонов на прочность. Вершинский С. В. и др. Изд 2-е. Под ред. Л. А. Шадура. – М. : Машиностроение, 1971. – 432 с.

50. Вагоны : Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Л. А. Шадур, И. И. Челноков, Л. Н. Никольский, Е. Н. Никольский, В. Н. Котуранов, П. Г. Проскурнев, Г. А. Казанский, А. Л. Спиваковский, В. Ф. Девятков; Под ред. Л. А. Шадура. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1980. – 439 с.

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

					031.160185.ДМР.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78