

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний

(факультет)

Кафедра Конструювання, технічної естетики і дизайну

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

Студентки Романенко Дарії Михайлівни

(ПІБ)

Академічної групи 132-21-2 ММФ

(шифр)

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і назва спеціальності)

За освітньою програмою “Промислова естетика і сертифікація матеріалів та виробів”

(офіційна назва)

На тему “Розробка пасажирських сидінь міського електротранспорту з використанням екологічного матеріалу”

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище_ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Мацюк І.М.			
розділів:				
Аналіз стану питання та постановка задач роботи	Мацюк І.М.			
Функціональний аналіз та моделювання об'єкта розробки	Мацюк І.М.			
Інженерно-технологічний	Ротт Н.О.			
Експлуатаційний	Федоряченко С.О.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Гаркавенко Д.В.			

Дніпро
2025

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с, 63 рисунків, 10 таблиць, 30 формул, 24 джерел.

СИДІННЯ, КРОНШТЕЙН, БОЛТОВЕ З'ЄДНАННЯ, СТАЛЬ, БІОКОМПОЗИТ, ЗД-МОДЕЛ, ЕРГОНОМІКА, АНТРОПОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ, РОЗРАХУНОК, МЕТОД СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ, ВИПРОБУВАННЯ,

Мета: Розробити пасажирські сидіння для міського електротранспорту з використанням екологічних матеріалів та побудувати їх 3D-модель

Об'єкт: Взаємодія (проекування) екоматеріалів та елементів конструкції для розробки ергономічного дизайну пасажинського сидіння.

Проведено аналіз конструкцій і матеріалів сидіння в електротранспорт.

Виконано функціонально-вартісний аналіз конструкції сидіння, обрано їх важливі елементи та способи їх оптимізації та покращення.

Проведено антропометричні дослідження різних вікових груп для створення ергономічної складової виробу.

Побудовано 3D-модель пасажирського сидіння та обрано матеріал для його конструкції.

Перевірено 3D-модель конструкції сидіння на міцність, жорсткість.

Обрано технологію виготовлення та переробки сидіння, його елементів та кронштейну.

Описано методи сертифікації та контролю якості пасажирського сидіння.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

1.1 Аналіз об'єкта

1.2 Недоліки використання матеріалів в сучасному виготовленні сидінь

1.3 Постановка задач

2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

2.1 Функціонально-вартісний аналіз об'єкта моделювання

2.2 Ергономіка сидіння

2.3 Проектування кронштейну

2.4 Моделювання об'єктів проектування

2.4.1 Моделювання сидіння

2.4.2 Моделювання кронштейну

2.4.3 Створення складальної 3D-моделі

2.5 Розрахунок конструкції на міцність

2.5.1 Збирання навантажень

2.5.2 Розрахунок кронштейна на міцність

2.5.3 Розрахунок болтових з'єднань

2.5.4 Аналіз напружено-деформованого стану

2.5.5 Висновки за розділом

3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування вибору матеріалу

3.1.1 Властивості біокомпозитного матеріалу

3.1.2 Властивості метеріалу зі сталі

3.1.3 Матеріал подушок для сидіння

3.2 Технологія виготовлення об'єкта моделювання

3.2.1 Технологія виготовлення сидінь

3.2.2 Технологія виготовлення кронштейна

3.3 Утилізація

3.4 Висновки за розділом

4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Контроль якості

4.2 Висновки за розділом

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ РОБОТИ

1.1 Аналіз об'єкта

Міський електротранспорт – це один з найпопулярніший засобів перевезення пасажирів. Трамваї відносяться до рейкового залізничного засобу перевезення. Тролейбуси відносяться до колесного електротранспорту, які рухаються завдяки постійному підключенню до електромережі, також бувають види троллейбусів у яких додатково встановлені акумулятори за допомогою яких вони можуть проїхати певний проміжок шляху автономно без підключення до електромережі.

Для забезпечення комфорту пасажирів під час перевезення в салоні транспортного засобу встановлюються сидіння. Вони повинні бути безпечними, зручними, зносостійкими, та мати тривалий строк служби. До того ж сидіння є важливою частиною вигляду інтер'єру, що впливає на сприйняття всього салону

У сучасних сидіннях для електротранспорту використовується широкий спектр матеріалів, кожен з яких підбирається з урахуванням міцності, зносостійкості, простоти в обслуговуванні та безпеки. Одним з основних матеріалів є пластик. Особливо популярний ABS-пластик (акрилонітрил-бутадієн-стирол), що має гарну ударостійкість, легкість і стійкість до перепадів температури. Також застосовуються полікарбонат та інші термопластики, які забезпечують високу міцність за малої ваги і стійкість до пошкоджень. Часто на пластик наноситься антивандальне або антиграффіті-покриття.

Метали відіграють ключову роль у каркасах і кріпильних елементах сидінь. Найпоширеніші алюмінієві сплави - вони легкі, міцні та стійкі до корозії. У більш міцних конструкціях застосовується нержавіюча сталь або пофарбована конструкційна сталь. Ці матеріали забезпечують довговічність і стійкість до механічних навантажень, що особливо важливо в умовах високої прохідності транспорту.

Що стосується оббивки, то найчастіше використовують штучну шкіру (наприклад, вініл або ПВХ) і антивандальний текстиль. Вініл легко очищається і стійкий до вологи, проте може бути слизьким.

Антивандальний текстиль вирізняється високою щільністю, стійкістю до стирання і часто обробляється спеціальними речовинами, що відштовхують воду і бруд. Додатково може застосовуватися тефлонове покриття, яке запобігає вбиранню забруднень.

Для м'яких сидінь широко використовують пінополіуретан (ППУ) як наповнювач. Він забезпечує помірний комфорт при збереженні пружності та зносостійкості. У більш просунутих моделях застосовуються еластомерні вставки, що адаптуються під форму тіла пасажирів і підвищують комфорт під час тривалої поїздки.

Також дедалі частіше впроваджуються спеціальні покриття і добавки: антибактеріальні склади, антимікробні шари, антиграфіті-плівки і покриття із захистом від ультрафіолету. Це особливо актуально в транспорті, де важливо підтримувати гігієну і зовнішній вигляд за інтенсивної експлуатації.

1.2 Недоліки використання матеріалів в сучасному виготовленні сидінь

Використання синтетичних матеріалів у виготовленні сидінь для електротранспорту має низку суттєвих недоліків, незважаючи на їхню практичність і дешевизну. Один із головних мінусів - низький рівень комфорту. Сидіння, виконані з жорсткого пластику або з тонкою вініловою оббивкою, погано адаптуються до форми тіла, швидко нагріваються влітку і холодні взимку. Це особливо помітно під час тривалих поїздок, де пасажирів відчувають дискомфорт від твердої поверхні та відсутності вентиляції.

Ще одна проблема - екологічне навантаження. Багато синтетичних матеріалів, як-от ПВХ, поліуретан або ABS-пластик, виготовляють із нафтохімічної сировини, яка сама по собі є невідновлюваною. Ці матеріали погано піддаються переробці або зовсім не переробляються, накопичуються на звалищах і розкладаються десятиліттями, завдаючи

шкоди навколишньому середовищу. Їхнє виробництво супроводжується високим рівнем викидів парникових газів і токсичних відходів. Крім того, під час утилізації, особливо під час спалювання, синтетика може виділяти шкідливі для здоров'я речовини, такі як діоксини і важкі метали, забруднюючи повітря і ґрунт.

Навіть у разі використання вторинних полімерів питання екологічності залишається спірним: багато хто з них містить добавки та домішки, які унеможливають подальше перероблення. У довгостроковій перспективі це створює замкнутий цикл накопичення синтетичних відходів. Саме тому перехід на більш стійкі матеріали стає актуальним. Виробники починають шукати альтернативи: перероблені пластики нового покоління, біорозкладні полімери, тканину з натуральних волокон із захисним просоченням, еко-вініл. Ці матеріали хоч і дорожчі, але істотно знижують екологічний слід транспорту.

Синтетичні матеріали можуть бути також небезпечні під час загоряння. Деякі з них за високих температур виділяють токсичні гази, такі як діоксини або хлористий водень. Тому вони вимагають обов'язкової обробки вогнетривкими просоченнями, що здорожує виробництво. Крім того, неякісні матеріали з часом втрачають свої властивості - пластик може розтріскуватися, вініл відшаровуватися, а наповнювач у сидіннях - деформуватися.

З точки зору естетики, синтетика швидше втрачає зовнішній вигляд. Поверхні із пластику легко дряпаються, тканина вигоряє на сонці, а штучна шкіра може тріскатися і лущитися. Це особливо актуально в транспорті з високою прохідністю, де сидіння щодня піддаються великим навантаженням. До того ж синтетичні покриття менш стійкі до забруднень, ніж здається: наприклад, вініл може вбирати жирні плями, а пластикова поверхня - бути схильною до графіті.

Таким чином, хоча синтетичні матеріали вигідні економічно і технологічно, вони часто поступаються в екологічності, довговічності, комфорті та зовнішньому вигляді. Усе це змушує виробників переглядати

підходи до вибору матеріалів і дедалі активніше впроваджувати екологічно безпечні, стійкі та перероблювані альтернативи.

1.3 Постановка задач

У ході виконання дипломної роботи розглядається завдання розробити конструкцію сидінь та їх несучого кронштейна, що відповідають вимогам ергономіки, естетики, міцності та технологічності. Проект охоплює наступні етапи роботи:

1. Провести аналіз конструкцій і матеріалів для сидінь в електротранспорті та запропонувати нову конструкцію.
2. Виконати функціонально-вартісний аналіз пасажирських сидінь, обрати їх важливі елементи.
3. Провести антропометричні дослідження різних вікових груп для створення ергономічної складової виробу та способу його оптимізації та покращення.
4. Обґрунтувати конструкцію пасажирського сидіння та його кріплення.
5. Побудувати 3D-модель сидіння, обрати екоматеріал для його конструкції та побудувати 3D-модель конструкції кріплення сидінь, обрати його матеріал
7. Перевірити 3D-модель складальної конструкції на міцність, жорсткість;
8. Обрати технологію виготовлення та переробки конструкції сидіння і його кріплення.
9. Описати методи сертифікації та контролю якості сидіння та його складових елементів.

2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

2.1 Функціонально-вартісний аналіз об'єкта моделювання

Функціональний аналіз – це метод виявлення функції об'єкта, що аналізується, щоб дослідити його вплив на інші об'єкти, або він може розглядатися як процес розподілу цілісного об'єкта з метою його розгляду як складових. За допомогою функціонального аналізу можна створити будь-який об'єкт, починаючи від аналізу потреб і визначення функції, яку повинен виконувати об'єкт. Так як основні елементи конструкції сидіння – сидіння, подушки, кронштейн та кріпильні елемент; таблиця 2.1 показує функції кожного елемента.

Таблиця 2.1 – Іункціональний аналіз конструкції пасажирського сидіння

Елементи		Функція	
E_1	Сидіння	Φ_1	Забезпечує зручне розташування користувача, розподіляє навантаження, підтримує поставу.
E_2	Подушки	Φ_2	Підвищують комфорт сидіння, поглинають частину навантаження, зменшують жорсткість.
E_3	Кронштейн	Φ_3	Слугує опорою для сидіння, з'єднує його з конструкцією або основою, забезпечує стійкість.
E_4	Кріпильні елементи	Φ_4	Забезпечують надійне з'єднання частин конструкції, сприяють довговічності й безпеці.

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) - це метод, який допомагає зрозуміти, як найкраще поєднати корисність та вартість об'єкта. Коли розробляєш технічне завдання, важливо ясно прописати, які функції має виконувати об'єкт, адже він створюється для певних задач та потреб користувача. ФВА дозволяє заглянути в собівартість об'єкта, досліджуючи процеси його розробки та виготовлення. Метод допомагає виявити, на що саме витрачаються ресурси в виробництві. Собівартість тут розуміється як

сукупність витрат, які діляться по етапах виробництва на основі оцінки витрачених ресурсів. Загалом, функціонально-вартісний аналіз допомагає краще зрозуміти витрати на створення об'єкта і дає змогу покращувати його конструкцію та економічну ефективність. Функціонально-вартісний аналіз конструкції представлений у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Функціонально-вартісний аналіз конструкції сидіння

	Елементи	Функція	Важливість, %	Вартість, %	Ефективність
1	Сидіння	Φ_1	55	50	1,00
2	Подушки	Φ_2	15	15	1,33
3	Кронштейн	Φ_3	25	30	0,83
4	Кріпильні елементи	Φ_4	5	5	1,00
	Разом		100%	100%	

2.2 Ергономіка сидіння

Для забезпечення комфорту пасажирів необхідно підібрати оптимальні розміри ширини, глибини, висоти сидіння, а також положення сидіння по відношенню до підлоги.

Глибина сидіння дозволяє підтримувати всю довжину стегна, при цьому забезпечується рівномірне розподіл тиску та запобігає стисненню підколінної області. Недостатня глибина сидіння може викликати втому через недолік підтримки ніг, а занадто велика глибина не підходить для людей з низьким зростом, що може знижувати комфорт та заважати зручно спертися на спинку сидіння.

Розташування сидіння відносно підлоги повинна забезпечувати можливість комфортно сідати та вставати, дозволяє більшій кількості пасажирів зручно ставити стопи на підлогу, при цьому не підгинати ноги та не відчувати надмірного тиску під колінами. Правильна висота положення сидіння забезпечує вірну позу, завдяки котрій таз та коліна знаходяться приблизно на одному рівні.

Ширина сидіння має забезпечувати достатній простір положення для пасажирів різноманітних комплекцій, включно людей у верхньому одязі. Комфортна ширина дає можливість уникнути бічного стискання и підвищує зручність під час подорожі, особливо на тривалих маршрутах. При цьому вона повинна входити до габаритних обмежень салона міського електротранспорту.

Висота спинки від поверхні сидіння забезпечує підтримку спини до рівня лопаток, що особливо важливо для збереження прямої та стабільної постави при русі. Підтримка верхньої частини спини знижує м'язову напругу та втому.

Кут нахилу спинки повинен становити значення яке відповідає комфортній природній позі людини в стані спокою. Оптимальна конфігурація дозволяє знизити навантаження на поперек та зменшити м'язову напругу в нижній частині спини.

Для визначення оптимальних розмірів сидіння скористаємось антропометричними та ергономічними даними людини які були досліджені та зібрані в стандарті DIN 33402-2. Середньостатистичні параметри людей різного віку та статі згідно цього стандарту наведемо в таблицях на рисунках 2.1-2.4.

Для визначення глибини сидіння звернемося до даних на рисунку 2.1 Довжину тіла від сідниці до колінного суглобу переважна кількість жінок мають близько 485 мм, а чоловіки мають цю ж довжина близько 495 мм. Орієнтуючись на значення розмірів жінок з урахуванням деякого запасу відстані від сидіння до колінного суглобу а також беручи до уваги значення європейського стандарту приймаємо розмір глибини сидіння 450 мм.

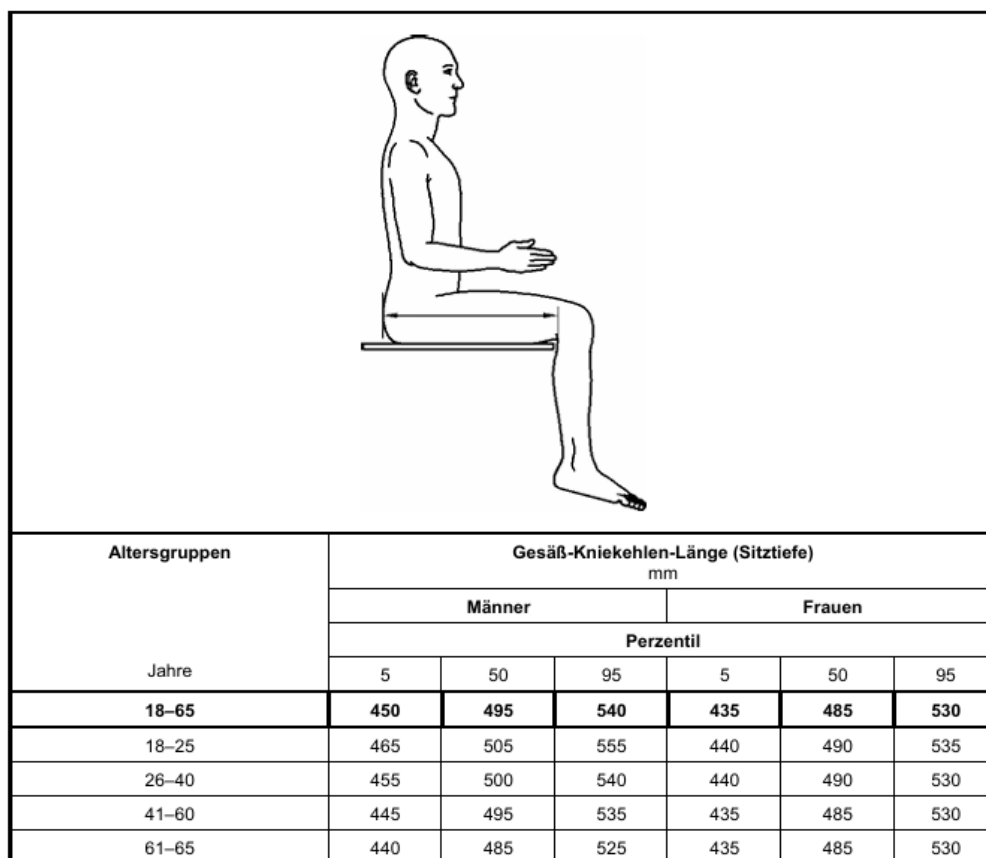


Рисунок 2.1 – Довжина стегна

Для визначення ширини подушки сидіння приділемо увагу на значення даних на рисунку 2.2. Зазвичай ширина сидиць у жінок становить 390 мм, а у чоловіків 375 мм. Орієнтуючись на значення розмірів для жінок з урахуванням деякого запасу ширини для періоду носіння зимового верхнього одягу, а також беручи до уваги значення європейського стандарту приймаємо розмір 450 мм.

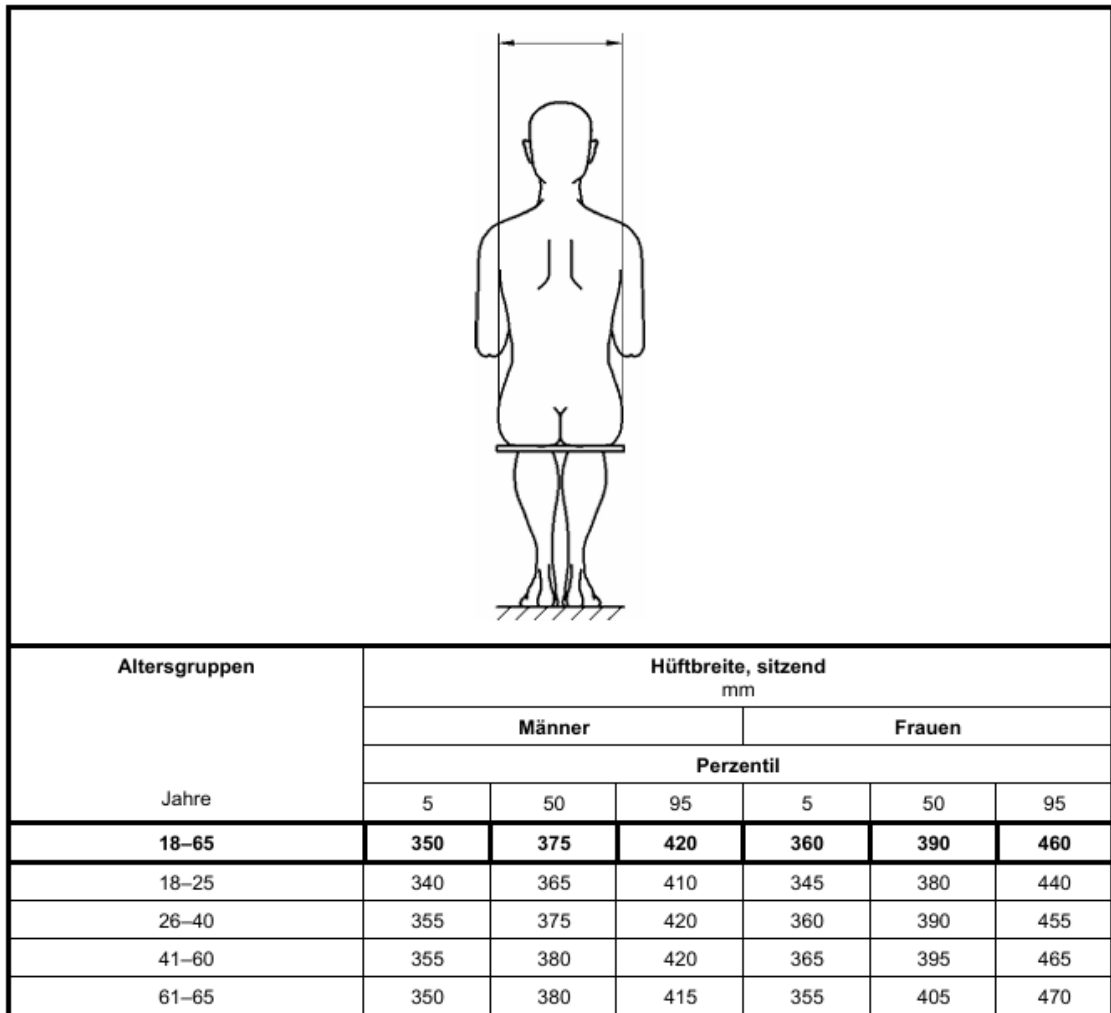


Рисунок 2.2 – Ширина сідниць

Для визначення висоти спинки сидіння спираємося на дані в таблиці на рисунку 2.3. Основна кількість жінок має довжину спини від сідниць до плечей 540 мм, а чоловіки 625 мм. Орієнтуючись на середнє значення довжини спини у жінок і чоловіків та на дані розрахунку розміру спинки сидіння у європейському стандарті приймаємо довжику 550 мм.

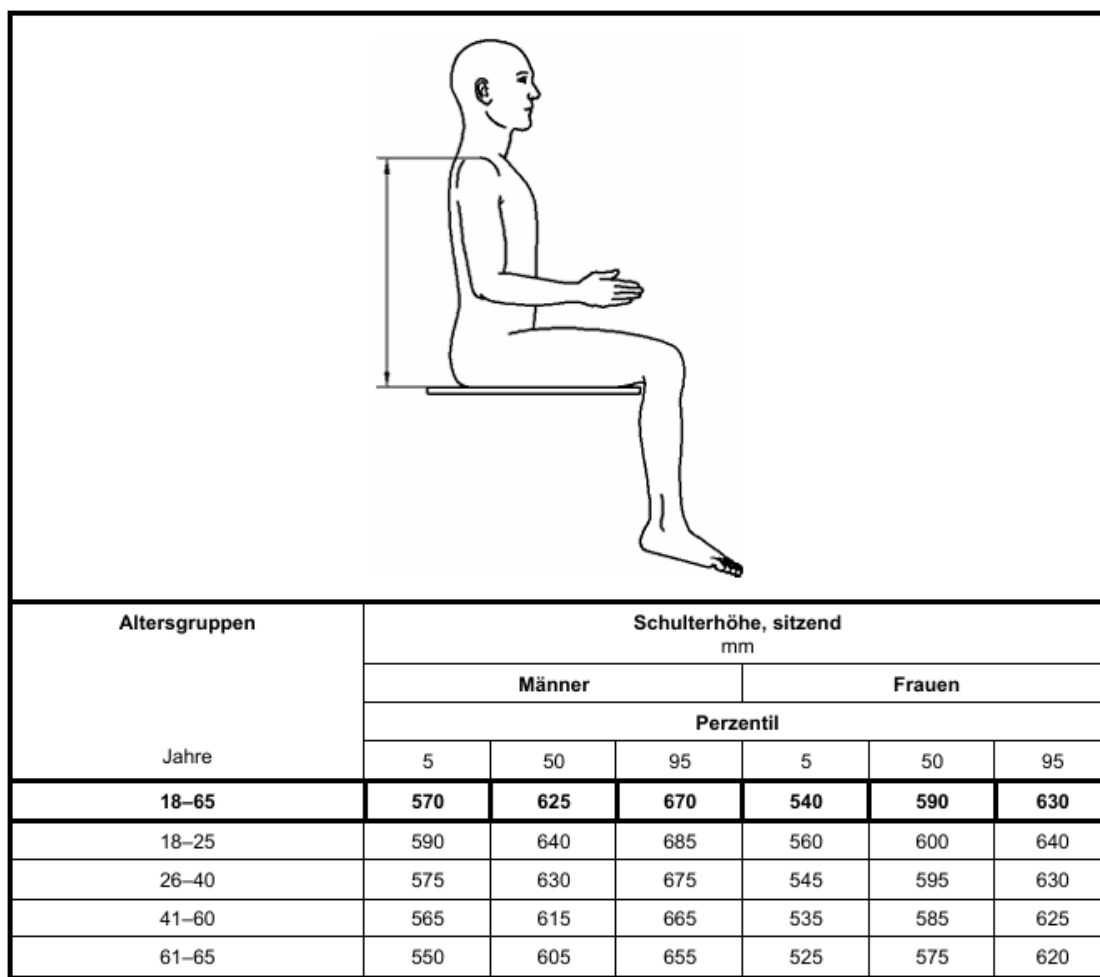


Рисунок 2.3 – Довжина спини

Для визначення положення сидіння над підлогою спираємось на данні таблиці зазначеній на рисунку 2.4 Переважна кількість жінок має довжину від колінного суглоба до підлоги 415 мм, а переважна кількість чоловіків 450 мм. Орієнтуючись на середньоарифметичні значення серед чоловіків та жінок приймаємо 430 мм.

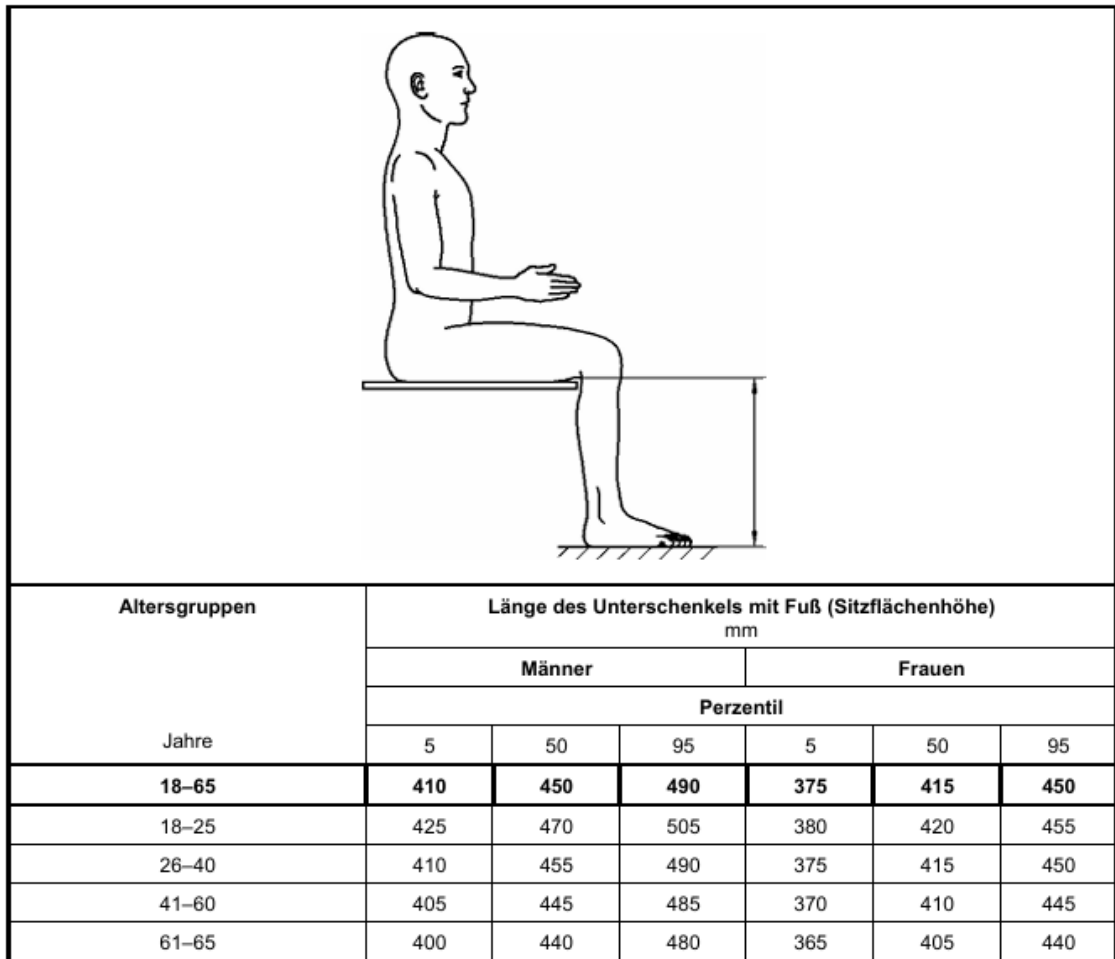


Рисунок 2.4 – Висота положення сидіння над підлогою

Наведемо порівняльну таблицю значень розмірів кожного місця для сидіння згідно вітчизняного стандарту ДСТУ 4070:2019 та європейського стандарту EN 16585-2

Таблиця 2.3 – Порівняльна таблиця

Назва параметру	ДСТУ 4070:2019	EN 16585-2
Глибина подушки, мм	350	450
Відстань сидіння над підлогою, мм	400-500	430-500
Ширина, мм	не менше 400	не менше 450
Кут нахилу подушки, °	5-10	5-10
Кут нахилу спинки сидіння від подушки, °	90-100	95-105

Усі прийняті геометричні дані сидінь надаємо у таблиці 2.

Таблиця 2.4 – Остаточні параметри каркасу сидіння

Глибина подушки, мм	Відстань сидіння над підлогою, мм	Ширина, мм	Висота спинки, мм	Кут нахилу спинки, °	Кут нахилу подушки, °
450	430	450	550	100	5

Примітка.
Кути нахилу подушки та спинки прийняті згідно зі стандартом ДСТУ 4070:2019

При проектуванні ручки на спинці сидіння використовуємо рекомендації з стандарту EN 16585-2, що наведені на рисунку 2.5 та прийmemo відстань між спинкою та ручкою 50 мм, діаметр 30 мм.

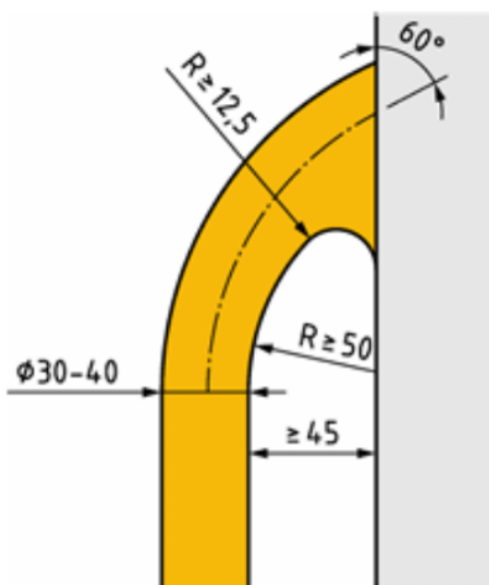


Рисунок 2.5 – Геометричні параметри ручки

2.3 Проектування кронштейну

На конструкцію кронштейна впливають декілька факторів, які обумовлені його призначенням. Кронштейн повинен тримати на собі сидіння з пасажиром, у зв'язку з цим конструкція повинна бути міцною та жорсткою, також повинні бути передбачені місця та спосіб кріплення

сидінь. Сам кронштейн має бути прикріплений до кузова транспортного засобу, тому необхідно передбачити фланцеве з'єднання.

Для надання додаткових функцій кронштейну запропоновано додати опалювальні прилади салону та передбачити отвори для конвекції повітря. Конструкція повинна мати доступ до обслуговування опалювальних приладів, в той же час вона повинна огорожувати пасажирів від контакту з гарячими поверхнями.

Конструкція повинна бути технологічною, тобто мати властивості, що забезпечують можливість оптимального виготовлення, експлуатації та ремонту із заданою якістю при мінімальних витратах праці, матеріалів та енергії.

2.4 Моделювання об'єктів проектування

2.4.1 Моделювання сидіння

Моделювання сидінь виконується в системі поверхневого та твердотілого моделювання в програмному продукті САД-системи. Після встановлення геометричних параметрів сидіння створюється ескіз в якому задається глибина подушки, висота спинки та їх кути нахилу (рис. 2.6)

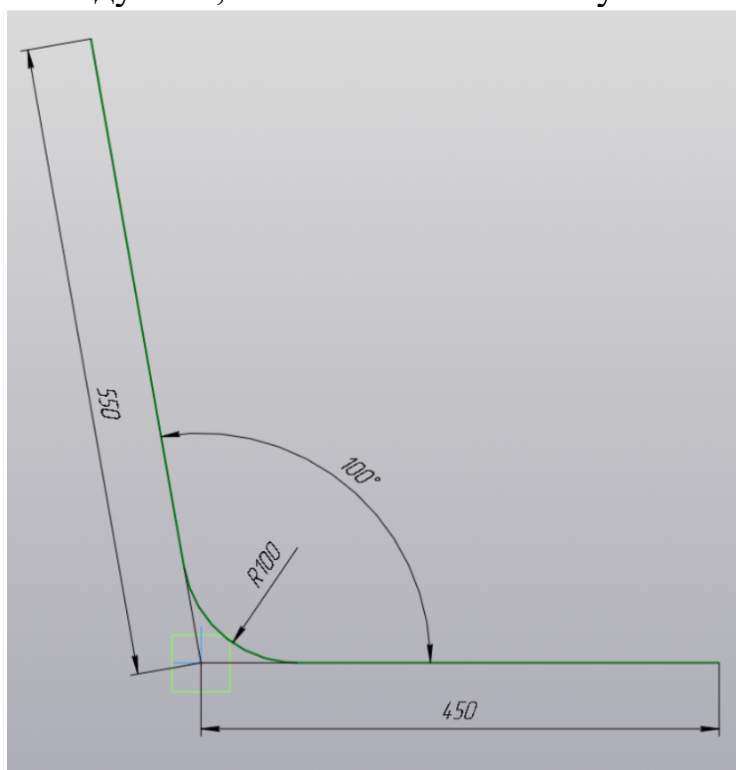


Рисунок 2.6 – Базовий ескіз для крісла

Наступним кроком моделювання було використано елемент видавлювання, завдяки якому було задано необхідні параметри товщини та ширини об'єкту (рис. 2.7).

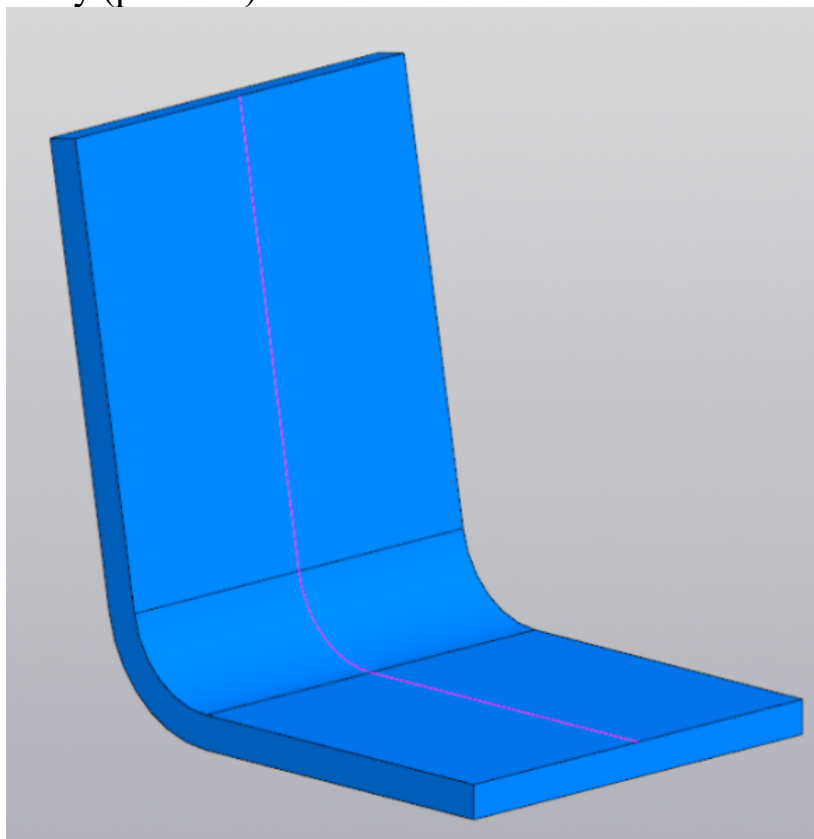


Рисунок 2.7 – Елемент видавлювання

Для створення ручки, ергономічними параметри якої повинні відповідати вимогам вказаним у пункті 2.2, було створено ескіз траєкторії видавлювання, ескіз поперечного перетину та ескіз пляна контакту ручки зі спинкою (рис. 2.8 -2.10).

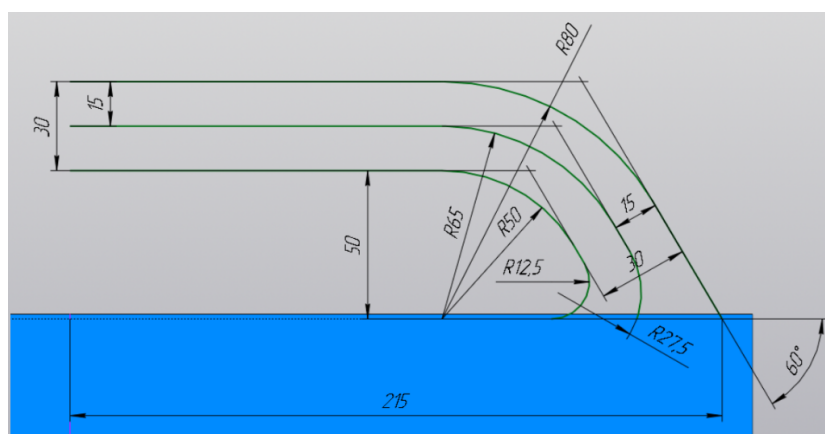


Рисунок 2.8 – Ескіз траєкторії видавлювання

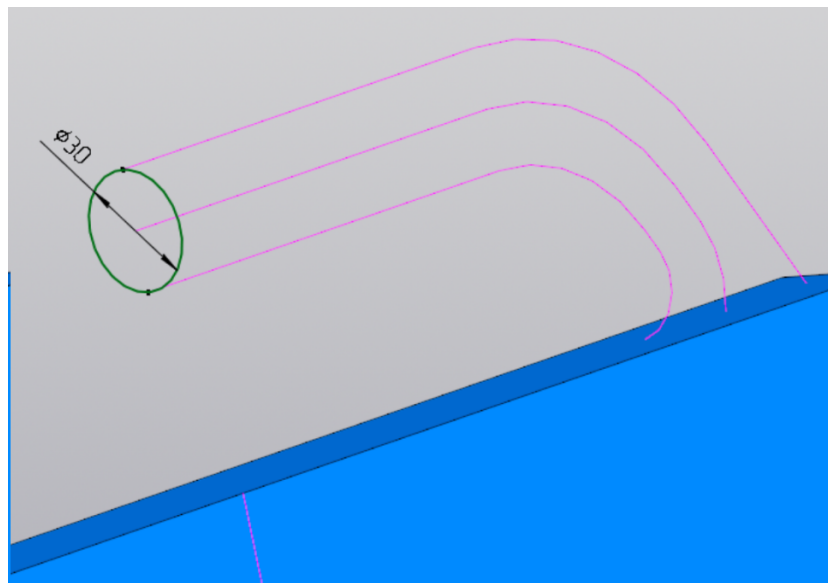


Рисунок 2.9 – Ескіз поперечного перетину

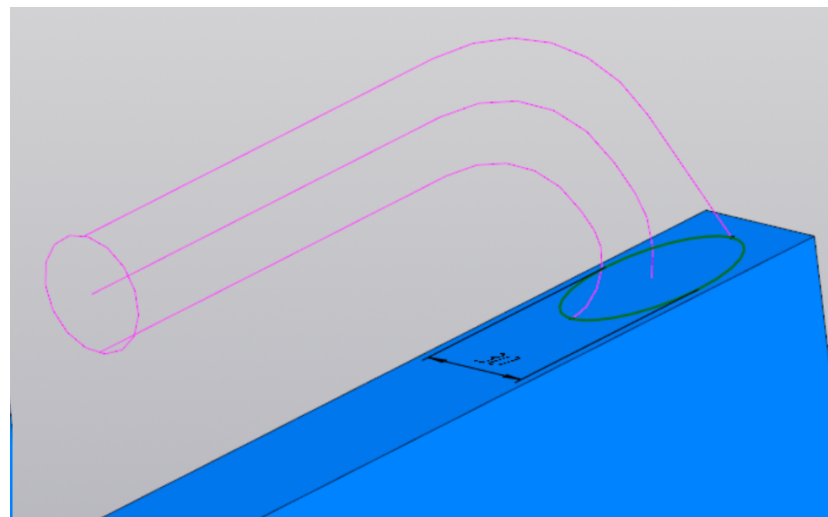


Рисунок 2.10 – Ескіз пляма контакту ручки зі спинкою

За допомогою видавлювання за траєкторією та дзеркального масиву отримаємо остаточний вид ручки (рис. 2.11)

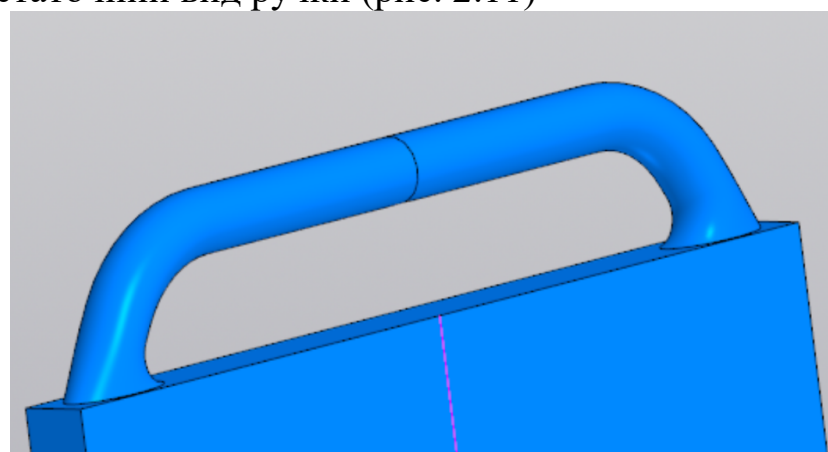


Рисунок 2.11 – Вид ручки

За допомогою команд вирізи, видавлювання та заокруглення створюються отвори для кріплення, ребра жорсткості, вирізи для зменшення маси конструкції. Таким чином конструкція каркасу сидіння набуває остаточну форму (рис. 2.12)

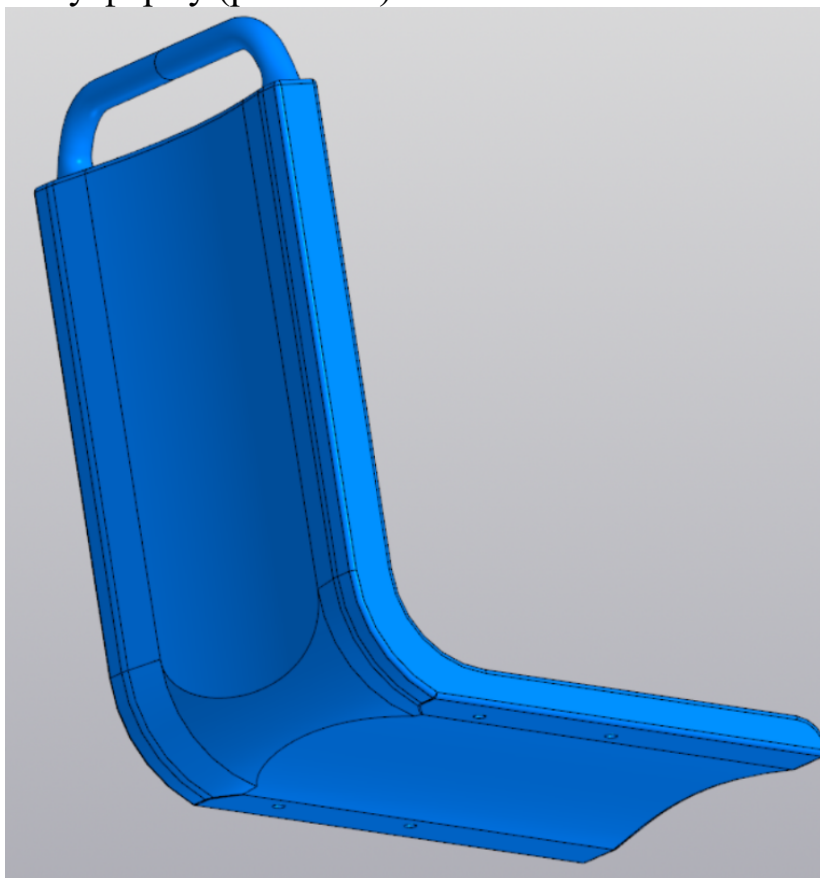


Рисунок 2.12 – Конструкція каркасу сидіння

Ергономічну форму сидіння, яка повторює контур тіла людини, моделювали за допомогою команди поверхня по мережі кривих (рис 2.13)

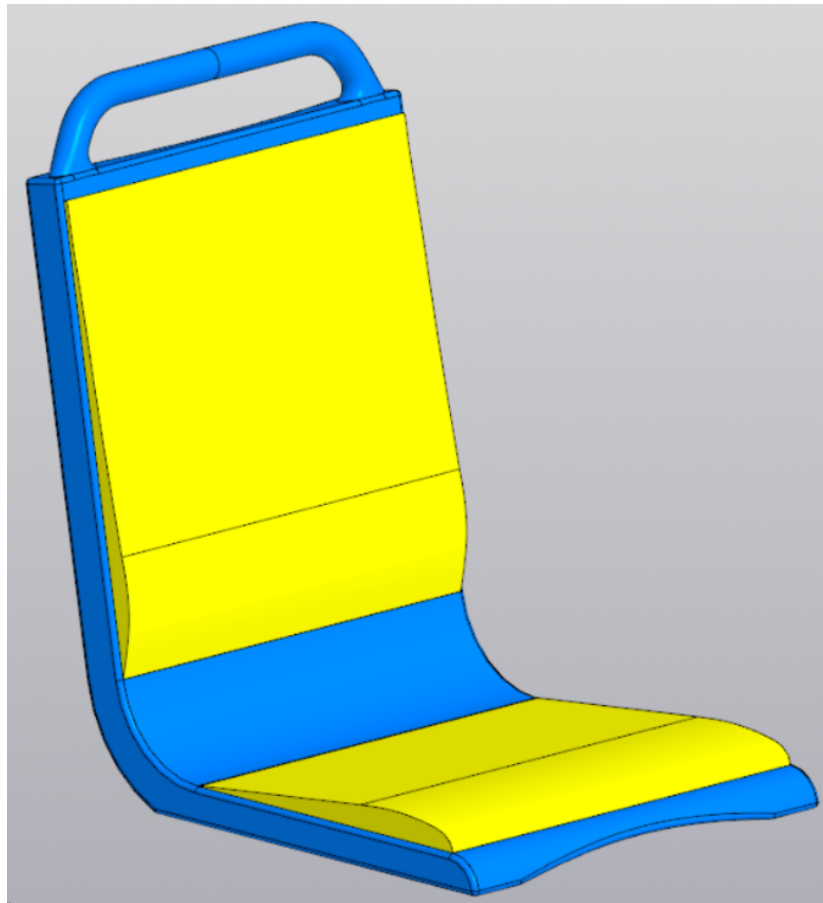


Рисунок 2.13 – Остаточний вид сидіння

2.4.2 Моделювання кронштейну

Моделювання деталей кронштейну виконується в системі листового моделювання. Створення 3D моделей опишемо на прикладі опори кронштейну. Першочергово листовому тілу задається параметр товщини 3 мм та внутрішній радіус згину 6 мм. Створюємо ескіз поперечного перерізу П-подібної форми, яка задає габаритні параметри висоті та ширини опори кронштейна (рис. 2.14)

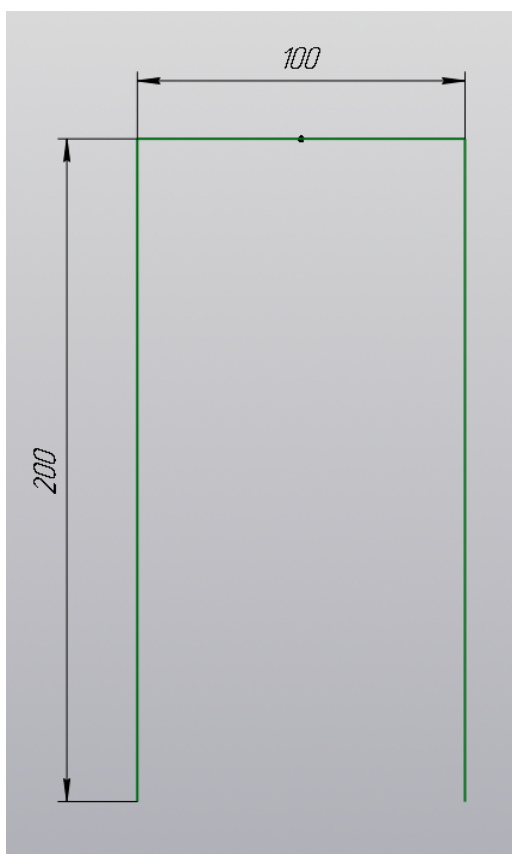


Рисунок.2.14 – Еск

Використовуючи команду видавлювання листового тіла надаємо довжину опорі (рис. 2.15).

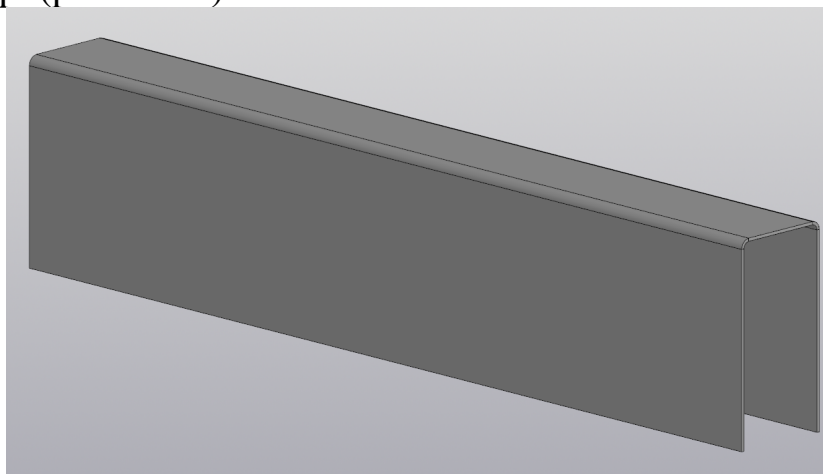


Рисунок 2.15 – Видавлювання листового тіла

Наступним етапом створюємо фланці опорі за допомогою команди згин на крайці (рис. 2.16)

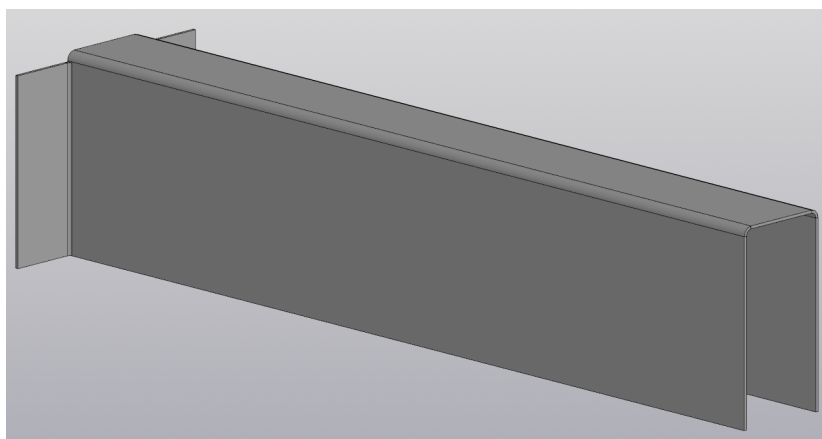


Рисунок 2.16 – Фланці на крайці

Для полегшення конструкції, використовуючи інструмент виріз у листовому тілі за ескізом, створюємо виріз на фланцях та вертикальних стінках опори. (рис. 2.17).

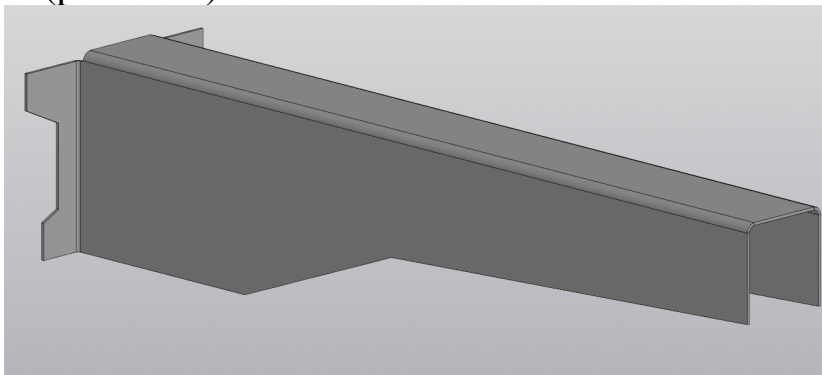


Рисунок 2.17 – Вирізі для полегшення конструкції

За допомогою команд вирізи в листовому тілі та отвір в листовому тілі створюємо отвори для кріпільних елементів та вирізи для конвекції повітря (рис. 2.18)

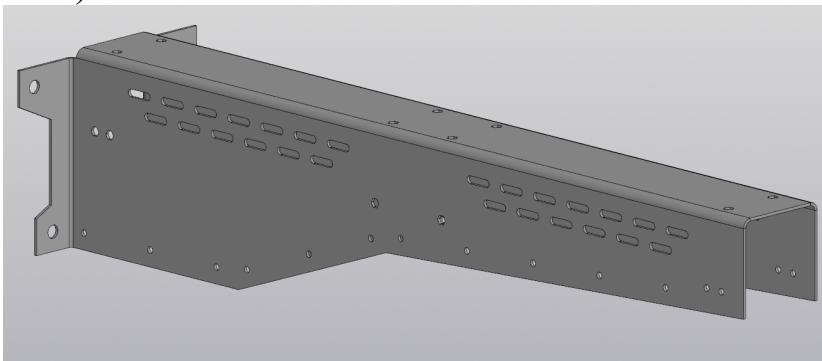


Рисунок 2.18 – Отвори для кріплення та конвекції повітря

Останнім етапом створюємо радіусні заокруглення гострих крайок, за

допомогою команди заокруглення.(рис. 2.19)

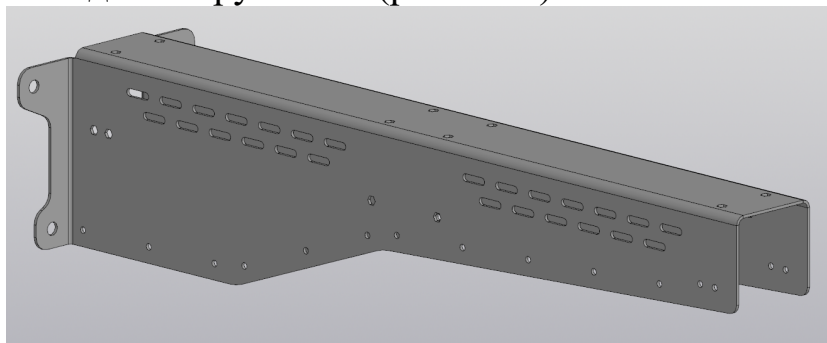


Рисунок 2.19 – Заокруглення конструкції

Інші деталі кронштейна створюємо аналогічно (рис. 2.20-2.22).

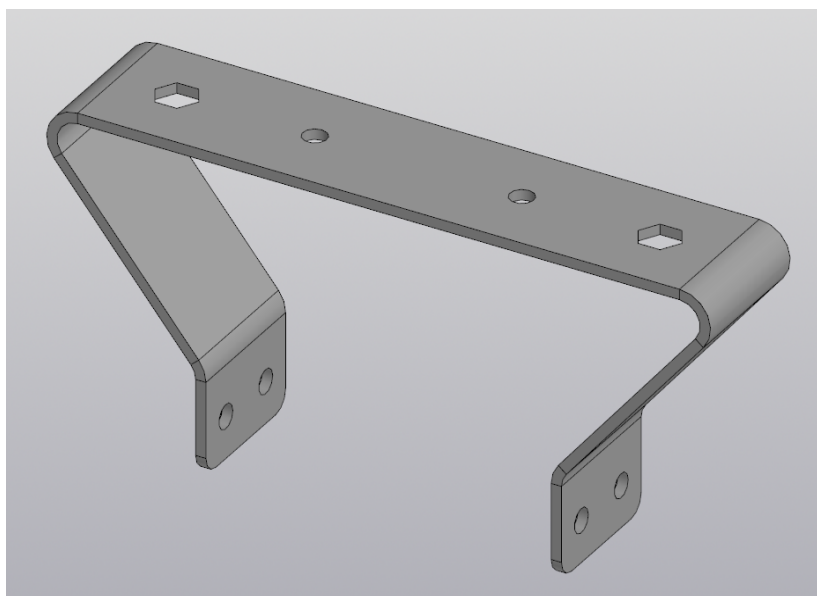


Рисунок 2.20 – Опора мала для кріплення сидінь

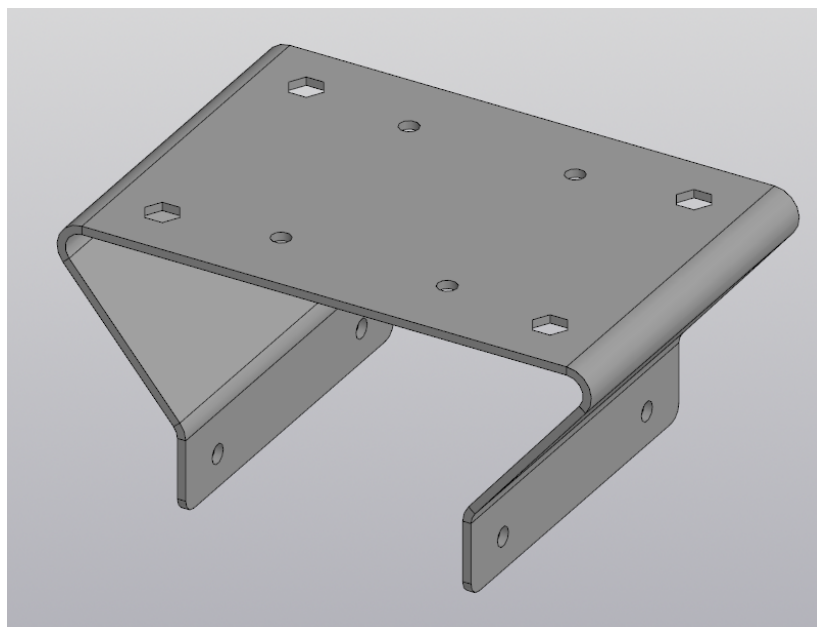


Рисунок 2.21 – Опора велика для кріплення сидінь

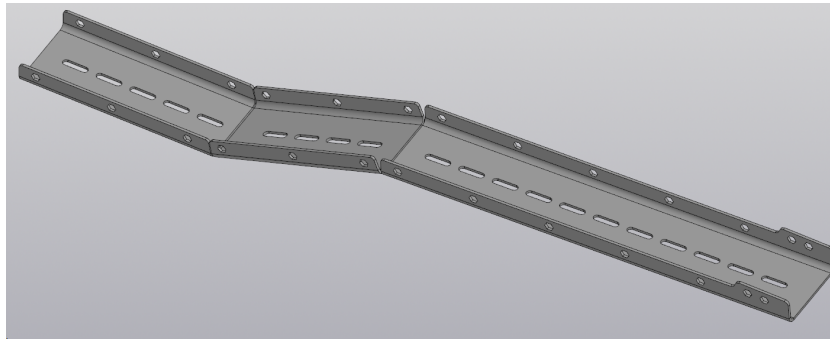


Рисунок 2.22 – Пояс нижній

2.4.3 Створення складальної 3D-моделі

На першому етапі створення складальної моделі за допомогою команди додати елемент додаємо деталь основи кронштейну та фіксуємо її. Далі додаємо моделі гайок-заклепок із каталога стандартних виробів та встановлюємо в отвори основи за допомогою команд сполучення. Наступним етапом додаємо інші деталі кронштейну (опора велика, дві опори малі, пояс нижній) розташовуємо їх у відповідних місцях, використовуючи команду сполучення. З каталогу стандартних виробів вибираємо відповідні до вибраної різьби болти та шайби, розташовуємо їх у місцях болтового з'єднання. Останнім етапом додаємо сидіння та деталі кріплення їх до кронштейну. Всі етапи створення складальної моделі зазначено на рисунках 2.23 -2.26.

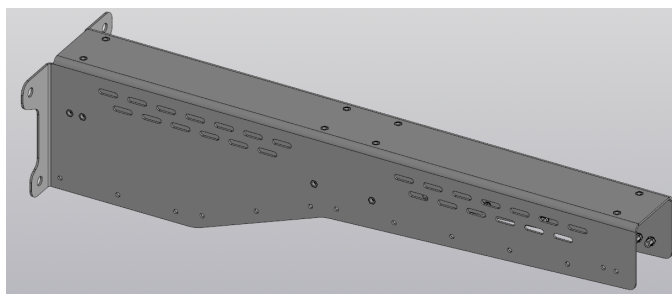


Рисунок 2.23 – Розміщення основи

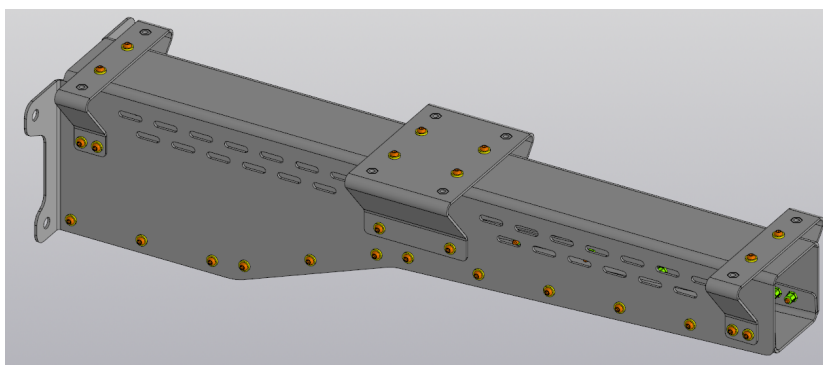


Рисунок 2.24 – Встановлення гайок-заклепок та болтів

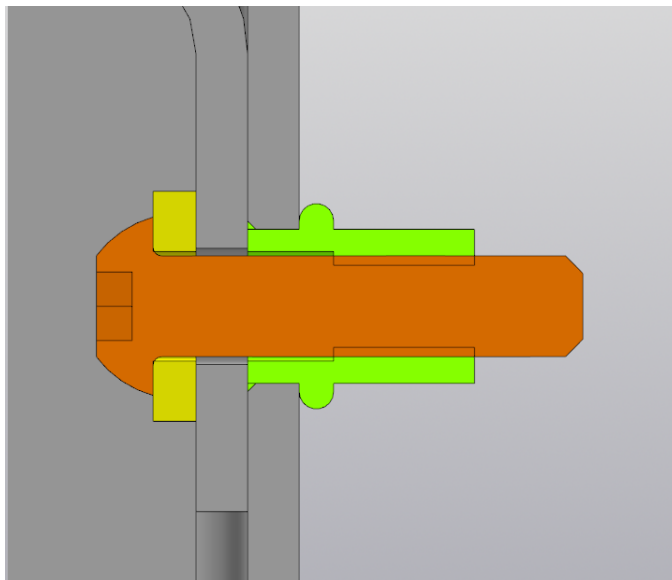


Рисунок 2.25 – Кріплення деталей між собою за допомогою кріпильних елементів

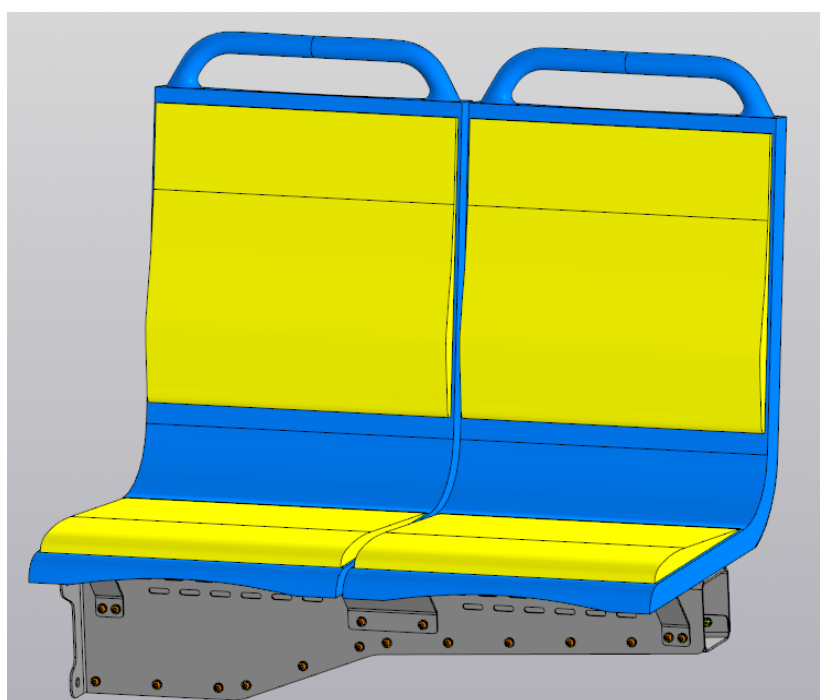


Рисунок 2.26 – Остаточний вид складальної моделі

2.5 Розрахунок конструкції на міцність

2.5.1 Збирання навантажень

Для складання схеми розрахунку необхідно визначити зовнішні навантаження, що передаються на кронштейн-балку. На кронштейн-балці розташовані два сидіння, від яких передається сумарна вага сидінь і пасажирів, що сидять. Маса одного сидіння в міському пасажирському транспорті становить від 5 до 10 кілограмів, залежно від моделі. Для розрахунку масу сидіння прийmemo $m = 10$ кг. Для визначення маси людини можна скористатися даними, наведеними в таблиці 2 DIN 33402-2:2015-12. Для розрахунку скористаємося статистичними даними для чоловіків. 90% чоловіків віком від 18 до 65 років мають масу тіла від 63,5 до 100 кілограмів. Орієнтуючись на більше значення маси і, враховуючи, що людина може мати ручну поклажу, прийmemo масу людини, яка сидить на сидінні $m_{\text{ч}} = 110$ кг.

Визначимо силу, що діє на кронштейн-балку від одного сидіння з пасажиром:

$$F = m_c g + m_{\text{ч}} g = 10 \times 9.81 + 110 \times 9.81 \approx 1200 \text{ Н}, \quad (2.1)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Також на спинку сидіння передається зусилля від пасажирів під час розгону транспортного засобу F_p або його гальмування F_r , якщо сидіння встановлено проти напрямку руху. Сила під час розгону (гальмування) визначається за формулою

$$F_{p(r)} = m_{\text{ч}} a, \quad (2.2)$$

де a - прискорення під час розгону (гальмування), м/с^2 . Прискорення визначається за формулою рівноприскореного руху.

$$a = \frac{V^2 - V_0^2}{2s}, \quad (2.3)$$

где V_0 - початкова швидкість транспортного засобу, м/с ; V - кінцева швидкість транспортного засобу, м/с ; s - пройдений шлях, м . Розгін здійснюється за службовим режимом, а гальмування - за одним із трьох видів: службове, екстрене, аварійне. Згідно з ДСТУ 4224:2003 оцінка ефективності службового, екстреного та аварійного гальмування має

визначатися за величиною гальмівного шляху. За таблицею 2 цього стандарту встановимо значення початкової швидкості $V_0 = 40 \text{ км/год} = 11,1 \text{ м/с}$ і гальмівного (пройденого) шляху $s=30 \text{ м}$ для екстреного гальмування, як найбільш критичного. Кінцева швидкість $V=0 \text{ м/с}$.

Підставивши значення в формулу (2.3), визначимо прискорення під час гальмування

$$a = \frac{-11,1^2}{2 \times 30} = -2,06 \text{ м/с}^2.$$

Тоді сила при гальмуванні (2.2), що діє на спинку сидіння

$$F_r = 110 \times 2,06 = 226 \text{ Н}.$$

2.5.2 Розрахунок кронштейна на міцність

Розрахунок кронштейна на міцність

На рисунку 2.27 представлений кронштейн із сидіннями і вказані діючі на конструкцію навантаження.

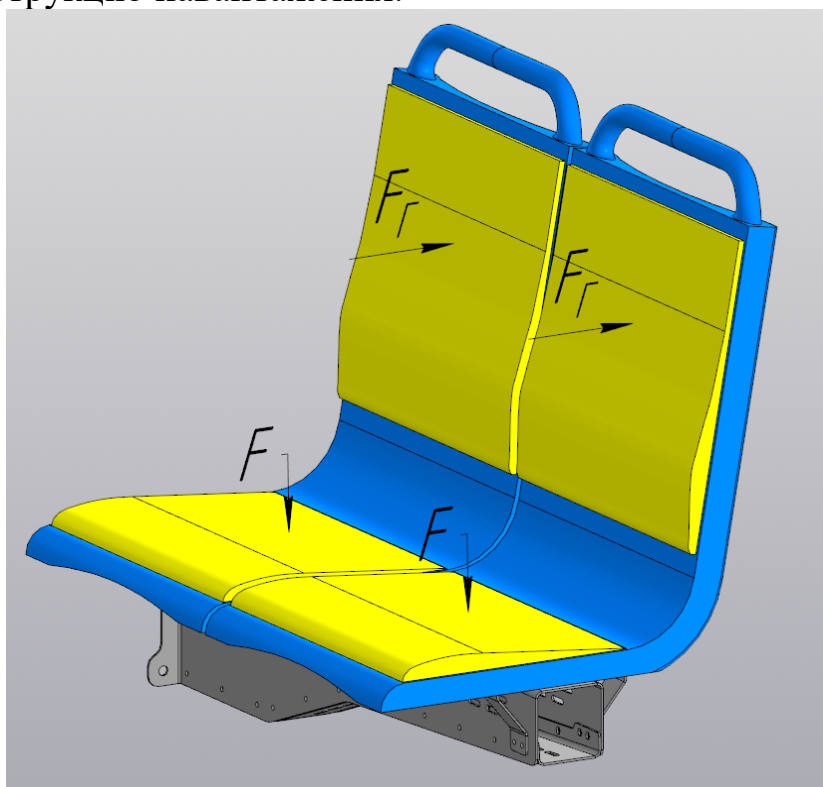


Рисунок 2.27 – Діючі сили на конструкцію

Перевіримо на міцність кронштейн за четвертою теорією міцності, яка повинна виконувати умови

$$\sigma_{IV \text{ екв}} = (\sigma_{зг}^2 + 3\tau_{к}^2)^{0,5} \leq \frac{\sigma_r}{[n]}, \quad (2.4)$$

де $\sigma_{зг}$ - згинальне напруження, МПа;

τ_k - напруження при крученні, МПа;

σ_r - межа плинності матеріалу, МПа;

[n] - допустимий коефіцієнт запасу міцності.

Матеріал кронштейна - сталь 09Г2С (S355J2): межа плинності $\sigma_r=355$ МПа, модуль пружності $E= 210$ ГПа. Довжина кронштейну $L= 0,915$ м. Сили, що діють: $F= 1200$ Н; $F_r= 226$ Н. Відстань дії сил відносно опори: $L_1= 0,23$ м; $L_2= 0,69$ м, $L_k= 0,505$ м. Допустимий коефіцієнт запасу міцності [n]= 2.

У зв'язку з тим, що сили F та F_r діють в різних площинах, які проходять крізь вісь кронштейну, будемо розглядати їх дію, як складне згинання. Також сила F_r створює крутний момент M_k .

Створимо розрахункову схему для площини xz, обчислимо реакції в опорі, побудуємо епюри поперечних сил Q_z та згинальних моментів M_y (рис. 2.28).

Запишемо рівняння рівноваги:

$$\sum Q_{ix} = R_{Ax} = 0; \quad (2.5)$$

$$\sum Q_{iz} = R_{Az} - F - F = 0; \quad (2.6)$$

$$\sum M_{iy} = M_{Ay} - F \times L_1 - F \times L_2 = 0. \quad (2.7)$$

Обчислимо силу реакції в опорі

$$R_{Az} = F + F = 1200 + 1200 = 2400 \text{ Н}. \quad (2.8)$$

Обчислимо реактивний момент

$$M_{Ay} = F \times L_1 + F \times L_2 = 1200 \times 0,23 + 1200 \times 0,69 = 1104 \text{ Нм}. \quad (2.9)$$

Використовуючи метод перерізів та рівняння рівноваги було знайдено та перенесено на епюри величини зусиль, які виникають у точках прикладання сил F .

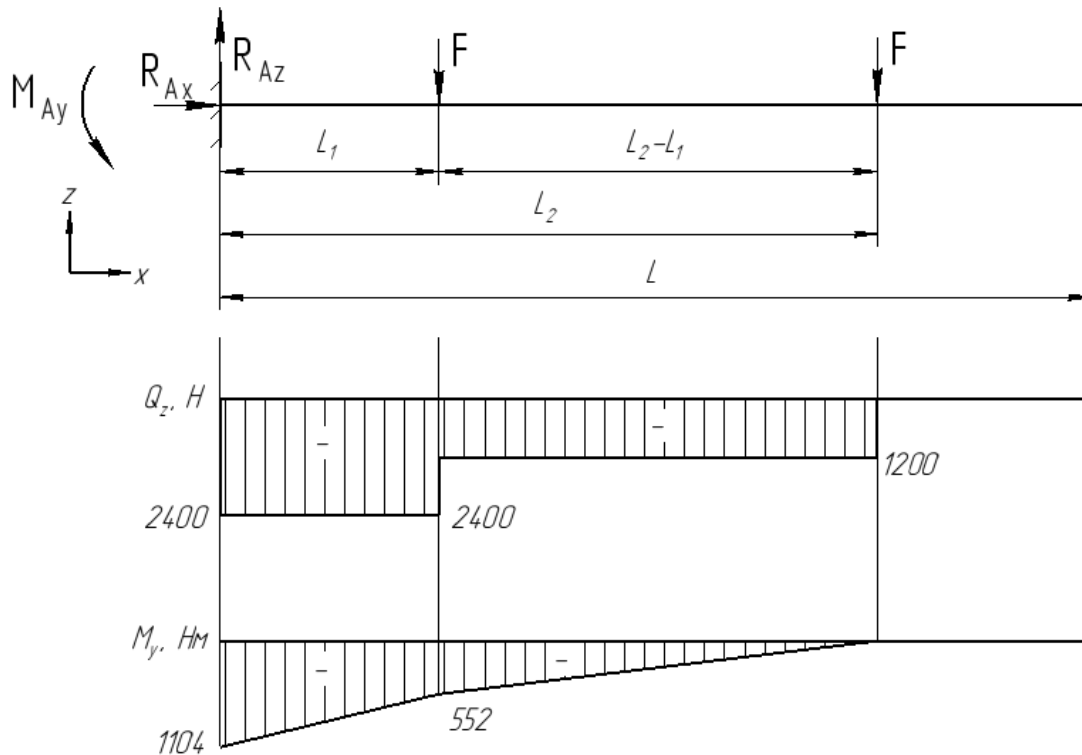


Рисунок 2.28 – Епюра сил Q_z та моментів M_y .

Створимо розрахункову схему для площини xu , обчислимо реакції в опорі, побудуємо епюри поперечних сил Q_y та згинальних моментів M_z (рис. 2.29).

Запишемо рівняння рівноваги:

$$\sum Q_{ix} = R_{Ax} = 0; \quad (2.10)$$

$$\sum Q_{iy} = -R_{Ay} + F_{\Gamma} + F_{\Gamma} = 0; \quad (2.11)$$

$$\sum M_{iz} = -M_{Az} + F_{\Gamma} \times L_1 + F_{\Gamma} \times L_2 = 0. \quad (2.12)$$

Обчислимо силу реакції в опорі

$$R_{Ay} = F_{\Gamma} + F_{\Gamma} = 226 + 226 = 452 \text{ Н}. \quad (2.13)$$

Обчислимо реактивний момент

$$M_{Az} = F_{\Gamma} \times L_1 + F_{\Gamma} \times L_2 = 226 \times 0,23 + 226 \times 0,69 = 208 \text{ Нм}. \quad (2.14)$$

Використовуючи метод перерізів та рівняння рівноваги було знайдено та перенесено на епюри величини зусиль, які виникають у точках прикладання сил F_{Γ} .

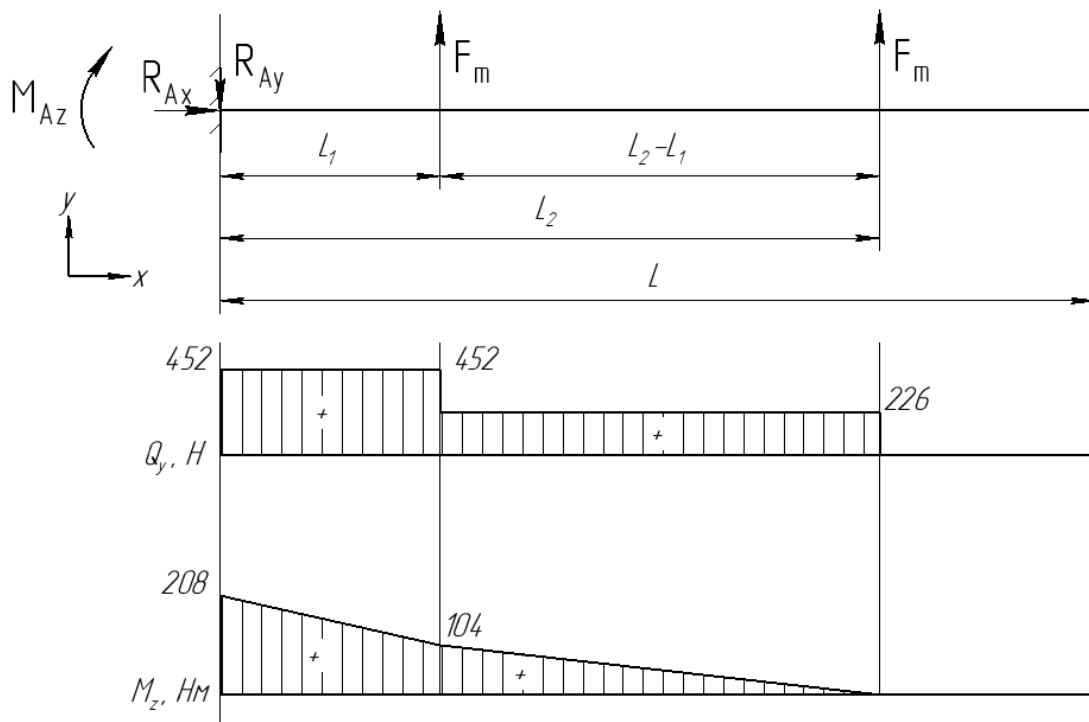


Рисунок 2.29 – Епюра сил Q_y та моментів M_z

При одночасній дії згинальних моментів M_y та M_z згинальне напруження можна знайти за формулою

$$\sigma_{зг} = \frac{M_y \cdot z}{J_y} + \frac{M_z \cdot y}{J_z}, \quad (2.15)$$

де J_y, J_z - осьові моменти інерції перерізу, см^4 ;

y, z - відстань від центру ваги перерізу до максимально віддаленої точки на осі, що розглядається.

Визначимо геометричні характеристики небезпечних перерізів (рис. 2.30) за допомогою програмного забезпечення засобом графічної побудови та використання команди аналізу перерізу.

Геометричні характеристики перерізу I-I:

$J_y^I = 1002,8 \text{ см}^4$; $J_z^I = 343,4 \text{ см}^4$; $y^I = 5 \text{ см}$; $z^I = 10,63 \text{ см}$; $L_1^I = 0,23 \text{ м}$, $L_2^I = 0,69 \text{ м}$, $\omega^I = 190,2 \text{ см}^2$.

Геометричні характеристики перерізу II-II:

$J_y^{II} = 1002,8 \text{ см}^4$; $J_z^{II} = 343,4 \text{ см}^4$; $y^{II} = 5 \text{ см}$; $z^{II} = 10,63 \text{ см}$; $L_2^{II} = 0,43 \text{ м}$, $\omega^{II} = 190,2 \text{ см}^2$.

Геометричні характеристики перерізу III-III:

$J_y^{III} = 319,8 \text{ см}^4$; $J_z^{III} = 236,4 \text{ см}^4$; $y^{III} = 5 \text{ см}$; $z^{III} = 6,7 \text{ см}$; $L_2^{III} = 0,243 \text{ м}$, $\omega^{III} =$

115,7 см².

Геометричні характеристики перерізу IV-IV:

$$J_y^{IV} = 248,4 \text{ см}^4; J_z^{IV} = 218,7 \text{ см}^4; y^{IV} = 5 \text{ см}; z^{IV} = 6,03 \text{ см}; \omega^{IV} = 115,7 \text{ см}^2.$$

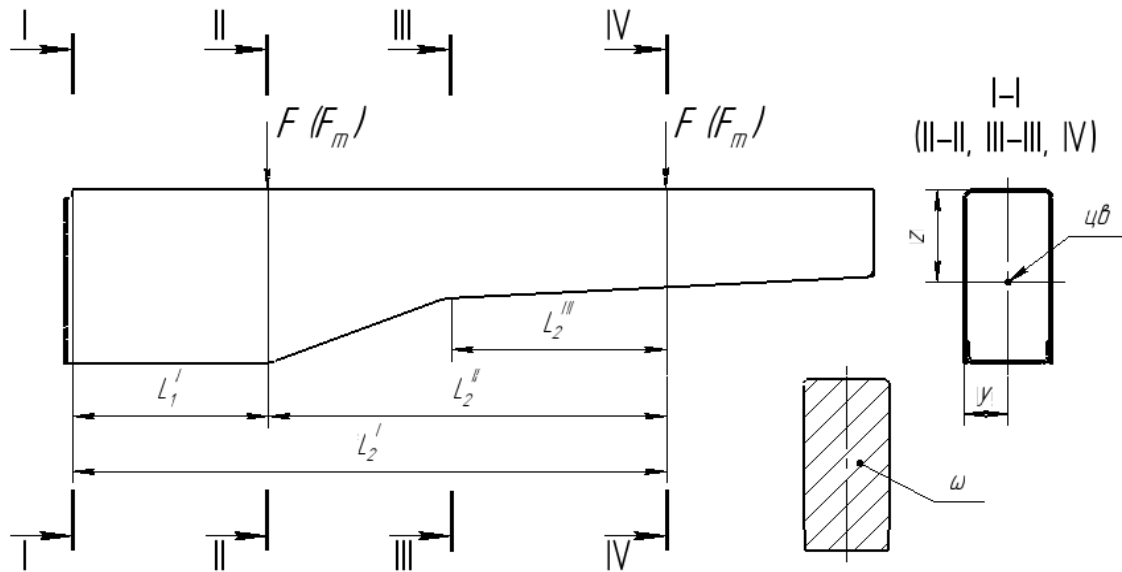


Рисунок 2.30 – Геометричні характеристики небезпечних перерізів

Обчислимо згинальне напруження для перерізу I-I згідно з формулою (2.15).

$$\sigma_{зг}^I = \frac{1200 \times (0,23 + 0,69) \times 10,63}{1002,8} + \frac{226 \times (0,23 + 0,69) \times 5}{343,4} = 14,73 \text{ МПа.}$$

Обчислимо згинальне напруження для перерізу II-II

$$\sigma_{зг}^{II} = \frac{1200 \times 0,43 \times 10,63}{1002,8} + \frac{226 \times 0,43 \times 5}{343,4} = 6,88 \text{ МПа.}$$

Обчислимо згинальне напруження для перерізу III-III

$$\sigma_{зг}^{III} = \frac{1200 \times 0,243 \times 6,7}{319,8} + \frac{226 \times 0,243 \times 5}{236,4} = 7,27 \text{ МПа.}$$

В перерізі IV напруження від згинальних моментів не виникають.

Отже максимальні згинальні напруженні виникають в перерізі I-I.

Визначимо напруження при крученні розглядаючи кронштейн, як тонкостінний стрижень замкнутого профілю. Скористуємось формулою Бредта [1, 9.44]

$$\tau_k = \frac{M_{кр}}{2\omega\delta_{\min}}, \text{ МПа} \quad (2.16)$$

де $M_{кр}$ - крутний момент в перерізі, Нм;

ω - площа, яка окреслена серединною лінією тонкостінного перерізу, см^2 ;

δ_{\min} - мінімальна товщина стінки профілю, см.

Обчислимо крутний момент M_k , який створює сила F_r на відстані L_k (рис. 2.31).

$$M_k = F_r \times L_k = 226 \times 0,505 = 114 \text{ Нм.} \quad (2.17)$$

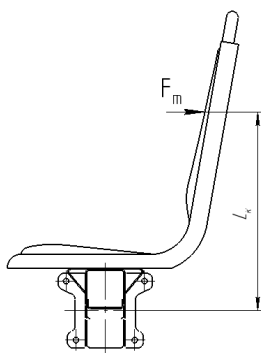


Рисунок 2.31 – положення дії сили F_r .

Створимо розрахункову схему, обчислимо реакції в опорі, побудуємо епюри крутних моментів $M_{кр}$ (рис. 2.32)

Запишемо рівняння рівноваги:

$$\sum M_i = M_A - M_k - M_k = 0. \quad (2.18)$$

Обчислимо реактивний момент

$$M_A = M_k + M_k = 114 + 114 = 228 \text{ Нм.} \quad (2.19)$$

Використовуючи метод перерізів та рівняння рівноваги було знайдено та перенесено на епюри величини крутних моментів.

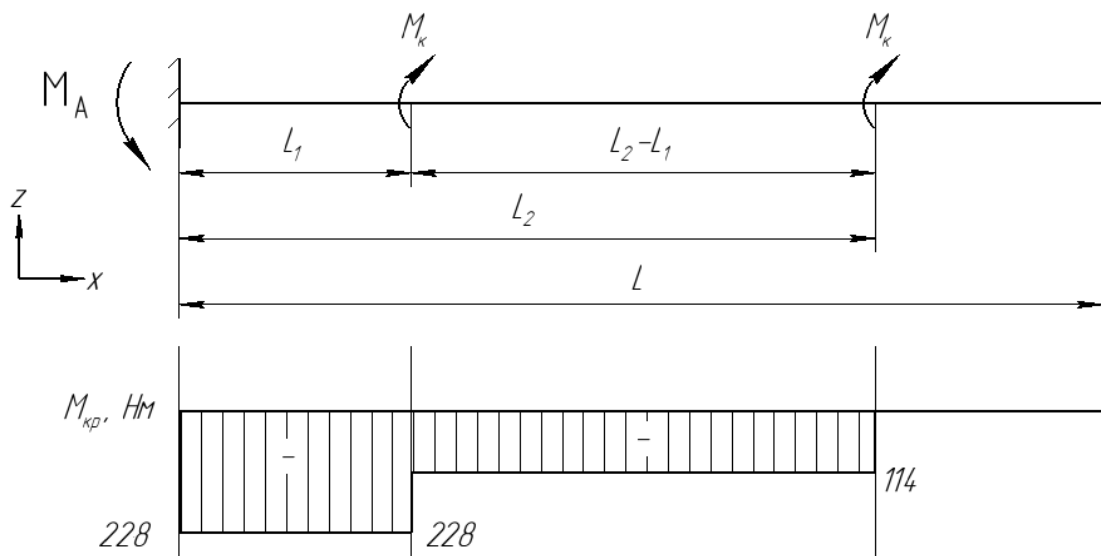


Рисунок 2.32 – Епюра моментів $M_{кр}$

Обчислимо напруження при крученні в небезпечних перерізах використовуючи формулу (2.16), прийнявши за мінімальну товщину стінки профілю $\delta_{\min} = 0,3$ см та підставивши значення площі ω з геометричних характеристик небезпечних перерізів (рис. 2.30):

для перерізу I-I та II-II

$$\tau^I = \tau^{II} = \frac{M_{кр}}{2\omega^I \delta_{\min}} = \frac{228}{2 \times 190,2 \times 0,3} = 2 \text{ МПа};$$

для перерізу III-III

$$\tau^{III} = \frac{M_{кр}}{2\omega^{III} \delta_{\min}} = \frac{114}{2 \times 115,7 \times 0,3} = 1,64 \text{ МПа};$$

для перерізу IV-IV

$$\tau^{IV} = \frac{M_{кр}}{2\omega^{IV} \delta_{\min}} = \frac{114}{2 \times 103,6 \times 0,3} = 1,84 \text{ МПа}.$$

Отже максимальні напруження при крученні виникають в перерізі I-I та II-II.

Проаналізувавши значення напруження при згині та крученні в небезпечних перерізах, обчислимо еквівалентне напруження за четвертою гіпотезою міцності в перерізі I-I за допомогою формули (2.4), як в найбільш небезпечному

$$\sigma_{IV \text{ екв}} = (\sigma_{зг}^2 + 3\tau_{кр}^2)^{0,5} = (14,73^2 + 3 \cdot 2^2)^{0,5} = 15,13 \text{ МПа}.$$

Обчислимо коефіцієнт запасу міцності

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{IV_{екв}}} \geq [n] \quad (2.20)$$

$$n = \frac{355}{15.13} = 23,4 \geq 2$$

Умова виконана.

2.5.3 Розрахунок болтових з'єднань

Розрахунок болтового з'єднання

Роз'ємне болтове з'єднання в місці кріплення кронштейна до стіни розглянуте як з'єднання з поперечним навантаженням, з болтами, встановленими із зазором. У цьому випадку затягуванням болтів забезпечують достатню силу тертя між стягнутими елементами конструкції для запобігання їхньому відносному зсуву і перекосу болтів.

Кронштейн скріплений зі стіною чотирма болтами. В місцях кріплення на кронштейн діють навантаження (рис. 2.33-а):

R_{AZ} - сила реакції від зовнішніх сил F , Н;

M_A - реактивний момент від зовнішніх сил F_r з плечем L_k , Нм.

Навантаження від сили R_{AZ} розподіляється по болтам рівномірно, тому її можна замінити силою T_1 , прикладеної до кожного болта. Обчислимо силу T_1 за формулою

$$T_1 = \frac{R_{AZ}}{z} = \frac{2400}{4} = 600 \text{ Н.} \quad (2.21)$$

де z - кількість болтів.

Навантаження від моменту M_A розподіляються по болтам пропорційно відстані від центральної осі до осі болтів. Представимо момент M_A як суму моментів від сил T_2^i , прикладених до осі болтів з плечем a^i від центральної осі

$$M_A = \sum T_{2i} \times a_i. \quad (2.22)$$

За схемою, що представлена на рисунку 2.33-б, момент M_A можна виразити

$$M_A = 2 \times T_{21} \times a_1 + 2 \times T_{22} \times a_2.$$

З тождества

$$\frac{T_{21}}{T_{22}} = \frac{a_1}{a_2} \quad (2.23)$$

можна виразити T_{22}

$$T_{22} = T_{21} \frac{a_2}{a_1}.$$

Формула моменту M_A (2.22) набуває вид

$$M_A = 2 \times T_{21} \times a_1 + 2 \times T_{21} \frac{a_2}{a_1} a_2 = 2T(a_1 + a_2^2/a_1) \quad (2.23)$$

Обчислимо значення плечей a_1 та a_2 :

$$a_1 = (0,075^2 + 0,1^2)^{0,5} = 0,125 \text{ м};$$

$$a_2 = (0,075^2 + 0,075^2) = 0,106 \text{ м}.$$

Обчислимо силу T_{21}

$$T_{21} = \frac{M_A}{2(a_1 + \frac{a_2^2}{a_1})} = \frac{228}{2(0,125 + \frac{0,106^2}{0,125})} = 530,1 \text{ Н}. \quad (2.24)$$

Обчислимо силу T_{22}

$$T_{22} = 530,1 \frac{0,106}{0,125} = 449,5 \text{ Н}.$$

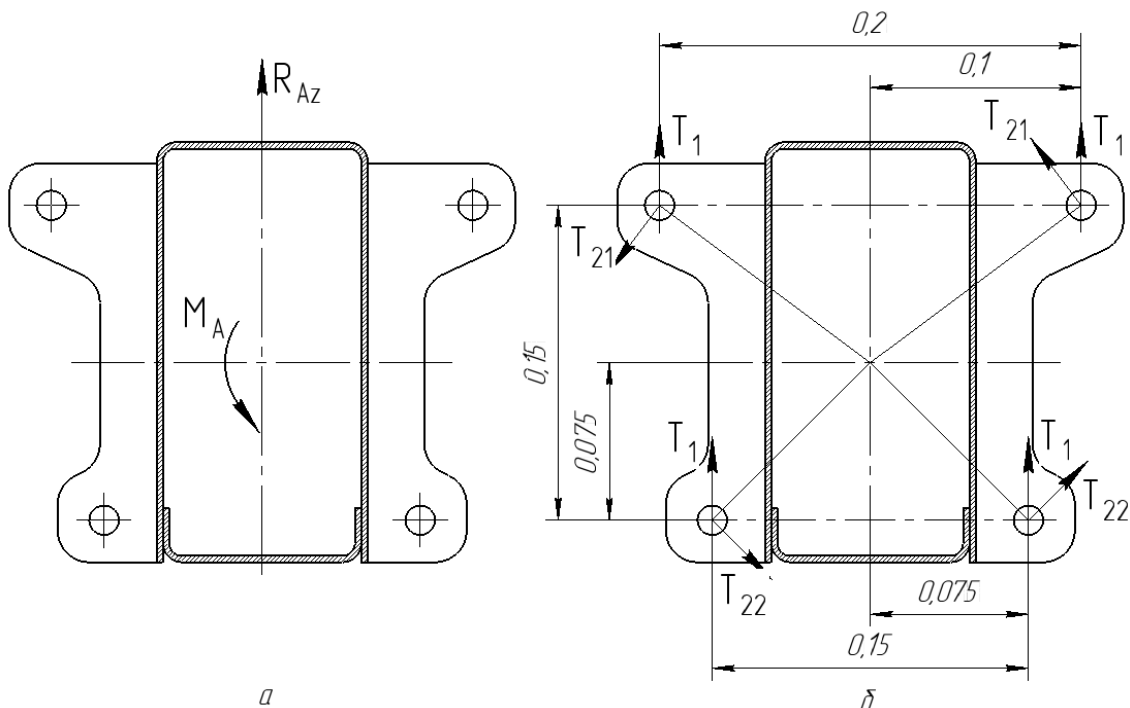


Рисунок 2.33 – Навантаження в місцях кріплення

Визначимо найбільш навантажений болт. Для цього необхідно визначити результуючу силу T для кожного болта, яка є сумою векторів

сил, діючих на кожен болт.

Для визначення результуючої сили T скористуємось графічним методом складення векторів. Для кожного болта побудуємо масштабну схему дії векторів (рис. 2.34), де 1 мм вектору дорівнює 20 Н. Отримані результати результуючої сили T наступні:

Болт 1 - $T=1072,4$ Н;

Болт 2 - $T=363,7$ Н;

Болт 3 - $T=425$ Н;

Болт 4 - $T=971,5$ Н.

Найбільш навантаженим є болт 1, тому подальший розрахунок будемо проводити, використовуючи значення результуючої сили $T=1072,4$ Н, яка діє в цьому болті.

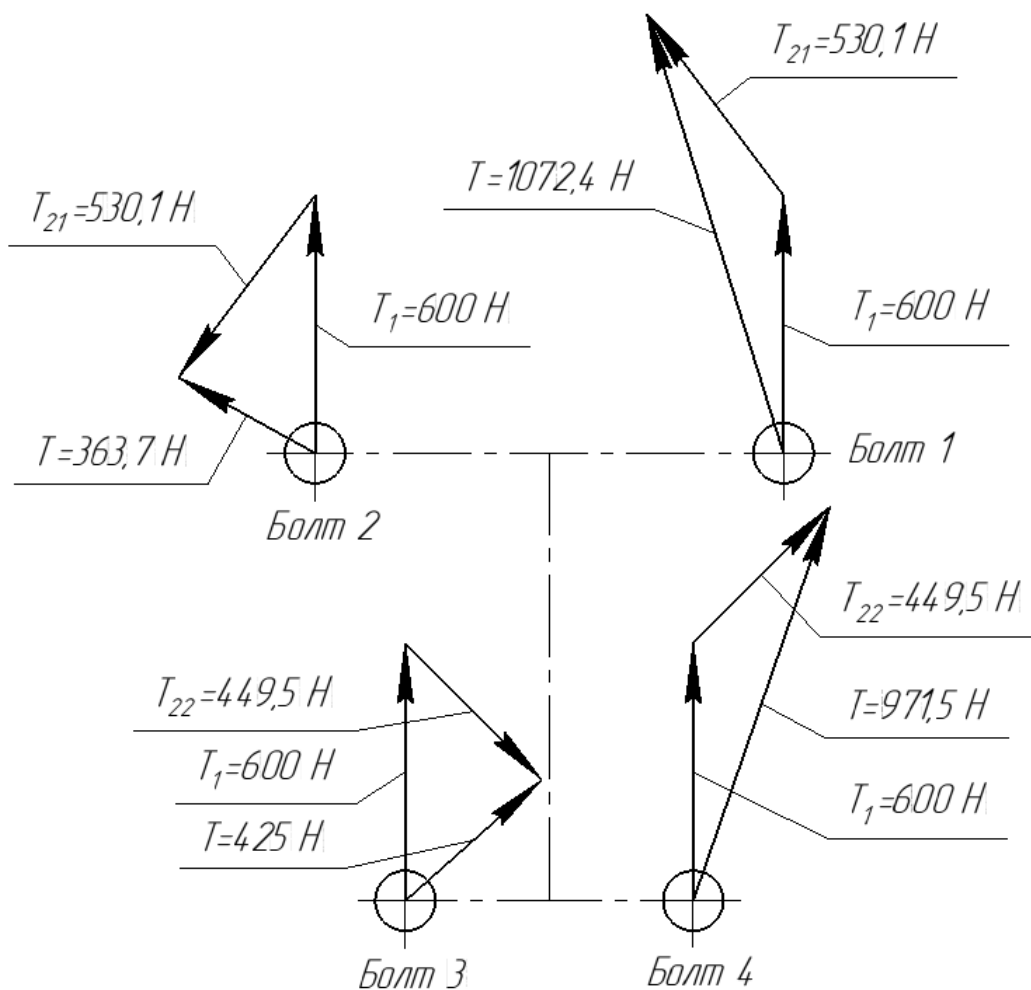


Рисунок 2.34 – Масштабна схема дії векторів для болтів

Визначимо силу затягування болта P_0

$$P_0 = \frac{T k}{f i}, \quad (2.25)$$

де $k=1,4\dots 2$ - коефіцієнт запасу за зсувом деталей;

$f=0,15$ - коефіцієнт тертя для сталі;

$i=1$ - кількість стиків.

Тоді

$$P_0 = \frac{1072,4 \times 2}{0,15 \times 1} = 14300 \text{ Н.}$$

Беручи до уваги, що в наданій схемі закріплення на болти діють спільно розтягувальні навантаження і навантаження кручення, для розрахунку можна використовувати збільшену силу

$$P = 1,3P_0 = 1,3 \times 14300 = 18590 \text{ Н.} \quad (2.26)$$

Умови міцності болта

$$P = \frac{\pi d_1^2}{4} [\sigma_p], \quad (2.27)$$

де d_1^2 - внутрішній діаметр різьби, мм;

$[\sigma_p]$ - допустиме напруження при розтягуванні, МПа, яке визначається за формулою

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{[s_T]}, \quad (2.28)$$

де σ_T - межа плинності матеріала болта;

$[s_T]$ - необхідний коефіцієнт запасу міцності.

При конструюванні залізничного транспорту допускається застосовувати болти з класом міцності не нижче 8.8. Згідно з ДСТУ ISO 898-1:2015 межа плинності матеріалу болтів із класом міцності 8.8 становить $\sigma=640$ МПа.

Необхідний коефіцієнт запасу міцності під час контрольованого затягування (контроль можна здійснювати динамометричним ключем) має становити:

- для вуглецевих сталей - $[s_T] = 1,7\dots 2,2$;

- для легованих сталей $[s_T] = 2\dots 3$.

Оскільки болти з класом міцності 8.8 можуть бути виготовлені як із

вуглецевих, так і з легованих сталей, коефіцієнт запасу міцності можна прийняти $[s] = 2,2$.

Тоді допустима напруга при розтягуванні

$$[\sigma_p] = \frac{640}{2,2} = 291 \text{ МПа.}$$

З формули умови міцності болта виразимо необхідний діаметр по западинах різьблення i , підставивши всі значення, визначимо його величину

$$d_1 = \left(\frac{4P}{\pi [\sigma_p]} \right)^{0,5} = \left(\frac{4 \times 18590}{3,14 \times 291} \right)^{0,5} = 9,019 \text{ мм.} \quad (2.29)$$

Згідно з ДСТУ ISO 724:2005 найближчий більший діаметр різьблення $d_1 = 9,188$ мм має болт М10 із дрібним кроком різьблення 0,75 мм. Оскільки більшого поширення мають різьблення з великим кроком і згідно з ДСТУ ISO 261:2005 перевагу мають діаметри різьблення першого ряду, то можна застосувати болт із різьбленням М12×1,75 з діаметром по западинах $d_1 = 10,106$ мм.

Перевіримо умови міцності

$$\sigma_p = \frac{4P}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_p] \quad (2.30)$$

$$\sigma_p = \frac{4 \times 18590}{3,14 \times 10,106^2} = 230,7 \text{ МПа} \leq [\sigma_p] = 291 \text{ МПа.}$$

Умову виконано.

2.5.4 Аналіз напружено-деформованого стану

Для автоматизації проектно-конструкторських робіт застосовують інтегровані САД/САМ-системи. Ці програмні комплекси забезпечують інженерів необхідними засобами для створення, редагування та удосконалення геометричних моделей виробів, а також для автоматизації процесів їх виготовлення. Для чисельного аналізу параметрів, таких як міцність, вібрації, гідро- та аеромеханіка, використовуються системи САЕ (Computer-Aided Engineering) та спеціалізовані програмні модулі. Вони дають змогу виконувати глибокий аналіз і оптимізацію характеристик виробів, застосовуючи чисельні методи та математичне моделювання. Одним із таких чисельних методів є метод скінченних елементів. Його

суть полягає в розбитті досліджуваної області на кінцеву кількість менших ділянок — елементів. У межах кожного елемента використовується наближена функція, що дозволяє знайти розв'язок диференціального рівняння в цій ділянці. Метод широко застосовується в інженерії та науці для моделювання складних фізичних процесів, забезпечуючи ефективний інструмент для аналізу і вирішення задач, які описуються диференціальними рівняннями.

Метод скінчених елементів дозволяє приблизно моделювати і вивчати різні фізичні процеси, отримуючи числові рішення складних рівнянь. Його використання в багатьох обчислювальних програмах відкриває нові можливості для розв'язання інженерних і наукових задач.

Для проведення симуляції навантаження методом скінчених елементів була підготовлена 3Д-модель (рис. 3.34): здійснено фіксування кронштейна в області кріпильних отворів для його монтажу до стіни транспортного засобу (позначене зеленим); придано зовнішні сили згідно схеми навантаження на поверхні каркасу сидіння (позначене блакитним)

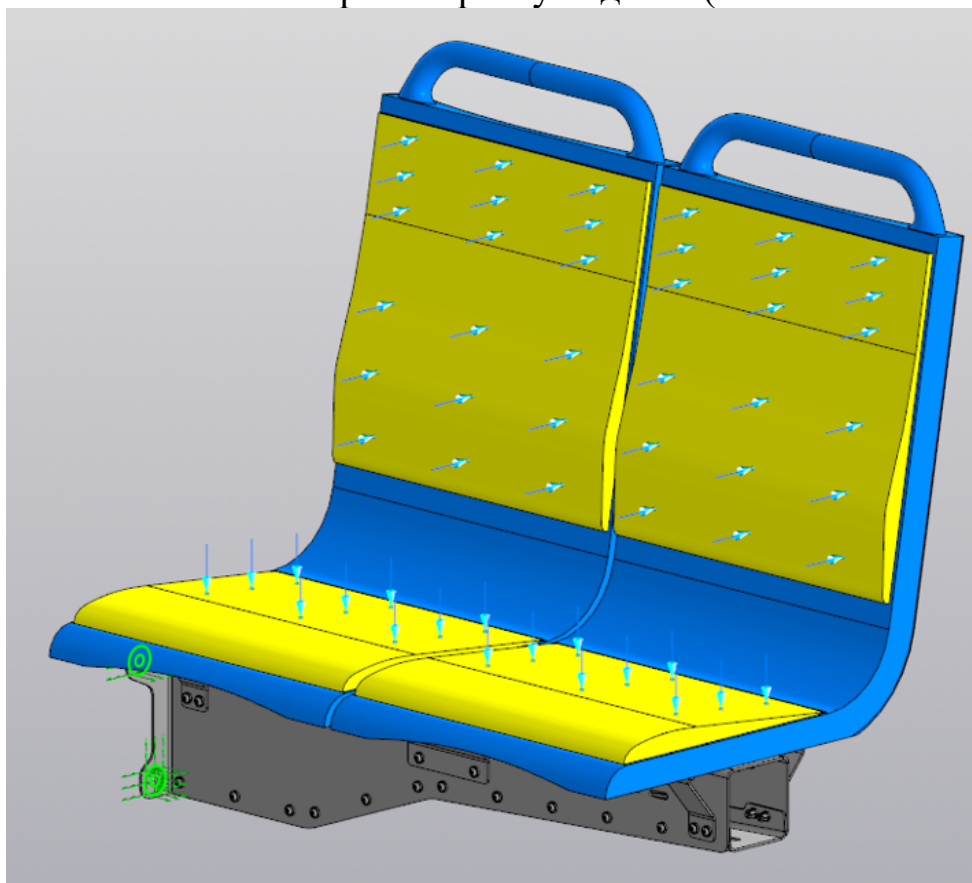


Рисунок 3.34 - Підготовка моделі до симуляції навантажень методом скінчених елементів

Симуляція була проведена в додатку APM FEM до CAD-програми.
Результати наведено на рисунках 2.35 - 2.37.

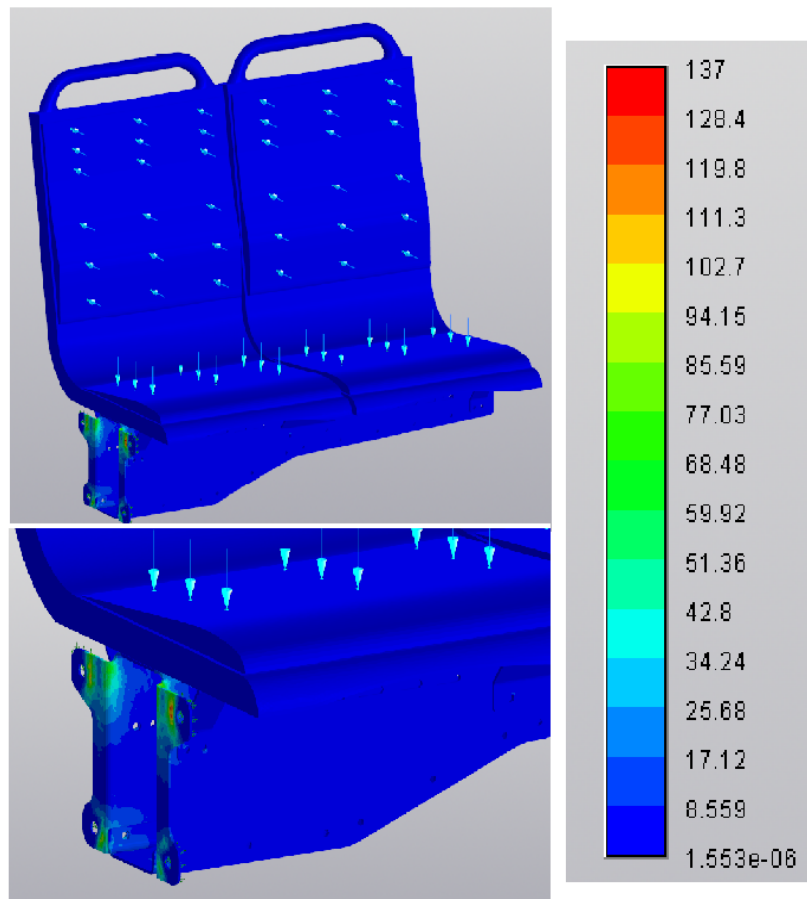


Рисунок 2.35 – Аналіз на напруження, МПа

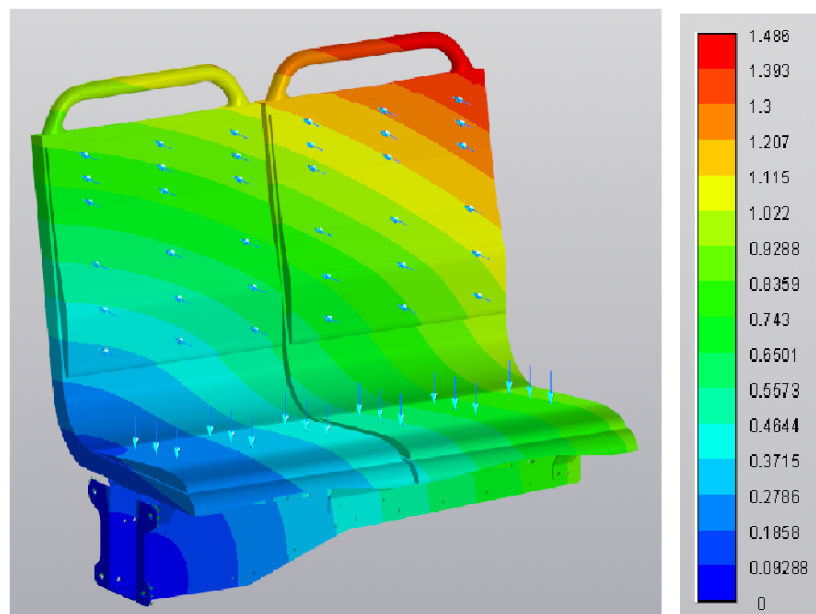


Рисунок 2.36 – Аналіз деформації, мм

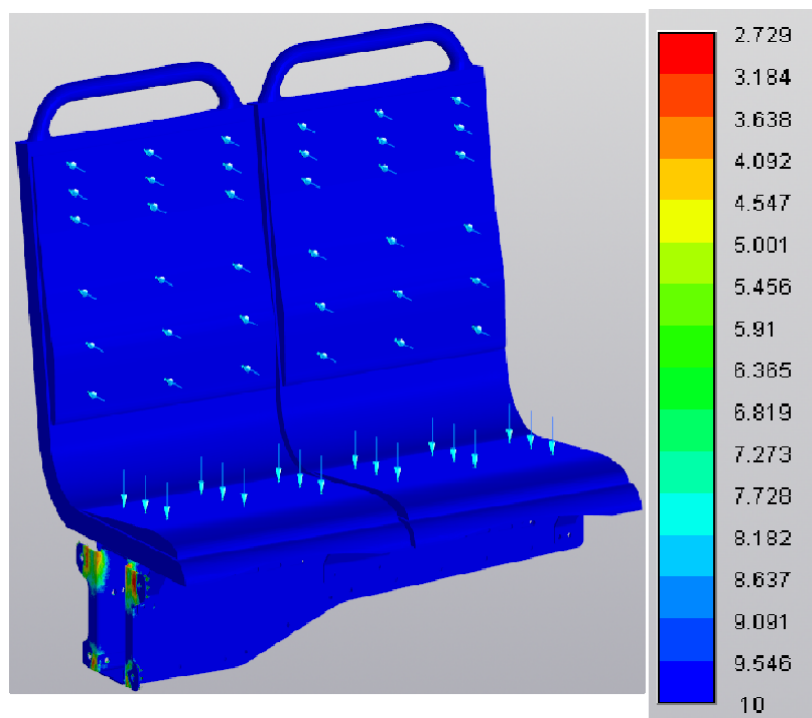


Рисунок 2.37 – Аналіз коефіцієнта запасу міцності

Значення максимальних напружень в 137 МПа менше ніж максимально допустимі напруження, а мінімальний коефіцієнт запасу міцності на рівні 2,7 більше мінімально допустимого. Тобто умови міцності

$n=2,7 \geq [n]=2$ виконано.

Максимальні деформації не перевищують 1,5 мм, що відповідає вимогам жорсткості конструкції

Отримані результати свідчать, що конструкція відповідає вимогам міцності та жорсткості.

2.5.5 Висновки за розділом

У цьому розділі ми дослідили розробку, звертаючи увагу на основні функції, ергономіку, конструкцію та міцність.

На етапі аналізу визначили основні функції моделі і як вони впливають на вартість. Це допомогло знайти можливості для покращення конструкції.

При розгляданні теми ергономіки сидіння ми визначили оптимальні значення розмірів каркасу сидіння для пасажирів різних вікових груп та

статі.

В розділах про проектування та моделювання створили 3D-моделі різних компонентів – сидіння, кронштейна з його елементами та повну складальну модель. Це дало змогу візуалізувати конструкцію, перевірити взаємодію елементів і підготуватися до подальших інженерних розрахунків.

При міцнісних розрахунках, зокрема в аналізі навантажень, розрахунку кронштейна та болтів, оцінили і напружено-деформований стан. Це дозволило перевірити, як конструкція витримає навантаження. Результати підтвердили, що модель відповідає вимогам міцності та надійності.

В цілому, розділ охоплює всі ключові етапи – від аналізу функцій до моделювання та перевірки міцності, що дозволяє зробити обґрунтовані висновки щодо розробленої конструкції.

3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування вибору матеріалу

Для виготовлення сидіння в дипломній роботі запропоновано застосування екологічного поновлюваного матеріалу, що зумовлено прагненням до зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Біокомпозити - це матеріали, що поєднують натуральні волокна (наприклад, джут, льон, конопля або деревні волокна) з біополімерами або термореактивними смолами на рослинній основі.

Наразі для виготовлення корпусів сидінь одним із популярних

матеріалів є поліамідний композит на основі матриці з скловолокна марки PA/GF10. Його одним із недоліків є низька екологічність. Під час аналізу цього питання пропонується замінити цей матеріал на близький за характеристиками поліамідний композит на основі матриці з конопляного волокна PA6/HEMP30. Також пропонований матеріал має нижчу ціну через відсутність більш дорогого скловолокна.

Цей матеріал являє собою оптимальне поєднання міцності, легкості та екологічності. Такий матеріал допомагає скоротити вуглецевий слід, зменшити залежність від корисних копалин. Використання біокомпозитів також сприяє більш стійкому циклу життєдіяльності виробу, полегшуючи утилізацію і знижуючи навантаження на навколишнє середовище. Це особливо важливо в контексті сучасних вимог до екологічності транспорту і переходу на більш «зелені» технології. Таким чином, застосування поліаміду з конопляним наповнювачем стало розумним вибором, що дає змогу поєднувати технічну ефективність і екологічність.

Біокомпозит PA6/HEMP30 може застосовуватися у виробництві виробів для різноманітних напрямків промисловості. Цей матеріал охоплює такі основні сфери застосування: автомобільна промисловість (внутрішнє облицювання салону, дверцят, підлокітників, кришок багажника тощо); залізничний і громадський транспорт (виготовлення сидінь, елементів облицювання інтер'єру, корпусів панелей управління тощо); а також у меблевій та електротехнічній промисловості.

Для виготовлення кронштейна в дипломній роботі було прийнято рішення вибрати низьковуглецеву низьколеговану сталь 09Г2С. Ця марка сталі одна з найбільш широко застосовуваних у машинобудуванні. Висока механічна міцність сталі дає змогу використовувати більш тонкі елементи порівняно з використанням сталей інших видів.

Зі сталі 09Г2С виготовляють будівельні конструкції, парові котли, труби для транспортування газів і рідин (природний газ, нафта, вода). Сталь цієї марки часто використовується у виробництві гірничодобувного, металургійного обладнання. Застосовується для

виготовлення конструкцій сільськогосподарських машин і залізничних транспортних засобів. Матеріал застосовується практично у всіх сферах машинобудування і виробництва. Висока температурна стійкість дає змогу використовувати цей вид сталі в температурному діапазоні від -70 до +450 °С.

Європейські виробники рейкових транспортних засобів під час розроблення деталей і вузлів інтер'єрів широко використовують сталі класу міцності 235: S235JR, S235J0; сталі класу міцності 355: S355JR, S355J, S355J2. Вітчизняна сталь 09Г2С є одним з аналогів сталей з класом міцності 355 і не поступається своїми механічними характеристиками.

Конструкційна сталь 09Г2С приваблює виробників оптимальним співвідношенням ціна-якість. Це недорогий і при цьому довговічний метал (за умови правильного захисту від корозії).

В якості елементів кріплення пропонується використовувати болти згідно з ДСТУ ISO 4017 класу міцності 8.8 з покриттям A3L (рисунок 3.1-а). Умовне позначення покриття A3L згідно з ДСТУ EN ISO 4042:2022 вказує на те що матеріал покриття – цинк, товщина покриття 8 мкм, колір – від жовтуватого мерехтливого до жовто-коричневого райдужного. Використання болтів цього класу міцності регламентують технічні умови на виготовлення рейкових транспортних засобів.

В якості закладних кріпильних елементи обрано гайки-заклепки виробника компанії Völchhoff (рисунок 3.1-б). Ці елементи широко використовуються під час виготовлення транспортних засобів.

Для запобігання самовідгвинчування обрано шайби типу Nordlock (рисунок 3.1-в), які також широко застосовуються при виготовленні транспортних засобів і показали більш надійне з'єднання порівняно з пружинними розрізними шайбами.

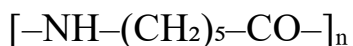


Рисунок 3.1 – Кріпильні елементи

3.1.1 Властивості біокомпозитного матеріалу

РА6/НЕМР 30 - це біокомпозитний матеріал, що являє собою суміш поліаміду-6 (РА6) і 30% армуючого наповнювача у вигляді технічних волокон конопель. Він розроблений як екологічна альтернатива традиційним технопластам, включно зі склонаповненими поліамідами, і застосовується в тих випадках, де важливими є як механічна міцність, так і зниження вуглецевого сліду.

Основна хімічна формула полімерного ланцюга РА6:



Це структура, яка включає: амідні групи ($-CONH-$) відповідають за водопоглинання і міжмолекулярні водневі зв'язки; аліфатичні ланцюги забезпечують гнучкість і стабільність полімеру.

Наповнювач волокна коноплі — це натуральні целюлозні волокна рослинного походження, які складаються переважно з:

- целюлози (приблизно 70–75%), формула $(C_6H_{10}O_5)_n$ – забезпечує механічну міцність та жорсткість;
- геміцелюлоза (~15–20%) – забезпечує гнучкість волокон, але менш стабільна за целюлозу;
- лігнін (~3–5%) – натуральний полімер, який додає волокнам міцності та стійкості до вологи;
- пектин, віск, мінерали (~1–2%) – залишкові природні речовини.

Поліамід-6 забезпечує високу міцність, термостійкість і

зносостійкість, а волокна конопель - натуральний поновлювальний ресурс - надають додаткової жорсткості, зменшуючи загальну вагу і роблячи матеріал більш екологічним. Волокна хімічно модифікуються для кращої адгезії з поліамідом, забезпечуючи міцне зчеплення і рівномірний розподіл напружень у структурі матеріалу.

Механічні та теплофізичні властивості представлені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Механічні та теплофізичні властивості РА6/HEMP 30

Межа міцності при розтягуванні, МПа	75
Модуль пружності при розтягуванні, ГПа	6
Подовження під час розриву, %	3
Межа міцності при <u>вигині</u> , МПа	100
Модуль вигину, МПа	6500
Ударна в'язкість, кДж/м ²	25
Температура розм'якшення, °С	190
<u>Робочий температурний діапазон</u> , °С	від -20 до +110
Коефіцієнт теплового розширення, 1/К	$\sim 7 \cdot 10^{-5}$

Матеріал має низку специфічних характеристик, які роблять його привабливим з погляду стійкості, проте також накладають певні обмеження, особливо в галузі вогнестійкості та переробки.

З точки зору горючості, стандартний РА6/HEMP 30 не належить до важкозаймистих матеріалів. За класифікацією UL94 він має рейтинг HB (Horizontal Burning) - це найменший рівень вогнестійкості, що означає, що матеріал може продовжувати горіти в горизонтальному положенні, не демонструючи самозатухання. Таким чином, у своїй базовій формі РА6/HEMP 30 не є негорючим і потребує додаткової модифікації. Для підвищення його вогнестійкості до складу вводять антипірени, як-от фосфорорганічні сполуки або галогенсвободні добавки, які дають змогу досягти вищих класів UL94 (наприклад, V-0 або V-2).

З екологічної точки зору РА6/HEMP 30 демонструє значну перевагу завдяки використанню відновлюваної сировини. Приблизно 30% від маси матеріалу становлять технічні волокна конопель, які є натуральним і щорічно поновлюваним ресурсом. Коноплі вирощують без використання великої кількості добрив і пестицидів, а також поглинають значну кількість CO₂ у процесі росту, що сприяє зниженню вуглецевого сліду матеріалу. Порівняно з традиційними наповнювачами, як-от скловолокно, РА6/HEMP 30 забезпечує скорочення вуглецевого сліду на 20-30%, що особливо важливо під час застосування у виробках із тривалим життєвим циклом, наприклад, у транспортній галузі.

Що стосується можливості переробки, матеріал допускає вторинну переробку у вигляді механічної грануляції. Після подрібнення відпрацьованих виробів або відходів виробництва РА6/HEMP 30 може бути повторно розплавлений і перероблений, наприклад, методом лиття під тиском. Однак наявність натурального волокна обмежує кількість циклів переробки: з часом волокна втрачають довжину і міцність, погіршуючи армувальний ефект. Крім того, перероблений матеріал може мати злегка змінені механічні та термічні характеристики, особливо якщо піддавався багаторазовому нагріванню або забрудненню.

3.1.2 Властивості метеріалу зі сталі

Кронштейн являє собою металеву конструкцію. Для виготовлення деталей кронштейна можна застосувати низьковуглецеву низьколеговану конструкційну конструкційну сталь підвищеної міцності марки 09Г2С з технічними умовами згідно з ДСТУ 8541:2015.

Цю сталь широко застосовують для виробництва сортового, фасонного і листового прокату, гнутих профілів. Сталь характеризується високою міцністю, гарною зварюваністю, що робить її особливо затребуваною для виготовлення опор, рам і зварних з'єднань, що експлуатуються в умовах вібрації і змінних навантажень. Вона знайшла своє застосування в машинобудуванні, будівництві та транспортній промисловості.

Важливою перевагою є її ударна в'язкість за низьких температур: в умовах $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ сталь зберігає ударну міцність не менше 343 Дж/см^2 , що робить її придатною для експлуатації в суворих кліматичних зонах. Ці характеристики дають змогу використовувати матеріал у виробках, критичних до надійності, таких як несучі елементи салону рухомого складу.

Хімічний склад сталі 09Г2С (таблиця 3.2) розроблено для забезпечення високих експлуатаційних властивостей.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сталі 09Г2С

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	S	P	Інші ел-ти
96-97	$\leq 0,12$,05-0,8	1,3-1,7	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	–	$\leq 0,04$	$\leq 0,035$	–

Хімічні елементи, що впливають на якість сплаву:

- вуглець (C) - низький вміст забезпечує хорошу зварюваність і пластичність;

марганець (Mn) - підвищує міцність та ударну в'язкість.

кремній (Si) - покращує міцність, опір окисленню і сприяє зневуглицюванню під час зварювання;

сірка (S) - обмежений вміст покращує пластичність та знижує крихкість;

фосфор (P) - контролюється для підвищення пластичності та надійності зварних з'єднань.

Допускається наявність слідів хрому, нікелю та міді, що додатково підвищує стійкість сталі до корозії та атмосферних впливів, особливо за тривалої експлуатації.

Мікроструктура сталі 09Г2С зазначена на рисунку 3.2

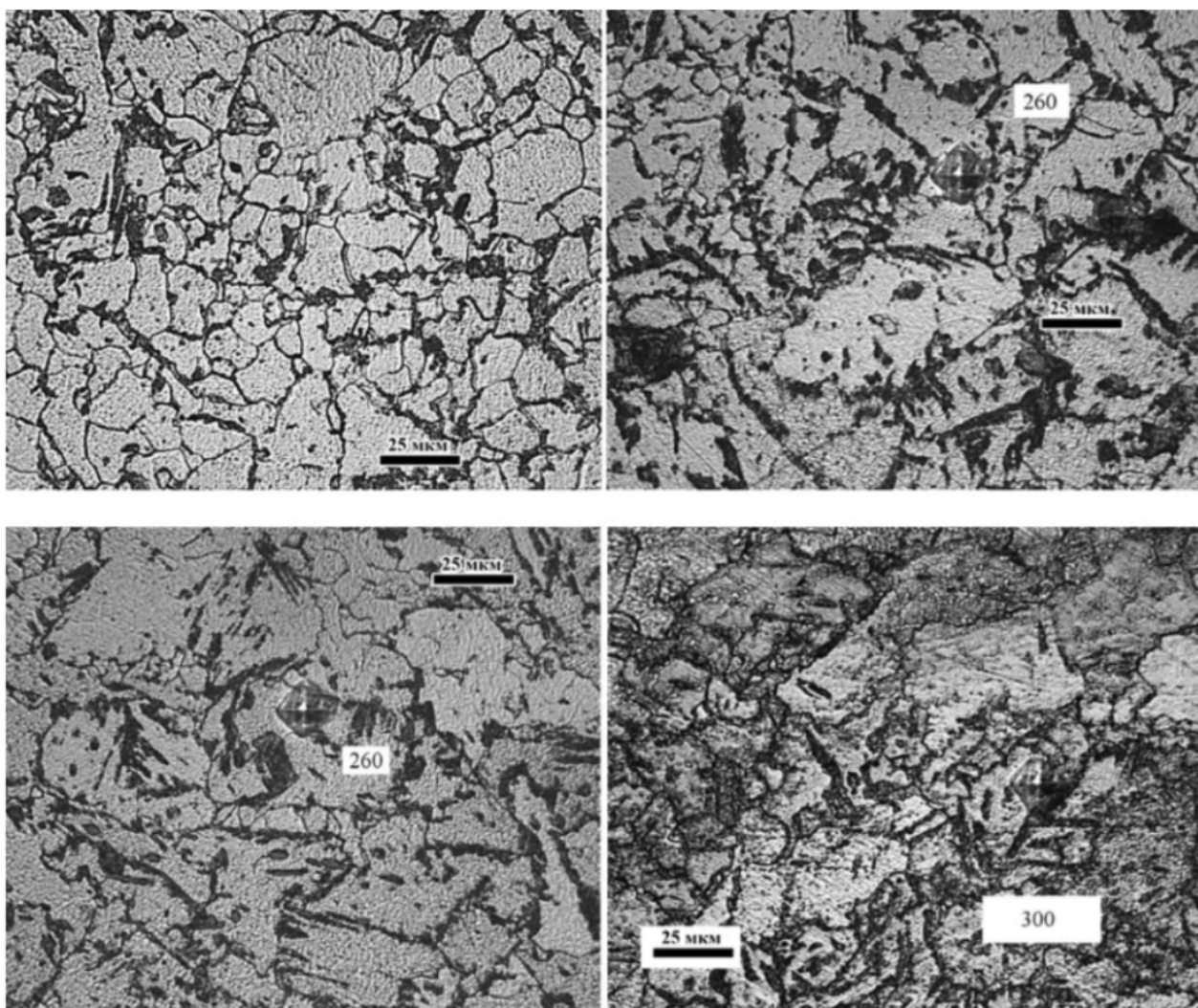


Рисунок 3.2

Механічні властивості листового прокату наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Механічні властивості листового прокату

Клас міцності	Границя плинності σ_T , МПа	Тимчасовий опір σ_B , МПа	Відносне видовження δ_5 , %	Згин до паралельності сторін (a – товщина зразка, d – діаметр поправки)
355	355	490	21	$d=2a$

Ударна в'язкість листового прокату зі сталі 09Г2С наведена в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Ударна в'язкість листового прокату

Клас міцності	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ² , за температури °С			Ударна в'язкість КСV, Дж/см ² , за температури °С		Ударна в'язкість КСV, Дж/см ² , після механічного старіння за температури °С
	+20	-40	-70	0	-20	+20
355	–	29	–	–	–	29

3.1.3 Матеріал подушок для сидіння

Екологічна структура подушки сидіння, що застосовується в сучасному електротранспорті, розроблена з урахуванням вимог стійкості, комфорту і легкості утилізації. Конструкція являє собою багатошарову систему, в якій кожен шар виконує свою функціональну роль. Завдяки використанню матеріалів з біосоставляючими і переробленими компонентами, забезпечується зниження вуглецевого сліду і підтримка концепції замкнутого виробничого циклу.

Верхній шар подушки-це оббивний матеріал, що виконує декоративну і захисну функції. Для нього використовується екологічна екошкіра (рисунок 3.3), виготовлена або на основі кукурудзяного поліолу (рослинного походження). Товщина цього шару становить приблизно 1-2 мм, чого достатньо для стійкості до стирання, ультрафіолетового впливу і вологи. При цьому матеріал залишається дихаючим і легко очищається, що критично для експлуатації в громадському транспорті, де висока інтенсивність використання. Екошкіра створює тактильно приємну поверхню, при цьому виключаючи Використання натуральної шкіри тваринного походження, що робить виріб більш етичним і екологічним.



Рисунок 3.3 – варіант кольорів екокожи

Середній м'який шар подушки відповідає за амортизацію і комфорт при сидінні. У даній конструкції він виконаний з міцелію грибів з додаванням натуральних волокон, таких як конопля (малюнок 3.4). Товщина шару становить близько 15-20 мм, що дозволяє домогтися гарного розподілу тиску і підтримки тіла без провалювання. Міцелій-інноваційний і повністю біорозкладаний матеріал-здатний приймати задану форму в процесі вирощування, не вимагаючи складних форм або шкідливих каталізаторів. Додаткові властивості, такі як антибактеріальність і висока повітропроникність, особливо важливі для тривалої експлуатації в замкнутих салонах транспорту.



Рисунок 3.4 – Міцелій з волокнами коноплі

Нижній, структурний шар виконує підтримуючу функцію і забезпечує жорсткість всієї подушки. Він виготовляється з біокомпозиту, що

складається з того ж матеріалу що і каркас сидіння (рисунок 3.5). Товщина цього шару варіюється від 3 до 5 мм. Біокомпозит здатний сприймати навантаження від пасажирів і рівномірно передавати її на каркас сидіння. Приєднання подушки до каркасу сидіння виробляють за допомогою кріплення засувного типу.



Рисунок 3.5 – PA6/HEMP 30

Зразок для подушки складається з шарів наведених матеріалів представлений на рисунку 3.6

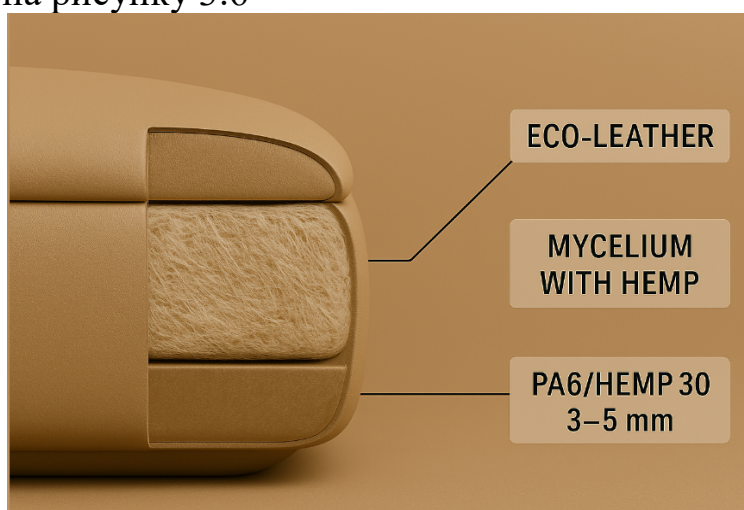


Рисунок 3.6 – Вид подушки у розрізі

3.2 Технологія виготовлення об'єкта моделювання

3.2.1 Технологія виготовлення сидінь

Для виготовлення сидіння необхідно створити оснастку для лиття, контур якої повторює форму сидіння. Сучасні технології дають змогу за допомогою 3D CAD-, CAM-програм спроектувати просторову форму сидіння, за цією формою спроектувати технологічне оснащення для лиття, завантажити геометричні дані в багатофункціональний фрезерний ЧПУ-центр, який виготовить технологічну форму для лиття.

Для виготовлення деталей сидіння необхідна сировина у вигляді грануляту з компонентів поліаміду та волокон конопель.

Волокна конопель проходять попередню обробку (механічне або хімічне очищення). Поліамід і конопляне волокно ретельно сушать для зниження вологості та поліпшення адгезії з матрицею. Температура сушіння становить 80-90 °С, а тривалість процесу - 4-8 годин. Вологість має бути не більше 0,1%, щоб уникнути дефектів від деградації під час плавлення.

Підготовлені компоненти надходять у камеру для змішування, потім, через завантажувальну лійку подаються в екструдер, де при високій температурі поліамід розплавляється, а волокна конопель рівномірно розподіляються по полімерній матриці. Температура процесу повинна проводитися при температурі 230-260 °С для уникнення руйнування волокон. Розплавлений композит виходить з екструдера за допомогою шнека через фільтр у вигляді ниток або смуг, які потім охолоджуються у воді або повітряним способом. Після охолодження матеріал ріжеться на гранули з розміром від 2 до 5 мм.

Наступним етапом є формування виробу. Один із найпоширеніших методів - лиття під тиском. В обладнання засипають гранули біокомпозиту в зону пластикації, де за температури 230-260°C вони розплавляються. Далі матеріал надходить у подавальний циліндр, температура якого підтримує матеріал у розплавленому вигляді. Із циліндра матеріал впорскується за тиску 800-1200 бар у форму для заливки. Температура форми підтримується в межах 60-90 °С. Час витримки під тиском і

охолодження залежить від товщини деталі і коливається в межах від кількох секунд до хвилини. Перегрів матеріалу може призвести до погіршення властивостей і зміни кольору.

Після охолодження і вилучення з форми, вилівок проходить доопрацювання: проводиться обрізка країв, видаляються литники, задирки. Далі проводиться відпал для зняття внутрішніх напружень. Наступним етапом проводиться механічна обробка, під час якої створюються місця для кріплення сидінь.

3.2.2 Технологія виготовлення кронштейна

Кронштейн являє собою роз'ємну металоконструкцію, що складається з деталей листового прокату, з'єднаних між собою болтовими з'єднаннями.

До складу кронштейна входять - “основа”, “опора велика”, “опора мала”, “нижній пояс”, болти класу міцності 8.8, шайби типу Nordlock, гайки-заклепки Vöhlhoff.

Контур деталей “основа”, “основи” і “нижній пояс” виготовляються зі сталі марки 09Г2С за допомогою термічного різання. Остаточне формоутворення проводиться методом вільного згинання.

Термічне різання здійснюється на високоточних лазерних ЧПУ-верстатах (рисунок 3.7), які дають змогу виготовляти деталі високої точності з дотриманням заданих геометричних параметрів, точного позиціонування отворів і технологічних вирізів, створювати кромку різку з досить високим параметром шорсткості.



Рисунок 3.7 – Лазерних ЧПУ-верстатах для термічного різання

Це особливо важливо для подальшого сполучення деталей на етапі складання.

У програму верстата заноситься контур вирізаної деталі у форматі dxf (рисунок 3.8), виконаний з урахуванням подальшого згинання деталі на підставі положення нейтрального шару в місцях згину.

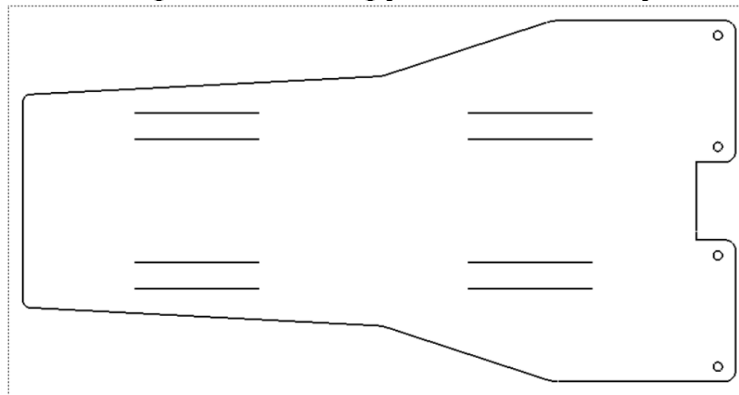


Рисунок 3.8 – Контур вирізаної деталі

Точність виконання різання на лазерних ЧПУ-верстатах відповідає класу точності mK згідно з ДСТУ ISO 2768-1-2001.

Подальше формоутворення деталей проводиться на листозгинальних ЧПУ-пресах (Рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Листозгинальний ЧПУ-прес

У програму верстата задається матеріал, профіль згину, товщина матеріалу і внутрішній радіус згину. Точність згинання деталей на ЧПУ-пресах відповідає класу точності cL згідно з ДСТУ ISO 2768-1-2001.

Основа являє собою П-подібну форму з додатковими фланцевими відгинами. Для приєднання за допомогою болтів до стінки транспортного засобу у фланцевих відгинах виконуються отвори. На вертикальних стінках і верхній полиці виконуються отвори для встановлення гайок-заклепок, які є заставними елементами для монтажу «опора» до «основи». Додатково виконуються отвори для конвекції повітря від опалювальних приладів, які встановлюються всередині контуру деталі.

Опори являють собою однаковий гнучий профіль із горизонтальним майданчиком, який має спиратися на деталь «основа», і вертикальними полицями, що прилягають до стінок деталі, що сполучається. Для кріплення «Опор» до «основи» в горизонтальному майданчику і полицях виконуються наскрізні отвори для болтового з'єднання. Додатково в горизонтальному майданчику виконуються отвори для кріплення сидінь. «Опори» виконуються двох типорозмірів - мала і велика.

«Нижній пояс» являє собою гнуту листову деталь, що повторює поздовжній нижній контур деталі основа з відігнутими полицями, на яких розташовані отвори під гайки-заклепки для кріплення з сполучуваною

деталлю “основа”.

Діаметр наскрізних отворів під кріпильні деталі встановлюються за другим рядом згідно з ДСТУ ГОСТ 11284. Отвори під гайки-заклепки встановлюються відповідно до рекомендацій виробника.

Встановлення гайок-заклепок проводиться відповідно до рекомендацій виробника відповідним інструментом (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Прилад для встановлення гайок-заклепок

Для запобігання корозії всі поверхні деталей покриваються захисним шаром порошкової фарби 90 мкм. Перед фарбуванням різьбові поверхні гайок-заклепок закриваються для запобігання потрапляння покриття.

Збирання всіх елементів в єдину конструкцію проводиться в довільному порядку за допомогою болтів, під головки яких встановлюються шайби Nordlock. Ці шайби служать для запобігання самовідгвинчування болтів. Момент затягування болтів встановлюється за найменшими рекомендованими показниками виробників кріпильних деталей. Момент затягування болтів кріплення кронштейна до стіни встановлюється за результатами розрахунку міцності.

3.3 Утилізація

Утилізація і переробка деталі металевого кронштейна, виготовленого зі сталі 09Г2С, являють собою один з найбільш стійких процесів у

промисловій екосистемі. Ця низьковуглецева легована сталь має високий ступінь придатності до повторного перероблення. Після закінчення терміну служби виробу кронштейни демонтують і направляють на збір металобрухту. На металургійних підприємствах вони проходять етапи сортування, очищення і плавлення. У процесі переплавлення зберігаються основні механічні властивості матеріалу, що дає змогу використовувати отриманий вторинний метал у виробництві нових конструктивних деталей. Така замкнута переробка дає змогу економити природні ресурси, знижувати енерговитрати та мінімізувати викиди вуглекислого газу. Єдині потенційні складнощі пов'язані з видаленням кріпильних елементів і забруднень, як-от фарба, мастила або корозійні сліди, проте в масштабах переробки це вважається незначною проблемою.

Переробка та утилізація сидінь, виготовлених з матеріалу РА6/НЕМР 30, являє собою комбінований процес, що враховує як властивості полімеру (поліамід-6), так і рослинного наповнювача (конопляного волокна). Цей біокомпозит допускає вторинну переробку.

На першому етапі переробки демонтовані сидіння проходять механічне подрібнення. Після попереднього сортування і видалення металевих деталей (якщо вони є), матеріал подрібнюється на фракції, придатні для повторного використання. Цей спосіб відомий як механічна рециклізація. Отримана сировина може бути повторно використана, особливо якщо йдеться про виробництво технічних деталей невисоких вимог. Тому вторинне застосування РА6/НЕМР 30 частіше можливе в менш навантажених конструкціях, наприклад, в елементах внутрішнього облицювання або упакувці.

Що стосується утилізації, у разі, якщо переробка неможлива або економічно недоцільна, такі сидіння можуть бути спрямовані на енергетичну утилізацію (спалювання з рекуперацією тепла). У цьому процесі поліамід згорає з виділенням енергії, а рослинне волокно не залишає токсичних залишків. Однак сам поліамід під час згорання може виділяти азотовмісні сполуки, тому процес має проходити в установках із системою очищення викидів.

Повне біорозкладання матеріалу неможливе, оскільки поліамід-6 - це синтетичний термопласт, який не піддається мікробіологічному руйнуванню. Волокна конопель можуть розкладатися в природному середовищі, але зв'язка з полімерами перешкоджає цьому процесу. Таким чином, РА6/НЕМР 30 не є біорозкладним матеріалом, але він значно зменшує навантаження на навколишнє середовище порівняно з аналогічними матеріалами створеними на матриці вугілля або скловолокна завдяки вмісту відновлюваної сировини.

3.4 Висновки за розділом

У межах інженерно-технологічного розділу обґрунтовано доцільність використання біокомпозитного матеріалу РА6/НЕМР 30 для виготовлення сидіння електротранспорту. Цей матеріал поєднує достатню міцність, термостійкість та екологічність, також він більш економічний в порівнянні з полімерами на основі матриці з скловолокна. Водночас він потребує додаткових досліджень на вогнестійкість.

Для деталей кронштейна обрано традиційна сталь, яка використовується в подібних конструкціях, з оптимальними параметрами міцності, жорсткості і стійкості до напружень та деформацій. Її обробка здійснюється сучасними технологіями: лазерним різанням, згинанням і механічною обробкою, що забезпечує точність і надійність конструкції.

Наведені матеріали придатні до вторинної переробки.

4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Контроль якості

Конструкція виробів рейкового транспортного засобу має бути спрямована на обмеження розвитку пожежі в разі виникнення загоряння, щоб забезпечити необхідний рівень безпеки. Трамвай, як рейковий транспортний засіб, згідно з ДСТУ EN 45545-1:2017 належить до другої категорії експлуатації (транспортні засоби можуть використовуватися в тунелях і на естакадах; є можливість бічної евакуації; евакуація до безпечного місця відбувається за короткий час руху), стандартної категорії конструкції N, класифікації за рівнем небезпеки - HL2. Згідно з ДСТУ EN 45545-2:2022 про пожежну безпеку корпус (подушка і спинка) сидіння повинні відповідати вимогам вогнестійкості R6, оббивка - вимогам вогнестійкості R21. Методи випробувань згідно з таблицею 4.1

Таблиця 4.1 – Методи випробувань пожежостійкості

Вимоги	Метод випробувань	Розмірність	Результат	Примітки
R6	T03.01 ДСТУ ISO 5660-1:2018	MARHE, кВт/м ² , (max)	90	Тепловий потік 50 кВт/м ² Час випробування 20 хв Інтервал збирання даних 2 с
	T10.01 ДСТУ EN ISO 5659-2:2018	D _s (4), (max)	300	Тепловий потік 50 кВт/м ² Час випробування 10 хв
	T10.02 ДСТУ EN ISO 5659-2:2018	VOF ₄ , (max)	600	Тепловий потік 50 кВт/м ² Час випробування 10 хв
	T11.01 ДСТУ EN ISO 5659-2:2018	CIT _G , (max)	0,9	Тепловий потік 50 кВт/м ² Час випробування 10 хв
R21	T03.02 ДСТУ ISO 5660-1:2018	MARHE, кВт/м ² , (max)	50	Тепловий потік 25 кВт/м ² Час випробування 20 хвилин Інтервал збирання даних 2 с
	T10.03 ДСТУ EN ISO 5659-2:2018	D _s max, (max)	300	Тепловий потік 25 кВт/м ² Час випробування 10 хв
	T11.02 ДСТУ EN ISO 5659-2:2018	CIT _G , (max)	0,9	Тепловий потік 25 кВт/м ² Час випробування 10 хв

MARHE - максимальна середня швидкість тепловиділення.

D_s(4) - оптична щільність у випробувальній камері через 4 хвилини після початку випробування, помножена на коефіцієнт, що залежить від приладу та розміру зразка.

D_smax - максимальна оптична щільність у тестовій камері.

VOF₄ - сумарне значення питомої оптичної густини за перші 4 хв випробування.

CIT - конвенційний індекс токсичності

Після випробування на конусному калориметрі відповідно до ISO 5660-1 (T03.01 і T03.02) зразку, що випробовується, необхідно дати можливість охолонути, а потім обережно підіймати, використовуючи тільки краї зразка, зберігаючи горизонтальне положення зразка. у горизонтальному положенні. Має бути не більше одного отвору. Цей отвір не повинен мати розмір у площині випробовуваного зразка більше 3 мм.

Контроль якості на підприємстві з виробу листового прокату

Листовий прокат приймають партіями. Партія прокату, виготовленого зі слябів, отриманих на машинах безперервного лиття заготовок, повинна складатися з прокату однієї марки сталі, однієї товщини, одного режиму термічного або зміцнювального оброблення; партія прокату зі злитків — крім того, з однієї плавки-ковша. Розмір партії прокату зі слябів, отриманих на машинах безперервного лиття заготовок методом «плавка на плавку», не повинен перевищувати 350 т, а зі слябів, отриманих окремими плавками, — маси плавки.

Кожну партію перевіряють на якість за хімічним складом, фізичними властивостями, стану поверхні та на відсутність неприпустимих внутрішніх дефектів.

Відбір проб для механічних та технологічних випробувань проводять згідно з ДСТУ ISO 377:2014 (рис. 4.1). Обсяг вибірки для перевірки якості становить два листи з партії прокату

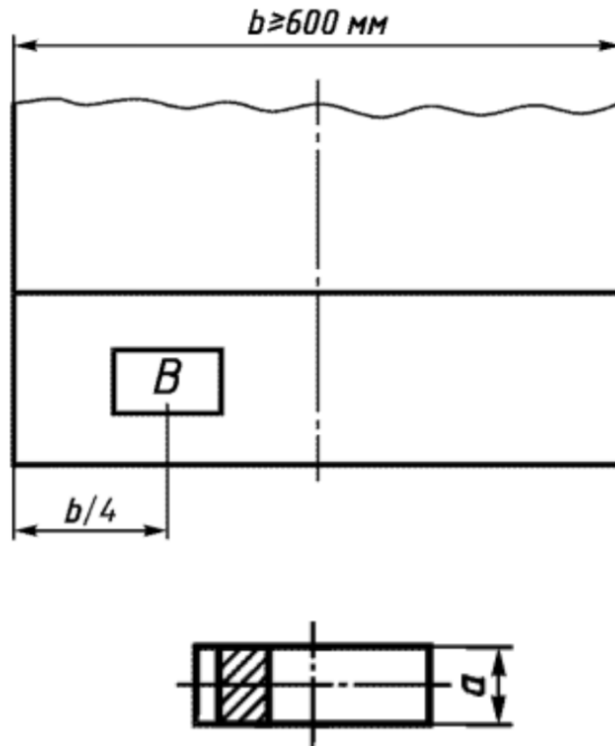


Рисунок 4.1 – Відбір проб для механічних та технологічних випробувань:

B – місце відбору проб; a – товщина прокату

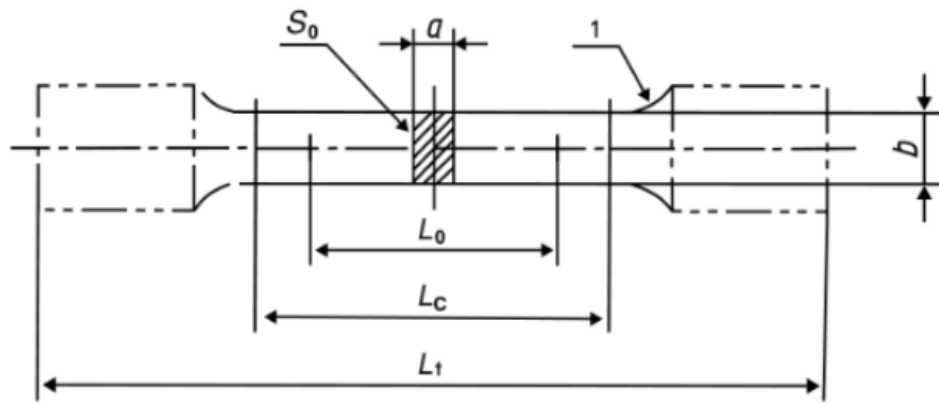
Для проведення випробувань від кожної відібраної одиниці прокату відбирають:

- один зразок – для випробувань на розтяг;
- три зразки – на ударний згин з концентратором виду U ;
- три зразки – на ударний згин з концентратором виду V ;
- один зразок – для випробування на згин.

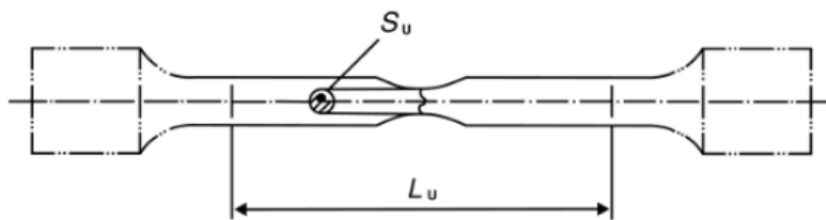
Зразки для випробувань листів, крім зразків для випробувань на ударний згин з концентратором виду V , вирізають поперек напрямку прокатування. Зразки для випробувань на ударний згин з концентратором виду V вирізають вздовж напрямку прокатування.

Випробування на розтягнення проводять згідно з ДСТУ EN 10002-1

Суть цього випробування полягає в тому, що зразок розтягують завдяки прикладанню розтягувального зусилля, в основному до розірвання, щоб установити характеристики механічних властивостей: відносне видовження, умовну межу плинності, граничне значення напруження.



До випробування



Після випробування

Рисунок 4.2 – Випробування на розтягнення

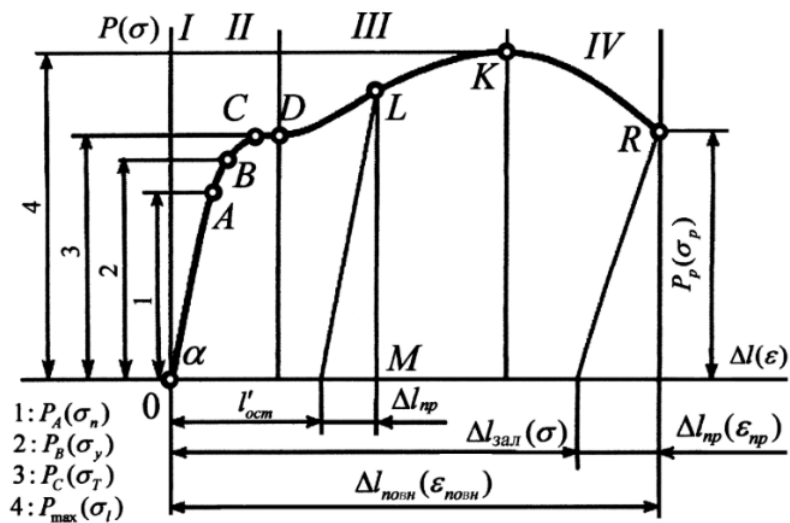


Рисунок 4.3 – Межа плинності матеріалу

Отримані результати вносять до протоколу випробувань

Випробування на ударний згин проводять згідно з ДСТУ EN 10045-1

Під час випробування зразок з надрізом, який лежить посередині на двох контропорах, руйнується одним ударом маятника. В результаті

випробовування визначають повну роботу, затрачену під час удару (роботу удару) у джоулях. Ця витрачена робота удару є мірою тривкості матеріалів проти ударного навантаження.

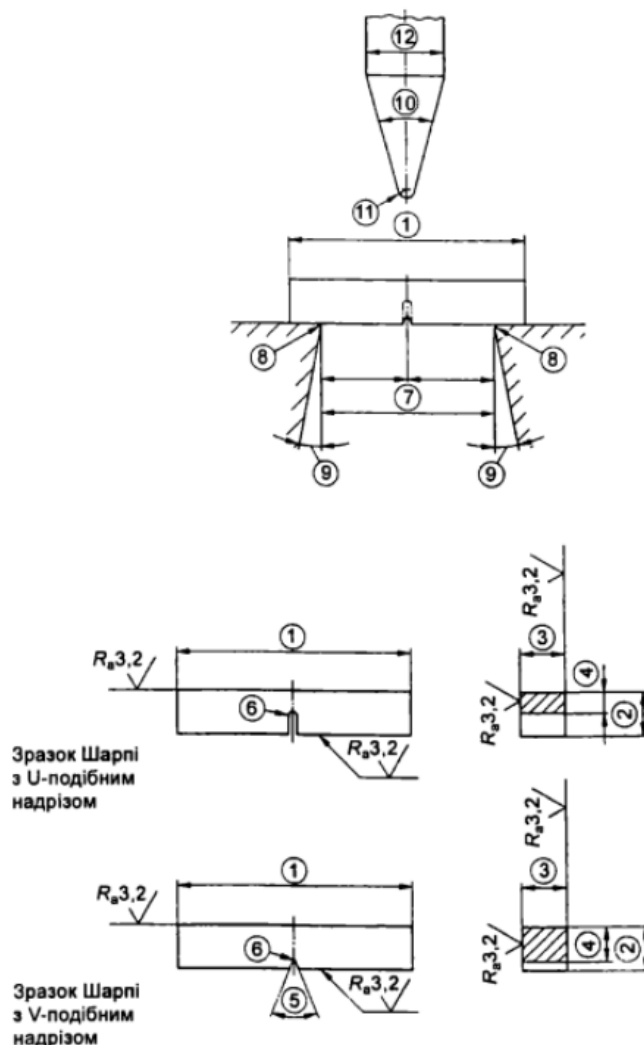


Рисунок 4.4 – Випробування на ударний вигин за Шарпі:

- 1 - довжина зразка; 2 - висота зразка; 3 - ширина зразка; 4 - висота від дна надрізу; 5 - кут надрізу; 6 - радіус надрізу; 7 - розмір відносно контропор; 8 - радіус закруглення контропор; 9 - задній зріз контропор; 10 - кут клиновидного бійчика; 11 - радіус закруглення ударної крайки бійчика; 12 - товщина диска молота.

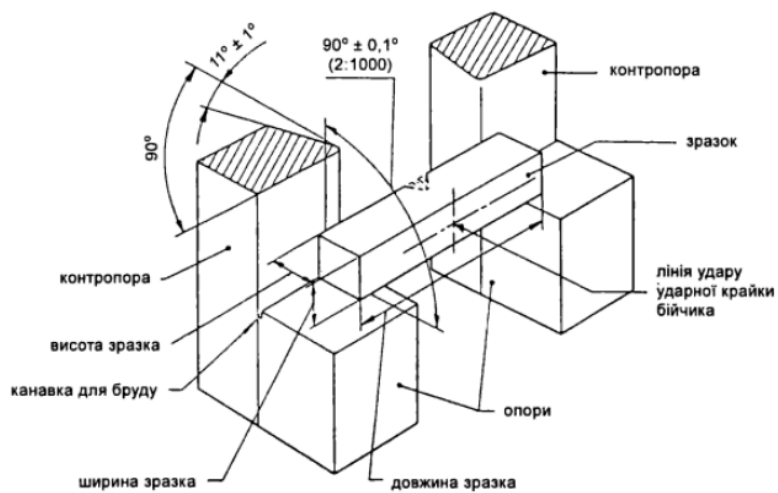


Рисунок 4.5 – Розміщення зразка, опор, контропор

Під час випробування прокату на ударний згин значення ударної в'язкості на двох зразках, а також середнє значення на трьох зразках мають бути не нижчі встановлених норм; на одному зразку допустимо зниження значень ударної в'язкості не більше ніж на 30 %.

В протоколі випробувань зазначається затрачена робота удару KV або KU в Дж.

Випробування на згин проводять згідно з ДСТУ ISO 7438

Випробування на згинання полягає в тому, що зразок піддається пластичній деформації згинанням без зміни напрямку прикладення зусилля до досягнення заданого кута згину. Пристрої для випробування на згинання схематично представлені на рисунках 4.6 та 4.7.

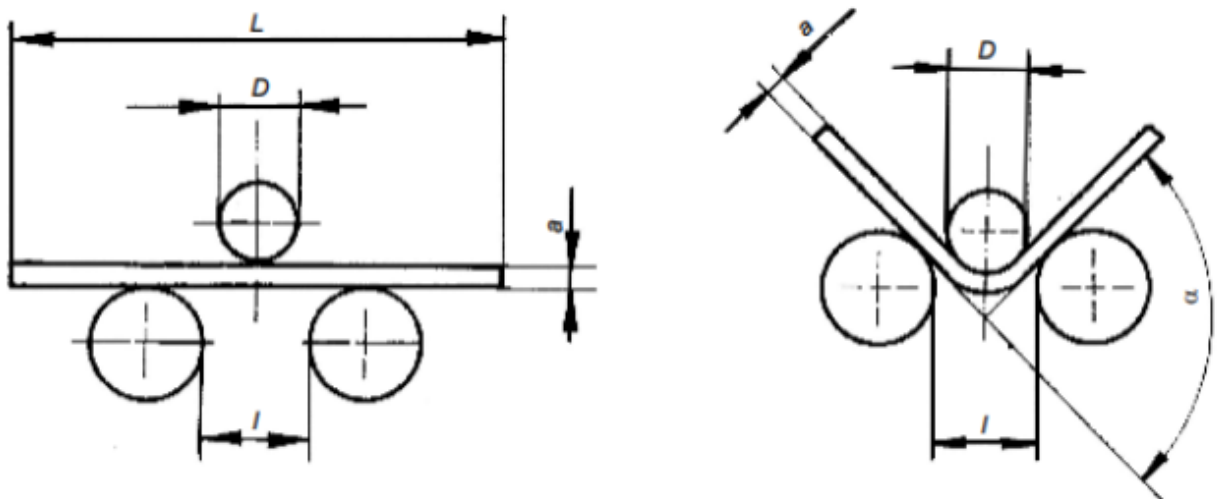


Рисунок 4.6 - Пристрій для згинання з двома опорами і оправкою

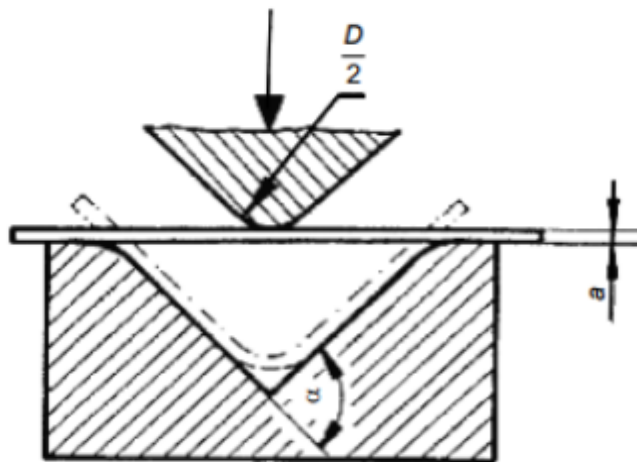


Рисунок 4.7 - Пристрій для згинання з V-подібною опорою і оправкою

Оцінка результатів випробовування на згинання - відсутність тріщин, видимих без засобів збільшення, вважається свідомством того, що зразок витримав випробовування на згинання.

Контроль суцільності прокатних листів проводять згідно з ДСТУ 8818:2018

Ультразвуковий контроль (УЗК) ґрунтується на розповсюдженні ультразвукових хвиль у контрольованому об'єкті та спостереженні сигналу, що пройшов або відбився від поверхні несуцільності (метод проходження), або сигналу, відбитого від будь-якої поверхні чи неоднорідності (метод відбивання). УЗК застосовується для виявлення несуцільностей типу розшарувань, скупчень неметалевих включень, закатів, відшарування плакувального шару та визначення їх умовних або еквівалентних розмірів.

Ультразвуковий контроль здійснюється за допомогою ультразвукового приладу (дефектоскопу) та перетворювача сигналу (рис. 4.8)



Рисунок 4.8 – Ультразвуковий прилад (дефектоскоп)

Основні контрольовані характеристики суцільності листового прокату:

- чутливість контролювання;
- умовні площі несучільностей:
 - а) рівень реєстрування ($S1$, см^2);
 - б) рівень оцінювання ($S2$, см^2);
- умовна площа максимально допустимої зони несучільності ($S3$, см^2);
- відносна умовна площа (S відсотків), визначувана часткою площі, займаної несучільностями всіх видів ($S1$, $S2$, $S3$), на будь-якій квадратній ділянці поверхні одиниці листового прокату площею 1 м^2 ;
- максимально допустима умовна протяжність несучільностей (L , мм).

Несучільності можна класифікувати як точкові, протяжні, окремі, скупчення на рисунках (рис. 4.9-4.12).

Вважається, що дві прилеглі несучільності являють собою одну несучільність, площа якої дорівнює сумі двох, якщо відстань між ними менша або дорівнює довжині меншої з двох несучільностей.

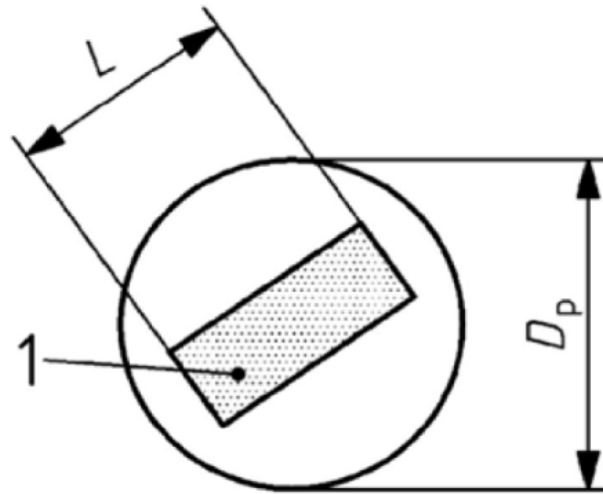


Рисунок 4.9 – Точкова несутцільність ($L \leq D_p$):

1 – умовний контур несутцільності; D_p – ширина ультразвукового пучка на глибині розташування несутцільностей; L – умовна довжина несутцільності;

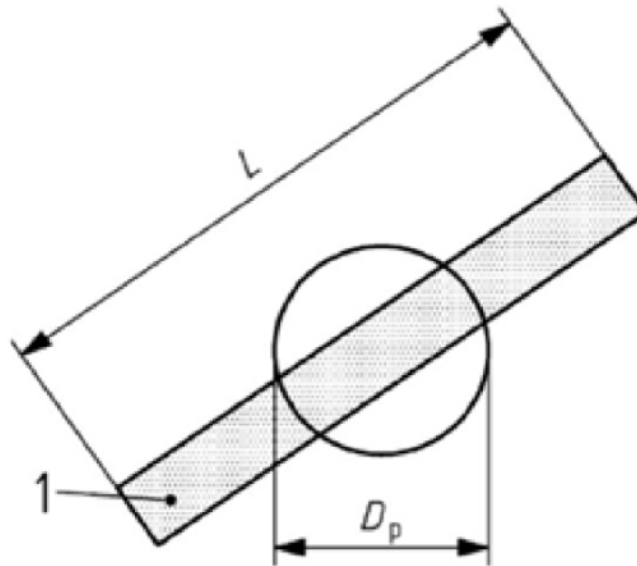


Рисунок 4.10 – Протяжна несутцільність ($L \geq D_p$):

1 – умовний контур несутцільності; D_p – ширина ультразвукового пучка на глибині розташування несутцільностей; L – умовна довжина несутцільності;

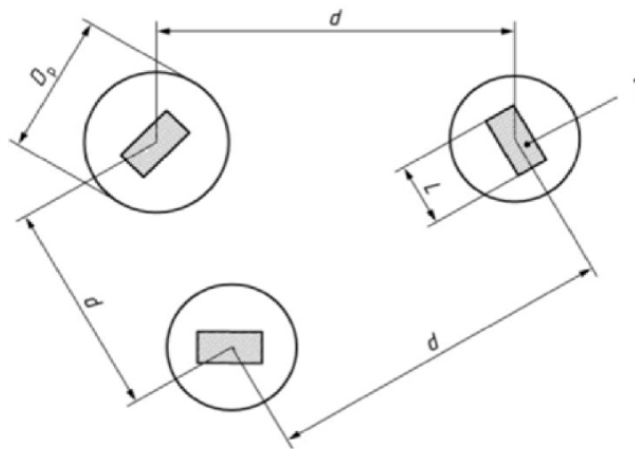


Рисунок 4.11 – Скупчення точкових несутцільностей ($L \leq D_p$, $d \leq 40$ мм):
 1 – умовний контур несутцільності; D_p – ширина ультразвукового пучка на глибині розташування несутцільностей; L – умовна довжина несутцільності;
 d – відстань між двома несутцільностями;

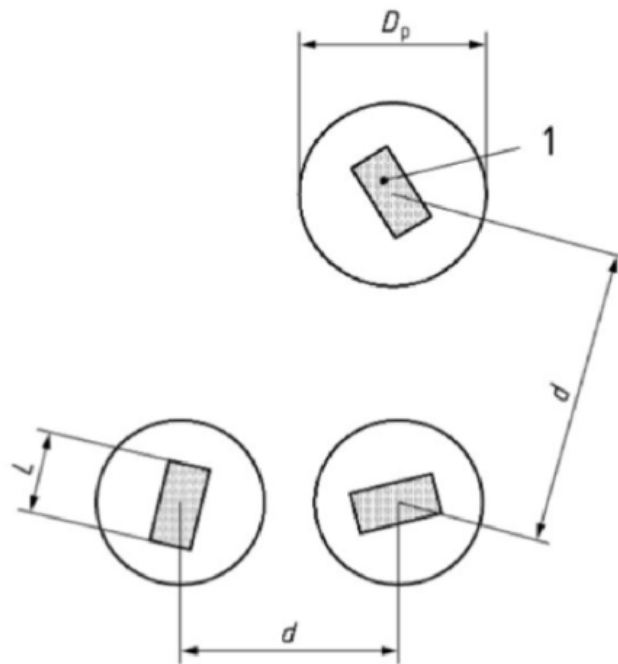


Рисунок 4.12 – Скупчення точкових несутцільностей ($L \leq D_p$, $d \leq 40$ мм):
 1 – умовний контур несутцільності; D_p – ширина ультразвукового пучка на глибині розташування несутцільностей; L – умовна довжина несутцільності; d – відстань між двома несутцільностями;

Критерії приймання для контролю листового прокату згідно класу суцільності 01 для рейкових транспортних засобів.

Таблиця 4.2 – Контроль листового прокату

Допустимі одиничні несучільності, мм ²	Допустимі групові несучільностей	
	Площа, що враховується, мм ²	Максимальна щільність, не більше
S<50	20<S≤50	10 у найбільш заповненому квадраті розміром 1 м x 1 м

Вимоги до поверхні листового прокату згідно до ДСТУ 8803:

1) На поверхні прокату не повинно бути рванин, наскрізних розривів, розкачаних пригару й кірок, а також пузирів здуття, гармошки, тріщин, плен, забруднень і вкатоної окалини. Допустимі відокремлені дефекти (рябизна, риси, пузири тощо), які не виводять прокат за граничні розміри.

2) Усунення поверхневих дефектів прокату всіх товщин проводять зачищенням, площу якого не обмежено. Зачищення проводять абразивним інструментом або способами, що не спричиняють змін властивостей прокату.

3) У разі видалення дефектів поверхні прокату зачищенням не допустимо зменшення товщини прокату понад мінусове граничне відхилення. Площу зачищеної ділянки поверхні прокату не регламентують.

4) У разі збігу місць зачищення на обох боках прокату допустиму глибину зачищення визначають як суму глибини зачищення на кожному боці прокату, яка не перевищує граничного відхилення за товщиною.

5) Поверхня зачищеної ділянки не повинна мати гострих крайок і має плавно переходити в прилеглу поверхню прокату.

Після всіх випробувань, в якості супровідної документації, до партії поставки сталевих листового прокату додається сертифікат якості ДСТУ EN 10204-3.1 (рис. 4.13).



QUALITY CERTIFICATE / MATERIAL TEST CERTIFICATE
(CERTIFICATE ACC TO BS EN 10204/3.1)

CUSTOMER: IMEQUIPOSIMETAN S.A.S
Vereda Vuelta Grande PD San Rafael
Km 2.5 Via Bogota-Cota Bod.2 ZF Metropolitana
NIT 830.060.602-1
TEL : +57-1-8759251

T.C No: JL210223-CO/2020
ISSUE DATE : 08/03/2021
PACKING : 15KGS PLASTIC SPOOL

Product & Classification	Size	Quantity	Heat No.	Chemical Composition (%)										
				C	SI	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Cu	
E71T-1	1.2mm	8640 KGS	Y210225	0.054	0.47	1.25	0.013	0.015	0.021	0.021	0.009	0.022	0.020	

Product & Classification	Size	Quantity	Heat No.	Typical Mechanical Properties			Impact Test			
				Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)	Test Temp. (°C)	Impact Value (J)		
E71T-1	1.2mm	8640 KGS	Y210225	570	464	26	-20	118		

REMARKS: * OUR DA NO : 230223
* CUSTOMER ORDER NO : JL210308-CO/2021
* MATERIAL CONFIRMS TO ASME SFA 5.36
* SFA 5.36 AND AWS CLASSIFICATION A5.36

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED HERE IN HAS BEEN MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE CUSTOMER'S REQUIREMENTS, NEEDS AND EXPECTATIONS. MECHANICAL TEST RESULTS ARE TAKEN RANDOMLY FROM THE LOT

DOC.: QR/INSP/15/REV 2

Рисунок 4.13 – Сертифікат якості сталевого листового прокату

У цьому сертифікаті вказано вид поставки, марку сталі, номер плавки, хімічний склад, механічні властивості, величину вуглецевого еквівалента CEV, результат випробувань на ударну в'язкість, результати неруйнівних методів контролю, результати геометричних параметрів прокату та іншу загальну інформацію для замовлення.

Контроль якості при виготовленні деталей та вузлів

Під час виготовлення деталей методом лазерного різання (один із видів термічного різання) на верстатах ЧПУ важливим процесом для забезпечення якості є юстування і встановлення режимів різання. Під юстуванням розуміють процес вирівнювання і налаштування, спрямований на забезпечення правильної роботи пристрою. До режимів різання можна віднести швидкість різання, потужність лазера, фокусну відстань. Від правильного налаштування верстата і завдання режимів різання залежить точність виготовлення деталей і якість поверхні різання (допуск перпендикулярності, середня висота профілю або шорсткість).

Згідно з ДСТУ EN ISO 9013:2019 для контролю якості поверхонь різь використовується простий вимірювальний інструмент із точністю вимірювання 0,1 - 0,2 мм: робочий косинець першого або другого класу точності, кутовий шаблон чи косинець із попередньо встановленим номінальним кутом, глибиномір із вимірювальним стрижнем, вимірювальний щуп. Для визначення прямолінійності різь використовується рояльна струна діаметром не більше 0,5 мм. Для визначення лінійних розмірів використовується штангенциркуль, рулетка (рис. 4.16-а, б) На рисунку 4.14 представлено стандартну якість різь, одержувану за допуску перпендикулярності.

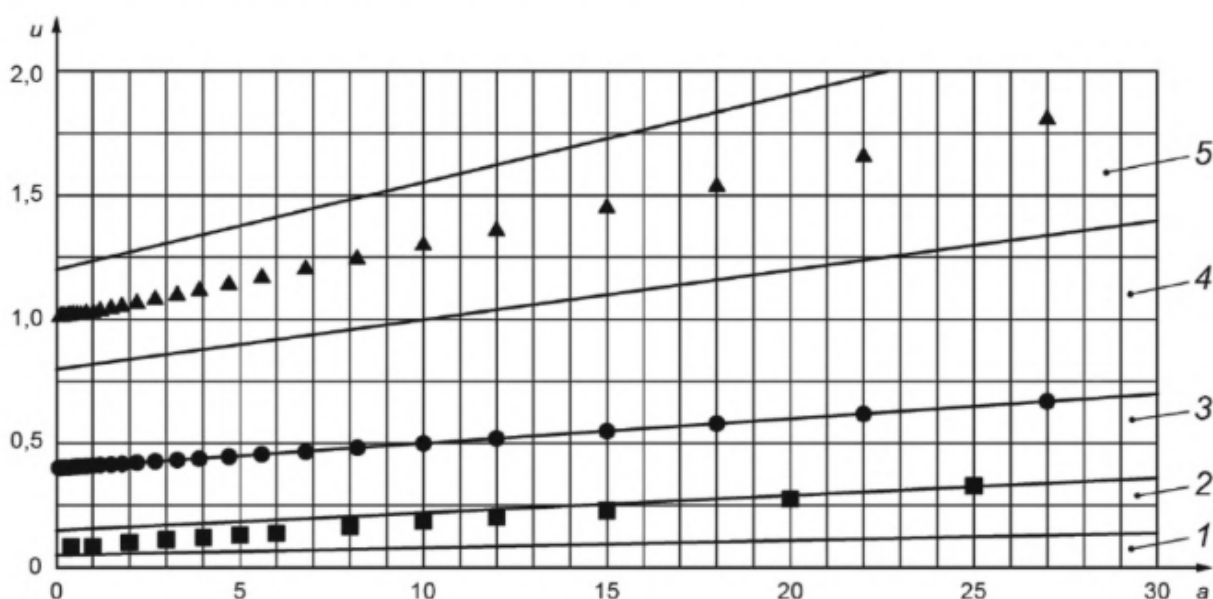


Рисунок 4.14 – Стандартна якість різь:

1-5 - діапазон значень; u - допуск перпендикулярності, мм; a - товщина металу, мм; ■ - лазерне різання; ▲ - плазмове різання; ● - кисневе різання.

На рисунку 4.15 представлено стандартну якість різь, одержувану за середньої висоти профілю нерівності (шорсткості)

Граничні відхилення номінального допуску на розміри класу 1 (для лазерного різання) згідно з таблицею 6 ДСТУ EN ISO 9013:2019.

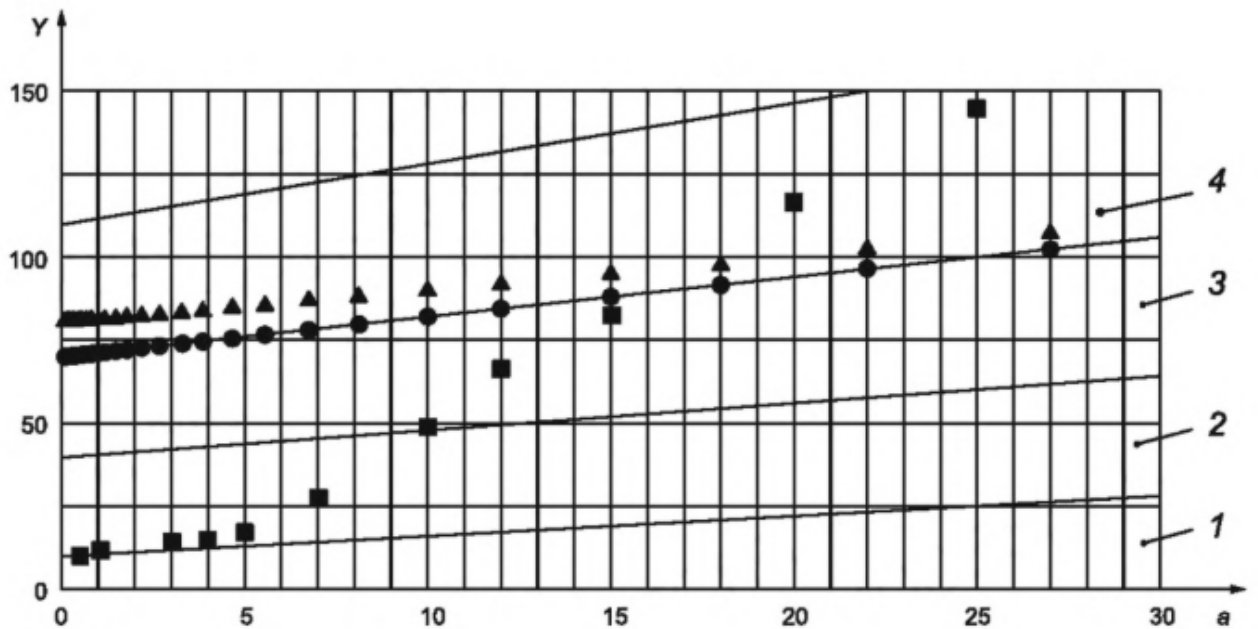


Рисунок 4.15 – Стандартну якість різання, одержувана за середньої висоти профілю нерівності:

1-5 - діапазон значень; у - параметр шорсткості, мкм; а - товщина металу, мм; ■ - лазерне різання; ▲ - плазмове різання; ● - кисневе різання



а



б

Рисунок 4.16-а,б – Прилади для вимірювання лінійних розмірів

Граничні відхилення номінального допуску на розміри класу 1 (для лазерного різання) згідно з таблицею 6 ДСТУ EN ISO 9013:2019.

Контроль згинання листового металу є важливою частиною процесу забезпечення якості при виробництві деталей. Цей процес впливає на точність форми та функціональність готового виробу. Основна мета цього етапу - знайти дефекти або різні відхилення, які можуть виникнути під час згинання, і перевірити, чи відповідає виріб технічним вимогам. Спочатку перевіряються геометричні параметри, такі як кут вигину, радіус кривизни та точність розмірів. Для цього використовуються різні вимірювальні інструменти: шаблони, транспортири або цифрові вимірювальні машини. Важливо, щоб форма і розміри були правильними, особливо якщо деталь буде частиною складальної конструкції. Крім того, проводиться візуальний огляд поверхні на предмет наявності дефектів або вад. Для критично важливих конструкцій можуть використовуватися неруйнівні методи контролю, такі як ультразвук або рентген, щоб виявити внутрішні пошкодження в зоні згину. Загалом, контроль згинання листового металу має на меті підвищити якість продукції, зменшити кількість браку та забезпечити довговічність конструкцій. Систематичний контроль допомагає своєчасно виявити і виправити виробничі дефекти.

Контроль перевірки порошкових фарб є важливим етапом для забезпечення якості захисно-декоративного покриття. Порошкові фарби широко використовуються в промисловості завдяки високій стійкості до стирання, антикорозійним властивостям і рівномірності нанесення. Після нанесення і термічного затвердіння (полімеризації) покриття проводиться контроль, який включає візуальний огляд, вимірювання товщини, адгезії, твердості і рівномірності покриття. Одним з основних параметрів є щільність (товщина) шару покриття, яка має безпосередній вплив на захисні властивості і зовнішній вигляд виробу. Занадто тонкий шар не забезпечує достатнього захисту від корозії, в той час як занадто товстий шар може потріскатися або відшаруватися. Для вимірювання товщини порошкового покриття використовуються спеціалізовані інспекційні інструменти: Магнітні товщиноміри використовуються для вимірювання покриття на сталевих поверхнях. Принцип дії заснований на зміні магнітного опору між зондом приладу і металеву підкладкою через

шар покриття.

Ультразвукові товщиноміри - це універсальні прилади для вимірювання на будь-яких поверхнях, включно з неметалевими матеріалами. Принцип роботи полягає в реєстрації часу проходження ультразвукового імпульсу через покриття. Контрольні зразки - використовуються для перевірки налаштувань приладу перед фарбуванням. Це дає змогу переконатися, що покриття відповідає заданим стандартам. Регулярний контроль щільності порошкового покриття не тільки допомагає уникнути помилок, а й знижує витрату фарби та забезпечує довговічність готової продукції. Правильно підібрані інструменти та методи контролю - запорука стабільної якості продукції.

4.2 Висновки за розділом

У цьому розділі було проведено дослідження з сертифікації та обрано національні стандарти, за допомогою яких можна дізнатися контроль якості виготовлення деталей.

Було визначено за допомогою якого обладнання проходить перевірка якість лазерного різку, згину на ЧПУ-пресах, якість покриття порошковою фарбою та якість листового прокату.

Проведено дослідження перевірки якості матеріалу на пожежостійкість та методи проведення контролю перевірки.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз конструкцій і матеріалів пасажирських сидінь.

Виконано функціонально-вартісний аналіз сидінь та елементів його кріплення, обрано важливі деталі конструкції та способи їх оптимізації.

Проведено антропометричні дослідження різних вікових груп для створення ергономічної складової виробу.

Обґрунтовано вибір екоматеріалів для покращення впливу на навколишнє середовище та зниження вуглецевого сліду не поступаючись фізичними властивостями звичайним матеріалам. Було вибрано матеріал РА6/HEMP 30 Армований волокном коноплі за його фізичні характеристики та екологічність та здасність для переробки.

Побудовано 3D-модель сидяння то його кріплення.

Перевірено 3D-модель констпукції на міцність та жорсткість. Результати досліджень показали надійність та довговічність конструкції.

Обрано технологію виготовлення та переробки сидінь та елементів його кріплення.

Описано методи сертифікації та контролю якості пасажирського сидіння та його елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пісаренко Г.С та ін. Опір матеріалів: Підручник - К.: Вища школа, 2004. - 655 с.
2. Колосов Д.Л. Опір матеріалів у прикладах та завданнях: навч. посібник. / Д.Л. Колосов, В.Я. Кіба ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т “Дніпровська політехніка“. – Дніпро : НТУ “ДП”, 2021. – 106 с.
3. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Ергономіка і технічна естетика» для студентів спеціальності 132 Матеріалознавство / К.А. Зіборов, Т.О. Письменкова, О.М. Твердохліб, І.В. Вернер – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. – 39 с.
4. ДСТУ 4070:2019 Вагони трамвайні пасажирські. Вимоги щодо пасивної безпеки.
5. ДСТУ 4224:2003 Трамвайні вагони. Системи гальмівні. Загальні технічні вимоги.
6. ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови.
7. ДСТУ 8803:2018 Прокат товстолистовий з вуглецевої сталі звичайної якості. Технічні умови.
8. ДСТУ 8818:2018 Прокат листовий. Методи ультразвукового контролю.
9. ДСТУ ISO 261:2005 Нарізі метричні ISO загального призначення. Загальні положення.
10. ДСТУ ISO 377:2014 Сталь і сталеві вироби. Розташування та готування проб і випробних зразків для механічного випробування.
11. ДСТУ ISO 724:2005 Нарізі метричні ISO загального призначення. Основні розміри.
12. ДСТУ ISO 898-1:2015 Механічні властивості кріпильних виробів із вуглецевої сталі й легованої сталі. Частина 1. Болти, Гвинти та шпильки. Механічні властивості та методи випробування.
13. ДСТУ ISO 2768-1-2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків.
14. ДСТУ ISO 4014-2022 Болти з шестигранною головкою. Класи

виробу А і В. Технічні умови.

15. ДСТУ ISO 5660-1:2018 Випробування щодо реакції на вогонь. Швидкість тепловиділення, димоутворення та втрати маси. Частина 1. Визначення швидкості тепловиділення методом конусного калориметра та швидкості димоутворення динамічними вимірюваннями.

16. ДСТУ ISO 7438:2005 Матеріали металеві. Випробування на згин.

17. ДСТУ EN 10002-1:2006 Матеріали металеві. Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури.

18. ДСТУ EN 10045-1:2006 Матеріали металеві. Випробування на ударний вигин за Шарпі. Частина 1. Метод випробування.

19. ДСТУ EN 10204:2017 Вироби металеві. Види документів контролю.

20. ДСТУ EN 45545-1:2017 Залізничний транспорт. Протипожежний захист рухомого складу. Частина 1. Загальні положення.

21. ДСТУ EN 45545-2:2022 Залізниці. Протипожежний захист залізничних транспортних засобів. Частина 2. Вимоги до пожежної поведінки матеріалів і компонентів.

22. ДСТУ EN ISO 4042:2022 Кріпильні вироби. Системи гальванічних покриттів

ДСТУ EN ISO 9013:2019 Газове різання. Класифікація. Вимоги до геометричних розмірів та якості.

23. EN 16585-2 Залізничний транспорт. Прикладне проектування для використання особами з обмеженими можливостями пересування (PRM). Устаткування та компоненти рухомого складу. Частина 2. Елементи для положення стоячи, сидячи та пересування.

24. DIN 33402-2 Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte.