

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

«На правах рукопису»  
УДК 629.3.023:027

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ О. А. Охріменко  
(підпис)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і назва)

на тему: Конструкторсько–технологічне забезпечення електричної  
платформи «odі» для людей з інвалідністю  
(комплексна магістерська дисертація)

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МІ-82мп  
(шифр групи)

Бєлїх Віталій Ростиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник проректор, д.т.н., проф., Пасічник В.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ О. А. Охріменко

(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Белих Віталій Ростиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Конструкторсько-технологічне забезпечення  
електричної платформи «odi» для людей з інвалідністю

(комплексна магістерська дисертація)

науковий керівник дисертації Пасічник В.А., д.т.н, професор,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження Інженерний дизайн електричної платформи «odi» для  
людей з інвалідністю

4. Предмет дослідження Параметри конструкції та технологія виготовлення  
системи задньої підвіски

5. Перелік завдань, які потрібно розробити На основі існуючих рішень для  
транспортування людей з інвалідністю створити нове концептуальне рішення  
транспортного засобу; спроектувати систему задньої підвіски платформи та  
провести моделювання її роботи; створити прототип підвіски; підготувати  
пропозицію стартап-проекту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Виготовлення макетів дизайну та ферми підвіски, підготовка презентації

7. Орієнтовний перелік публікацій Теза доповіді на науковій конференції за темою дослідження

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 1.09.2018

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Сучасний стан та перспективи створення електричних платформ для людей з інвалідністю	1.10.2018	
2	Концепція та конструкція	1.01.2019	
3	Технологічне забезпечення виготовлення	1.06.2019	
4	Стартап-проект	1.10.2019	
5	Підготовка презентації, оформлення роботи	10.12.2019	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

В.Р. Бєлих

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

В.А. Пасічник

(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## **АННОТАЦІЯ**

### **Бєлих В.Р. Конструкторсько–технологічне забезпечення електричної платформи «odi» (комплексна магістерська дисертація)**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (інженерний дизайн). Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2019.

На основі аналізу стану питання у сфері транспортування людей з обмеженими можливостями, визначено, що в розвинутих країнах, існують розробки, що дозволяють покращити умови транспортування, у тому числі оснащених електричними приводами руху. Такі технології вже доступні у більшості країн широкому загалу людей з середніми та високим рівнем достатку.

В процесі роботи було створено дизайн транспортного засобу, проаналізовано та спроектовано систему задньої підвіски електричної платформи. Для перевірки отриманих результатів, було проведено комп'ютерну симуляцію підвіски.

Виготовлений у масштабі 1:4 макет ферми задньої підвіски, та макет дизайну електричної платформи.

Ключові слова: обмежені можливості, електрична платформа, проектування, задня підвіска, мотор колесо, адитивні технології.

## **ANNOTATION**

### **Bielykh V.R. Design and technological support of the electric platform «odi» for disabled person (integrated master's dissertation)**

The dissertation for obtaining a master's degree in specialty 131 – Applied Mechanics (engineering design). National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". - Kiev, 2019.

Based on the analysis of the state of the issue in the field of transportation of people with disabilities, it is determined that in developed countries there are developments that can improve transportation conditions, including those equipped with electric movement drives. Such technologies are already available in most countries to a wide range of people with medium and high incomes.

In the process, a vehicle design was created, the rear suspension system of the electric platform was analyzed and designed. To verify the results, a computer simulation of the suspension was carried out.

Made in a 1: 4 scale layout of the rear suspension truss, and the layout design of the electric platform.

Keywords: limited capabilities, electric platform, design, rear suspension, motor wheel, additive technology.

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Конструкторсько–технологічне забезпечення електричної платформи «odi» для людей з інвалідністю», містить 136 сторінок пояснювальної записки, рисунків – 64, таблиць – 30, використаних джерел – 55, та 4 макети.

**Актуальність теми.** Люди з інвалідними візками залежать від різних видів транспорту і вимушені чекати, поки інші будуть возити їх по місту. Проект «odi» дозволить збільшити автономність людей які переміщуються за допомогою інвалідного візка та свободу переміщення на великі відстані, коли вони цього хочуть, при цьому залишаючись екологічно чистим, оскільки це проект з максимально можливим використанням конструктивних рішень, матеріалів і технологій, які мають мінімальний вплив на викиди CO<sub>2</sub>.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

**Мета дослідження.** Створити проект, який дозволить покращити умови переміщення людей з інвалідністю з інвалідним візком.

### **Задачі дослідження:**

1. Огляд конструкцій та існуючих рішень, методів розрахунку основних параметрів.
2. Розробка загальної концепції, розрахунок параметрів, комп'ютерне моделювання системи задньої підвіски, оформлення конструкторської документації.
3. Розробити технологію виготовлення прототипу підвіски та провести випробовування.
4. Розробка стартап проекту.

**Об'єкт дослідження** – Інженерний дизайн електричної платформи «odi» для людей з інвалідністю.

**Предмет дослідження** – Параметри конструкції та технологія виготовлення системи задньої підвіски.

**Методи дослідження.** Аналіз інженерних рішень, методи активізації пошуку інженерних рішень (мозковий штурм), системний аналіз та відбір кращих рішень за системою критеріїв, моделювання структури, компонентів та загального дизайну рішення в цілому та його компонентів спираючись на сучасні системи автоматизованого проектування та моделювання, а саме Autodesk Inventor, MatLab, Maya, Autodesk Netfabb.

**Наукова новизна чи інноваційна ідея отриманих результатів.** Ідея полягає у створенні соціально та екологічно спрямованого проекту, що дозволить покращити умови життя людей з інвалідністю з інвалідним візком шляхом створення рішення для швидкого та зручного переміщення містом та перевезення багажу у низькому ціновому сегменті.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розробка конструкції та технології виготовлення електричної платформи «odi» для переміщення осіб з інвалідністю містом з можливістю перевезення багажу.

**Публікації.** По темі магістерської дисертації опубліковано доповідь на науковій конференції.

**Ключові слова:** обмежені можливості, електрична платформа, проектування, задня підвіска, мотор колесо; адитивні технології.

## ЗМІСТ

<b>ЗМІСТ</b> .....	<b>1</b>
<b>ВСТУП</b> .....	<b>12</b>
<b>1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Дослідження в області транспортування осіб з інвалідним візком</b> ...	<b>14</b>
<b>1.2 Аналіз конструкцій та синтез задньої підвіски</b> .....	<b>22</b>
<b>1.3 Сучасні методи розрахунку і моделювання елементів підвісок</b> .....	<b>29</b>
<b>1.4 Прогноз стартап–проекту</b> .....	<b>33</b>
<b>Висновки по розділу</b> .....	<b>36</b>
<b>2 КОНЦЕПЦІЯ ТА КОНСТРУКЦІЯ</b> .....	<b>37</b>
<b>2.1 Опис загальної концепції рішення</b> .....	<b>37</b>
<b>2.2 Принципова схема та основні параметри задньої підвіски</b> .....	<b>39</b>
<b>2.3 Конструктивний розрахунок елементів підвіски</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4 Вибір матеріалу для силових елементів підвіски</b> .....	<b>51</b>
<b>2.5 Аналіз динамічних навантажень в процесі долаття перешкод</b> .....	<b>57</b>
<b>Висновки по розділу</b> .....	<b>65</b>
<b>3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ</b> .....	<b>66</b>
<b>3.1 Технологія виготовлення системи задньої підвіски</b> .....	<b>66</b>
<b>3.2 Реалізація макету рами задньої підвіски</b> .....	<b>72</b>
<b>3.3 Реалізація макету електричної платформи оді</b> .....	<b>78</b>
<b>3.4 Топологічна оптимізація конструкції рами задньої підвіски</b> .....	<b>85</b>
<b>Висновки по розділу</b> .....	<b>93</b>

<b>4 СТАРТАП-ПРОЕКТ .....</b>	<b>94</b>
<b>4.1 Опис ідеї проекту .....</b>	<b>94</b>
<b>4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї .....</b>	<b>95</b>
<b>4.2 Технічний аудит ідеї проекту .....</b>	<b>98</b>
<b>4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....</b>	<b>100</b>
<b>4.3.1 Потенційні групи клієнтів.....</b>	<b>101</b>
<b>4.3.2 Аналіз ринкового середовища.....</b>	<b>102</b>
<b>4.3.3 Аналіз пропозиції .....</b>	<b>104</b>
<b>4.3.4 Аналіз умов конкуренції в галузі.....</b>	<b>105</b>
<b>4.3.5 Перелік факторів конкурентоспроможності.....</b>	<b>106</b>
<b>4.3.6 Аналіз сильних та слабких сторін .....</b>	<b>107</b>
<b>4.3.7 SWOT-аналіз стартап-проекту.....</b>	<b>108</b>
<b>4.3.8 Альтернативи ринкової поведінки .....</b>	<b>109</b>
<b>4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....</b>	<b>110</b>
<b>4.4.1 Визначення стратегії та охоплення ринку.....</b>	<b>110</b>
<b>4.4.2 Формування базової стратегії розвитку.....</b>	<b>110</b>
<b>4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки .....</b>	<b>111</b>
<b>4.4.4 Стратегія позиціонування.....</b>	<b>112</b>
<b>4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....</b>	<b>113</b>
<b>4.5.1 Формування маркетингової концепції товару .....</b>	<b>113</b>
<b>4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару .....</b>	<b>113</b>
<b>4.5.3 Визначення цінових меж .....</b>	<b>114</b>
<b>4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту .....</b>	<b>115</b>

4.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій .....	115
4.6 Висновки .....	117
Список використаної літератури .....	118
Додатки.....	125
Додаток А. Код програми MatLab для створення штучної перешкоди.....	126
Додаток Б. Елемент коду керуючої програми для друку.....	127
Додаток В. Процес друку макету платформи «odi» .....	129

## ВСТУП

З розвитком людства та підвищенням стандартів життя людини, все більша увага приділяється соціальним вимогам до життя людей будь яких категорій. Однією з таких категорій є люди з обмеженими можливостями з інвалідним візком. Проблема якості умов самостійного переміщення таких людей піднімалась неодноразово і є досі актуальною.

Для вирішення цієї проблеми було вирішено переобладнувати вже існуючі автомобільні засоби, для можливості використання їх людьми з обмеженими можливостями, але це передбачає наявність вже існуючого транспортного засобу, та витратою коштів на його додаткове переобладнання.

Крім того необхідно враховувати, що останнім часом транспортні засоби, які мінімізують викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище набули широкої популярності. Використання такого транспортного засобу також дозволить зменшити витрати на паливе, оскільки вони оснащені електродвигунами, що з врахуванням порівняння цін на електроенергію та інші види пального, отриманого з переробки нафти, забезпечить високу популярність у користувачів.

Для вирішення описаних проблем необхідно розробити конструкцію та технологію виготовлення електричної платформи «odi» для переміщення осіб з обмеженими можливостями містом з можливістю перевезення багажу з максимально можливим використанням конструктивних рішень, матеріалів і технологій, які мають мінімальний вплив на викиди CO<sub>2</sub>.

Під час руху транспортні засоби долають різні перешкоди. Вони можуть бути випадковими чи штучно створені з певним призначення, наприклад «лежачі поліцейські». Оскільки електрична платформа «odi» призначена для

використання людьми з обмеженими можливостями, то характеристики підвіски мають важливе значення для забезпечення комфортного пересування містом.

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ

## 1.1 Дослідження в області транспортування осіб з інвалідним візком

Різноманіття видів транспорту для людей з обмеженими можливостями, а саме з інвалідним візком, досить широке. Умовно їх можна поділити на дві категорії, а саме ті, де людина з обмеженими можливостями водій, та ті, де вона є пасажиром. Відповідно наступний рівень групи, де людина з обмеженими можливостями є водієм, можна поділити на модернізовані рішення серійних автомобілів, чи створені конкретно під вимоги людей з обмеженими можливостями, а саме з інвалідним візком. В свою чергу розробка може бути представлена як індивідуальний одномісний автомобіль, індивідуальний електричний візок, або мотор–колеса, що приєднуються до інвалідного візка.

Сучасним представником групи модернізованих транспортних засобів, де людина є водієм, є Ford Explorer BraunAbility MXV [1], зображений на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Ford Explorer BraunAbility MXV [1]

Ключовими особливостями цього автомобілю є збільшені розміри салону, автоматична рампа, розсувні двері, а також пасажирські та водійське крісла, які можна знімати, що дозволяє керувати автомобілем прямо з інвалідного візка.

Наступним представником є FORD TRANSIT CONNECT [2], зображений на рис. 1.2, з відкидною задньою рампою, що дозволяє розмістити в автомобілі до шести людей, враховуючи інвалідний візок.



Рисунок 1.2 – FORD TRANSIT CONNECT

Також даний автомобіль включає в себе стандартну гнучку плоску рампу, які складається коли не використовується та має вантажопідйомність до 800 фунтів.

До групи розроблених рішень відноситься інвалідний візок з електроприводом HERO STAND UP Power Wheelchair [3], в якому передбачена можливість вертикалізації, зображений на рис. 1.3.

Візок використовується для реабілітації людей з обмеженими можливостями. До особливостей також можна віднести максимальну швидкість, яку може розвивати візок, до 10 км/год, та запас ходу на 20 км.



Рисунок 1.3 – Інвалідний візок з електроприводом [3]

Ще одним рішенням з можливістю вертикалізації є розробка Tek RMD (Robotic Mobilization Device) [4]. Корування платформою здійснюється за допомогою джойстиків. Також дана розробка вважається найменшим моторизованим пристроєм для людей з обмеженими можливостями (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Tek RMD [4]

Ширина Tek RMD становить всього 42 см, а висота – 75 см, що дозволить долати вузькі ділянки, які не доступні на стандартних інвалідних крісел.

Наступним представником групи розробок є мотор–колеса, що кріпляться до інвалідного візка, перетворюючи його на скутер. Прикладом є розробка компанії Supreme Motors, привід UNA [5], зображений на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Мотор–колесо UNA для інвалідних візків [5]

Мотор–колесо забезпечує швидкість до 20 км/год, та дозволяє подолати відстань до 25 км на одному зарядові.

Ще одним представником групи розробок є електричний самокат Нюка Pendel, який є екологічно чистим рішенням мобільності для людей з інвалідними візками, зображений на рис. 1.6 [6].



Рис 1.6 – Електричний скутер Nuka Pendel

Nuka Pendel має сучасний дизайн, та оснащений трьома колесами. Він має широкий отвір ззаду для заїзду інвалідного візка. Максимальна швидкість руху – 25 км/год, а запас ходу досягає 60 км.

Представником групи індивідуальних одномісних автомобілів для інвалідів є проект Kenguru, розроблений в Угорщині, який виробляється у Техасі [7]. Дизайн та концепція цього проекту, зображені на рис. 1.7, найближче підходять під поставлені цілі.



Рисунок 1.7 – Індивідуальний автомобіль Kenguru [7]

Доступ до елементів керування автомобілем забезпечено безпосередньо з інвалідного візка через задні двері. Максимальна швидкість автомобіля Kenguru близько 50 км/год. Запас ходу від одного заряду батареї до 50 км.

Цікавим є дизайн одномісного автомобілю Equal [8], представлений на площадці стартап-проектів. До реалізації проект не дійшов. Дизайн проекту зображено на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Проект Equal [8]

Заплановані технічні характеристики цього автомобілю передбачають можливість автономного руху автомобіля до 100 км на швидкості до 50 км/год.

Ознайомившись з представленими прикладами різних розробок для людей з обмеженими можливостями, можна виділити наступні класифікаційні ознаки:

- Степінь оригінальності;
- Спрямованість;
- Кількість коліс;
- Захищеність.

Степінь оригінальності представлених виробі поділяє їх на модернізовані рішення та розроблені безпосередньо для людей з обмеженими можливостями. Спрямованість передбачає поділ за роллю людини, а саме чи є вона пасажиром чи водієм транспортного засобу. Кількість коліс виділяє фактичну кількість коліс, як наприклад у модернізованих рішень це чотири колеса, у електричних платформ їх три, а мотор–колесо передбачає конструкцію 1+2, де одне колесо є приводом руху, а два колеса – веденими колесами візка. Ознака захищеності має на увазі закритість ти відкритість людини, під час руку.

Узагальнена схема представлена на рис.1.9.



Рисунок 1.9 – Класифікаційна схема

Враховавши розглянуті вище приклади представників індивідуального транспорту та модифікацій для людей з обмеженими можливостями, а саме з інвалідним візком, складено узагальнюючу таблицю.

Таблиця 1.1 – Порівняння параметрів транспортних засобів

	Ціна (\$)	Швидкість (км/год)	Запас ходу	Рік створення
	73 000	200	600	2015
FORD TRANSIT	27 000	174	900	2017
HERO stand up	4 000	10	20	2014
Tek RMD	20 000	5	15	2018
Supreme Motors UNA	1 300	20	25	2018
Huka	14 000	25	60	2017
Kenguru	25 000	50	50	2014
Equal		50	100	

За основу вирішено взяти дизайн проекту Kenguru, оскільки він найкраще підходить до поставлених задач. Також, враховуючи що в багатьох проектах використовується електродвигун, а електромобілі набувають популярності вирішено синтезувати на базі представлених проектів індивідуальний автомобіль для інвалідів, з мотор–колесами, як основним приводом руху.

## 1.2 Аналіз конструкцій та синтез задньої підвіски

Враховуючи обраний привід руху, способи реалізації та кріплення його можна умовно поділити на дві групи, а саме:

- Кріплення мотор–колеса на автомобільну ось;
- Окреме мотор–колесо, як привід руху.

Перша група набула популярності у модернізаціях вже існуючих транспортних засобів, з двигунами внутрішнього згорання. При таких модернізаціях частина трансмісії, двигун та інші частини, що обов'язкові для транспорту з двигуном внутрішнього згорання демонтуються, а на ось автомобіля кріпиться моток колесо, схема зображена на рис.1.10 [9].

При таких модернізаціях досягається повна електрифікація транспортного засобу та, відповідно, зменшення його маси, за рахунок демонтованих елементів.

Але до недоліків варто віднести те, що в власна вага мотор–колеса, яке забезпечує достатній крутний момент для комфортного переміщення транспортним засобом містом, що передбачає долавання штучних та випадкових перешкод, підйом вгору і швидке збільшення швидкості, досить велика.



Рисунок 1.10 – Схема автомобільного мотор–колеса [9]

Для безпосереднього розміщення такого мотор–колеса на вісь необхідно вдаватись до модернізацій осі, оскільки стандартна вісь мотор–колеса тонша ніж у автомобілів, тому необхідна модернізація.

З іншої сторони є група, де мотор–колеса є прямим приводом руху транспорту, наприклад в скутерах. Реалізація кріплення мотор–колеса до рами дуже проста. З нею зустрічався кожен, хто мав велосипед чи мотоцикл. Колесо кріпиться до важелю підвіски, яка в свою чергу кріпиться до рами. Амортизація відбувається за рахунок амортизатора, а хід колеса залежить від геометрії підвіски та характеристик амортизатора. Приклад типового важелю трубчатой конструкції та елементів кріплення його до підвіски зображено на рис.1.11 [10].

Головна перевага такої конструкції кріплення є безперечно простіша реалізація та використання. Також забезпечується незалежність підвіски, що збільшує можливості для долаття перешкод транспортним засобом.

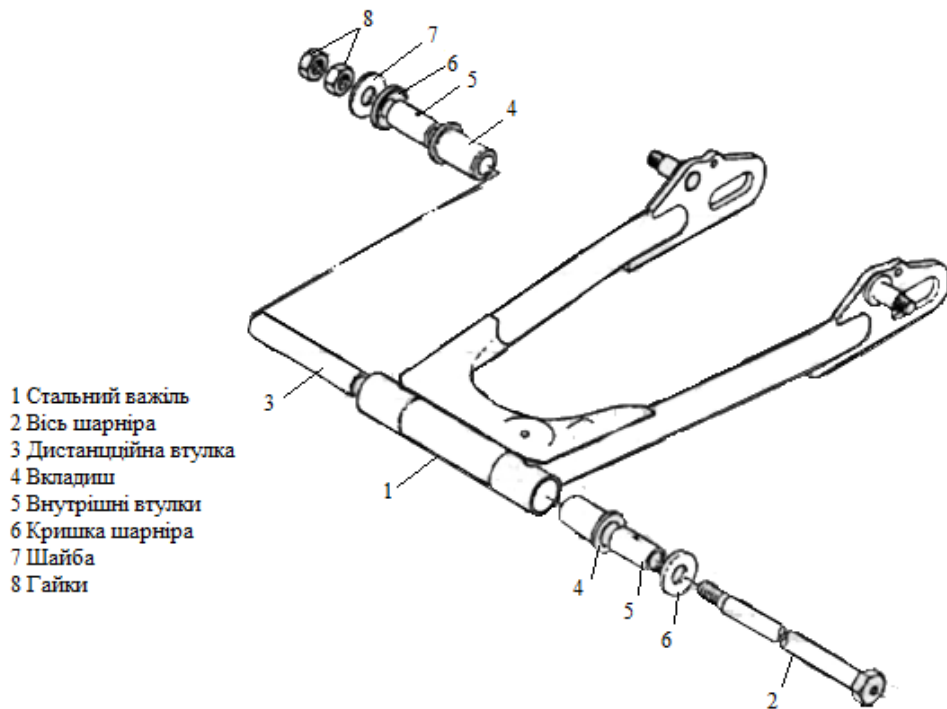


Рисунок 1.11 – Типовий трубчатий важіль [10]

Враховавши простоту реалізації та використання важільної схеми кріплення колеса, вирішено застосовувати принципову схему з двома однаковими задніми мотор – колесами, з важільною підвіскою.

Перед тим, як переходити до аналізу геометрії різних видів підвісок необхідно визначитись з місцем амортизатора у ній.

Зазвичай у мотоциклах використовуються схеми з одним або двома амортизаторами [11]. В ході еволюції задніх підвісок два амортизатора змінив один амортизатор. Причиною було те, що в системі з двох амортизаторів вони розміщені дуже близько до колеса, і поршень переміщується практично на ту ж відстань, що і маятник. Розміщення амортизаторів зображено на рис. 1.12. Варто також зазначити, що важливу роль грає нахил амортизатора, оскільки за рахунок цього можна також добитись меншого переміщення поршня в амортизаторі, схема зображена на рис. 1.13.

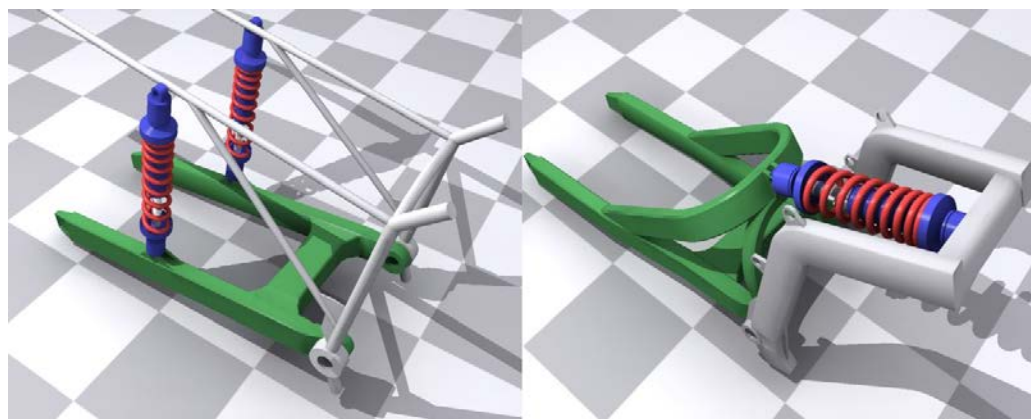


Рисунок 1.12 – Схеми з двома та одним амортизатором [11]

Таким чином вирішено використовувати підвіску з одним нахиленим амортизатором, зважаючи на те, що це забезпечить кращу характеристику підвіски.

Наступним кроком є аналіз геометрії підвісок, що використовуються в мотоциклах та велосипедах. Враховуючи те, що потрібно забезпечити простоту виготовлення та використання, буде розглянути одно шарнірні принципові схеми. Це означає що кріплення основного важелю до рами реалізовано однією шарнірною кінематичною парою.

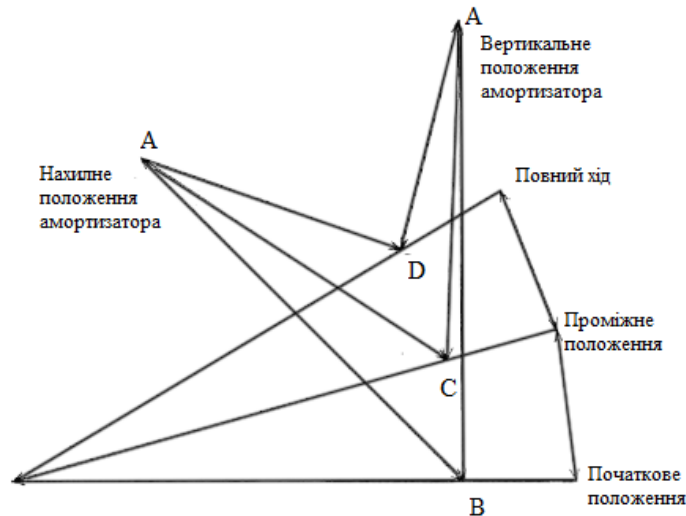


Рисунок 1.13 – Характеристика з нахилом амортизатора [10]

Також варто зазначити, що окрім основного важелю, вилки, до якого кріпиться мотор – колесо, можуть бути інші, допоміжні важелі, що передають рухи на амортизатор. При таких схемах вимоги до амортизатора значно нижчі ніж у схемах з одним важелем. Але до недоліків багато важільної компоновки варто віднести її складність виготовлення та реалізації.

Першим прикладом одно важільної компоновки задньої підвіски є велосипед Haro Extreme, в якому представлена класична схема одно важільної компоновки з одно шарнірним кріпленням (2) зі свінгармом Гірвіна (3) (замкнутим підресореним трикутником), зображена на рис. 1.14 [12].

Такий тип підвісок характеризується простотою реалізації. Рекомендується використання повітряного амортизатора (1).

На рис. 1.15 зображено також класична компоновка одно-шарнірної підвіски велосипеда Kona Dawg, але з декількома важелями. До нижнього маятника (3) йдуть пера (5), що з'єднуються з важелем (4), що в свою чергу з'єднаний з амортизатором (1). Також досить розповсюджена схема, яка вважається однією з найефективніших, але не найпростішою.

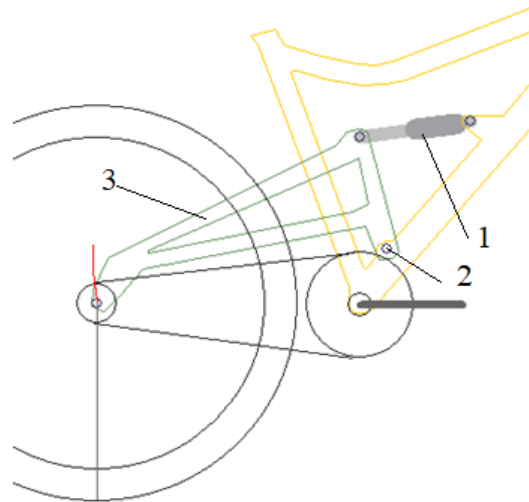


Рисунок 1.14 – Одноважільна одношарнірна підвіска Haro Extreme X3

Змінюючи довжини плечей важеля коромисла (4) є можливість доволі гнучкого налаштувати характеристики підвіски. Рекомендується використання повітряного амортизатора (1).

Доволі цікавою є компоновка велосипедів фірми Merida Mission и Transmission, зображена на рис. 1.16. В даній компоновці амортизатор (1) винесено з переду і встановлено у задній трикутник (2). До особливостей такого типу конструкції можна віднести досить мале передаточне відношення між рухом колеса та переміщенням штоку амортизатора. В свою чергу підвіска є досить чутливою, а рекомендований тип амортизатора – повітряний.

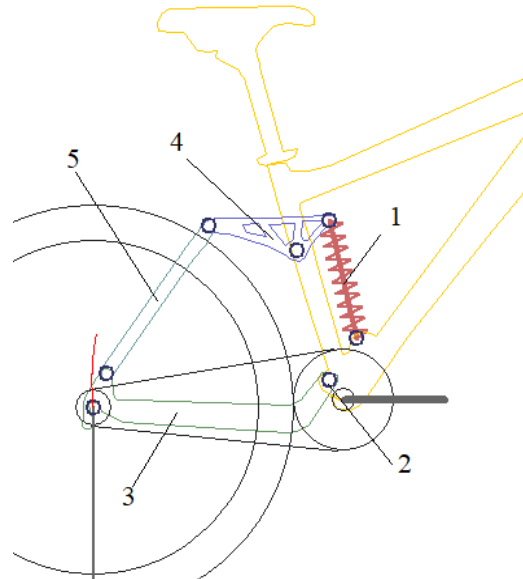


Рисунок 1.15 – Багатоважільна одношарнірна компоновка Kona Dawg

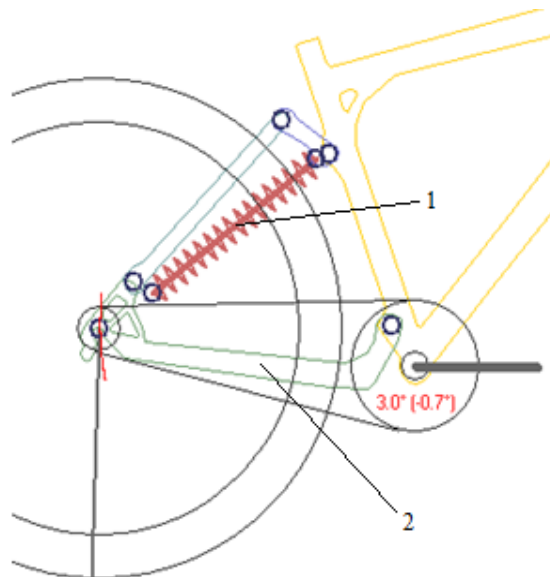


Рисунок 1.16 – Компоновка Merida Mission и Trans-Mission з розміщення амортизатора ззаду

Проаналізувавши переваги та недоліки одно та багато важільних одно шарнірних компоновок вирішено використовувати схему одно важільної

підвіски, оскільки вона простіша в виготовленні та використанні, з одним амортизатором, розміщеним під кутом.

### 1.3 Сучасні методи розрахунку і моделювання елементів підвісок

Розрахунок та моделювання підвіски включає в себе визначення її характеристик, конструктивних параметрів підвіски і її елементів, які забезпечують плавність ходу, а також конструктивні розрахунки деталей і складальних одиниць з необхідними вимогами до міцності.

Вихідними параметрами для проектування підвіски є: параметри компоувальної схеми, до яких відносяться хід колеса та амортизатора; маса невідвісоленої та відвісоленої частин підвіски та модуль жорсткості підвіски в статичному положенні.

Сучасна теорія відвісолювання транспортних засобів дозволяє оцінити параметри плавності ходу за заданими параметрами і характеристиками елементів підвіски. Під час проектного розрахунку жорсткість і опір амортизаторів вибирають наближено, а їх значення уточнюється після розрахункової оцінки плавності ходу в заданих умовах експлуатації.

В якості оціночного параметра обирають критерій, що характеризує плавність ходу. В даний час ще не вироблено єдиної думки щодо критерія оптимальності підвіски транспортних засобів, тому пропонуються різні критерії та різні допустимі значення, наприклад, за оціночний параметр беруть швидкість переміщень, прискорення чи третю похідну переміщень, або інтенсивність коливань та інше. Це пов'язано з тим, що одним параметром дуже важко врахувати всі особливості сприйняття вібрацій людським організмом [13].

За критерій плавності ходу для легкових автомобілів можна прийняти коефіцієнт інтенсивності прийняття коливань людським організмом. При гармонічних коливаннях його можна розрахувати за формулою [14]:

$$k = \frac{18}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}, \quad (1.1)$$

де  $\omega_0 = 62.8 \text{ c}^{-1}$  – зведена частота відповідно до [14],  $\omega$  – частота коливань. Значення коефіцієнту інтенсивності для різних умов наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнту інтенсивності прийняття коливань

Допустимі значення	Сприйняття коливань	Характер роботи
0.10	Не відчувається	
0.25	Ледве відчувається	
0.63	Слабко відчувається	Постійна
1.60	Сильно відчувається	З перервами
4.00	Неприємні відчуття	Без перерви
10..63	Дуже неприємні	При довгій поїздки на транспорті

Визначивши вихідні параметри та оцінюючий фактор можна провести розрахунки основних параметрів підвіски, які дозволять створити дослідну модель, щоб оцінити характеристики синтезованої системи підвіски при доланні перешкод.

Оцінка роботи підвіски, з обраним оцінюючим фактором, може бути проведена за допомогою комп'ютерного моделювання, створивши спрощену модель, яка відобразатиме роботу підвіски при тих чи інших вхідних параметрах.

Загальний вигляд моделі транспортного засобу представлено на рис. 1.17.

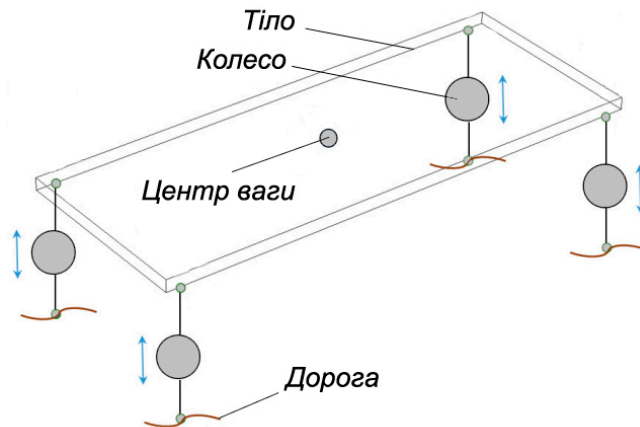


Рисунок 1.17 – Загальна модель транспортного засобу

Представлена схема описує транспортний засіб, як основне тіло, з відповідним центром ваги, що переміщується дорогою на чотирьох колесах. Враховуючи синтезований тип підвіски, яка працює незалежно, до розгляду можна представити одне колесо, з відповідними характеристиками. Еквівалентна модель колеса представлена на рис. 1.18.

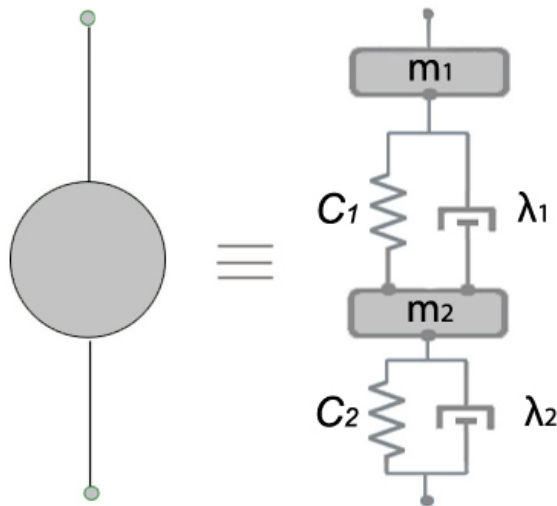


Рисунок 1.18 – Модель колеса транспортного засобу

На схемі зображено підресорена та непідресорена маси  $m_1$  та  $m_2$  відповідно, коефіцієнти жорсткості амортизатора та колеса  $c_1$  та  $c_2$ , а також коефіцієнти демпфування амортизатора і колеса  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$ .

Відповідно до моделі складаються диференційні рівняння переміщення кожної маси і досліджується те, як вони будуть вести себе при долатті перешкод.

Варіативність середовищ для проведення такого дослідження досить широка і включає в себе спеціалізовані автоматизовані рішення, які дозволяють не складати диференційні рівняння руху, а лише створити в інтерактивному меню необхідну модель.

Класичний інструментарій, що передбачає вирішення будь яких задач по дослідженню різних систем, шляхом розв'язання диференційних рівнянь – MatLab, а саме його модуль Simulink [15].

Перевагою використання інструментарію MatLab Simulink є необмеженість в створенні будь яких систем та їхньому аналізі. До недоліків варто віднести необхідність складання рівнянь, що описують роботу системи, та необхідність володіння навичками у роботі з даним інструментом.

Створення математичної моделі, з використанням необхідних параметрів дозволить отримати графік залежності переміщення кожної з мас, відповідно до часу переміщення по заданій траєкторії. Отримані дані аналізуються та оцінюються, після чого результати порівнюються з рекомендаціями, наведеними в табл. 1.2.

Для проведення математичного моделювання роботи необхідно визначитись із вихідними параметрами, що використовуються у математичній моделі. Серед них коефіцієнти жорсткості та демпфування колеса  $c_2$  та  $\lambda_2$  визначаються з характеристик матеріалу шини колеса. Коефіцієнти жорсткості та демпфування амортизатора  $c_1$  та  $\lambda_1$  є розрахунковими величинами. Визначення цих параметрів зводиться до розрахунку пружини за методикою наведеною в [16].

## 1.4 Прогноз стартап–проекту

Проект орієнтований на продаж у країнах з гарно розвинутою транспортною інфраструктурою міст та високим рівнем доходів, що забезпечить купівельну спроможність людей. Найбільші ринки – ринки Європи та Америки. Вони відрізняються високими фінансовими можливостями людей, високими соціальними стандартами та розвинутою інфраструктурою міст. Також варто звернути на ринок Китаю, який розвивається шаленими темпами.

До переваг також варто віднести те, що це електричний транспорт. Врахувавши дослідження EV Volumes [17], глобальні продажі електромобілів за 2018 рік досягли 2,1 млн. одиниць, що на 64% більше ніж у 2017 році. До них відносяться продажі як повністю електричних рішень, так і гібридів. Близько 69% проданих авто були повністю електричними. На рис.1.19 представлено порівняльну діаграму, яка відображає зміну кількості проданих електромобілів у світі за 2018 рік, в порівнянні з 2017.

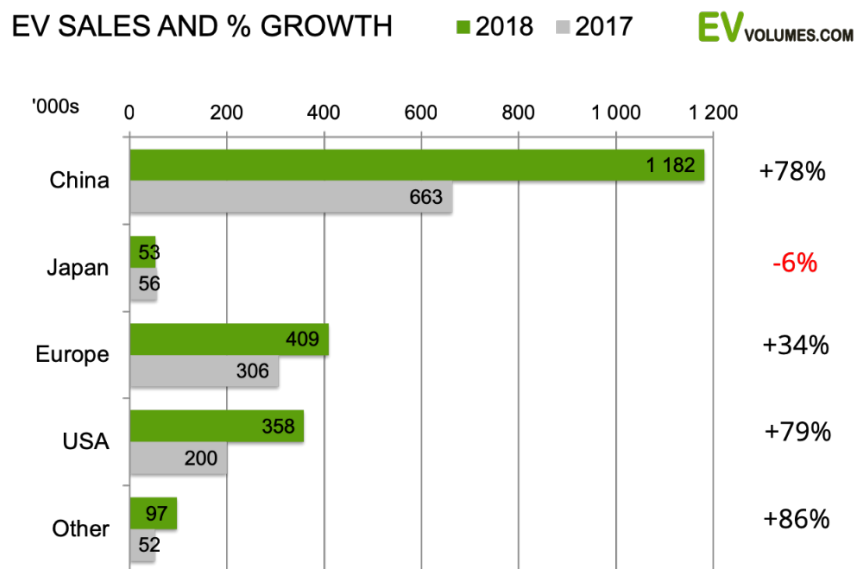


Рисунок 1.19 – Відсоток продажів електромобілів [19]

Ринок Китаю значно укріпив свої позиції, де продажі виростили більше ніж на 500 000 одиниць, досягнувши майже 1,2 млн. Ринок Європи стримувався низькою пропозицією електромобілів на ринку. Результати Американського ринку повністю забезпечені продажами Tesla Model 3.

До факторів впливу на продажі також варто віднести якість доріг у тій чи іншій країні. Так, у 2018 році на всесвітньому економічному форумі було представлено щорічний звіт про стан економіки в країнах світу, який включав рейтинг доріг по країнам [18]. Якість дорожнього покриття оцінювалась по всій території країни. До списку включено 138 країн. На рис. 1.20 представлено рейтинг перших десяти країн за якістю доріг.

Максимально можливий результат оцінювання становив сім балів. Перше місце декілька років поспіль займають Об'єднані Арабські Емірати.

№	Страна	Індекс
1	ОАЕ	6,4
2	Сингапур	6,3
3	Швейцарія	6,3
4	Гонконг	6,2
5	Нідерланды	6,1
6	Японія	6,1
7	Франція	6,0
8	Португалія	6,0
9	Австрія	6,0
10	США	5,7

Рисунок 1.20 – Рейтинг країн за якістю доріг [20]

З рейтингу можна зробити висновок, що країни Європи, Азії та Америка мають високий рівень дорожнього покриття, тому є цільовими ринками для реалізації проекту.

## **Висновки по розділу**

Отже, ринок транспортних засобів досить різноманітний, але більшість представників не є повноцінними транспортними засобами, а ті, що задовольняють поставленим вимогам, не представлені на вітчизняному ринкові.

Проведений аналіз дослідження в області транспортних засобів для осіб з інвалідністю дозволив синтезувати нове рішення на базі переваг аналогів та прототипів.

Відповідно до обраного типу приводу руху, розглянуто можливі варіанти кріплення мотор-колеса та синтезовано систему задньої підвіски платформи на базі свінгарму Гірвіна.

Проаналізовано сучасні методи розрахунку системи задньої підвіски та розглянуто методи аналізу якості роботи підвіски та переміщення транспортного засобу під час долаття штучної перешкоди.

Проведений попередній аналіз проекту у рамках стартапу показав, що ринок малогабаритних електрокарів росте по всьому світові.

## 2 КОНЦЕПЦІЯ ТА КОНСТРУКЦІЯ

### 2.1 Опис загальної концепції рішення

Концепція проекту повністю визначається його призначенням та функціоналом, де всі елементи виконані відповідно до певних вимог чи стандартів. Метою створення цього транспортного засобу є покращення умов переміщення людей з інвалідним візком. Люди з інвалідними візками залежать від різних видів транспорту і вимушені чекати, поки інші будуть возити їх по місту. Проект «odi» дозволить збільшити автономність людей які переміщуються за допомогою інвалідного візка та свободу переміщення на великі відстані, коли вони цього хочуть, при цьому залишаючись екологічно чистим, оскільки це проект з максимально можливим використанням конструктивних рішень, матеріалів і технологій, які мають мінімальний вплив на викиди  $CO_2$ .

Оскільки проект призначений для використання людьми з обмеженими можливостями, основними вимогами до габаритних розмірів приймаємо вимоги до розмірів людини в інвалідному візку, що регламентуються збірником правил по проектуванню будівель та конструкцій для мало мобільних груп населення [19].

На рис. 2.1 представлено габаритні розміри крісла з людиною на інвалідному візку.

Таким чином, вимоги до транспортного засобу будуть наступними:

- а) висота авто від 1600 мм до 1800 мм;
- б) ширина від 1300 мм до 1500 мм;
- в) довжина від 2500 мм до 3000 мм;
- г) ширина колії не менше 1000 мм, виміряна від середини колеса;
- д) колісна база не менше 2000 мм;
- е) висота місця для водія має бути від 1300 мм до 1500 мм, ширина не менше 700 мм.

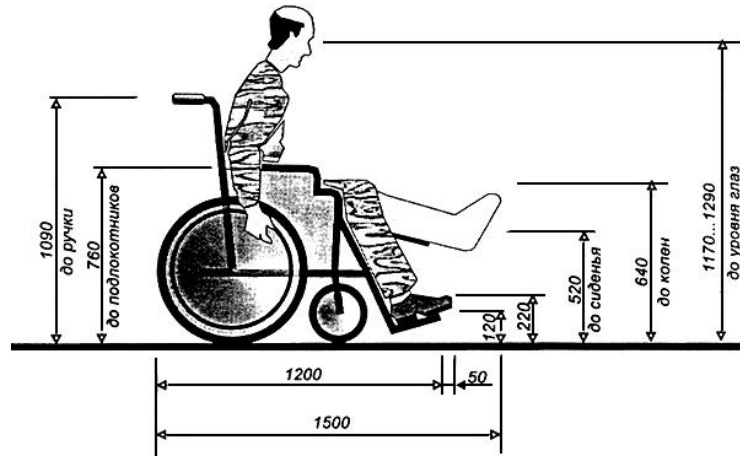


Рисунок 2.1 – Габаритні розміри людини на інвалідному візку

Також необхідно врахувати зовнішню привабливість та ергономіку транспортного засобу. Ескіз дизайнерської пропозиції зображено на рис. 2.2.

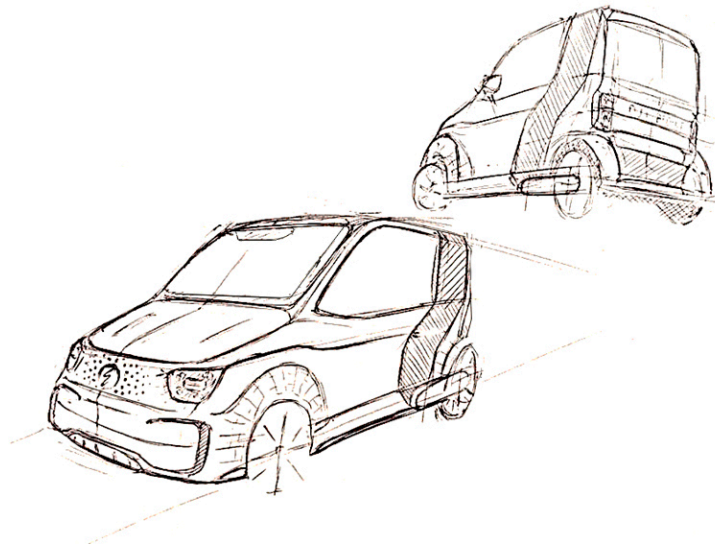


Рисунок 2.2 – Ескіз дизайну проекту

Розроблений на основі вимог ескіз дизайну пристосований до міського використання у будь яку погоду та має естетичну привабливість. Також він враховує переваги розглянутих прототипів та аналогів, на базі яких синтезовано нове рішення.

## 2.2 Принципова схема та основні параметри задньої підвіски

Покращення умов переміщення людей з обмеженими можливостями залежить від якості переміщення транспортом. Важливу роль в цьому відіграє підвіска. Врахувавши синтезоване рішення з використанням мотор-коліс, як приводом руху, важливу роль відіграє саме задня підвіска, оскільки вона повинна забезпечувати плавність ходу при долатті перешкод та надійність при використанні, оскільки безпосередньо до неї кріпиться привід руху електричної платформи.

Після синтезу конструкції задньої підвіски у першому розділі варто визначитись з основними її параметрами. При роботі підвіски під час подолання перешкоди та в русі, основним параметром що впливатиме на плавність руху буде хід колеса. В свою чергу він залежить від обраної геометрії підвіски. Хід підвіски і хід колеса це кінематичні параметри, які пов'язані між собою кутом нахилу амортизатора, місцем його кріплення та відстанню між кріпленням колеса і кріпленням підвіски до рами. Кінематичну схему підвіски можна звести до важелю, враховуючи це зрозуміло, що залежно від положення колеса та амортизатора відносно точки кріплення підвіски до рами, будуть отримані різні кінематичні відношення, і як наслідок різні показники ходу амортизатора відносно ходу колеса.

Спочатку необхідно визначитись з ходом колеса у підвісці. Оскільки конструкція підвіски базується на конструкції підвіски мотоциклів, доцільно аналізувати саме їх хід колеса. Відповідно до [20], мотоцикл Honda X-ADV має хід заднього колеса 150 мм. Враховуючи, що у нас індивідуальний міський транспорт та використовується два мотор-колеса з амортизатором на кожному задаємось ходом підвіски в 90 мм.

Важливими параметрами при розробці принципової схеми підвіски є параметри колеса. Для вибору мотор-колеса необхідно розрахувати попередню потужність, яка буде достатня, щоб забезпечити поставлені вимоги. Для забезпечення руху авто необхідно, щоб сила тяги на приводах руху була більша сил супротиву руху. Відповідно до методики, наведеної в [21], сила тяги позначається  $P_T$ . До сил супротиву руху відносять: силу супротиву кочення  $P_K$ ; силу супротиву підйому  $P_{\Pi}$ ; силу супротиву повітря  $P_B$ ; силу супротиву розгону  $P_I$  – силу інерції. Залежність між силами супротиву та тяги можна представити як баланс сил, представлений формулою (2.1):

$$P_T = P_K + P_{\Pi} + P_B + P_I \quad (2.1)$$

Сила супротиву кочення пропорційна коефіцієнту супротиву кочення та нормальній складовій сили тяжіння автомобіля, та розраховується за формулою:

$$P_K = f \cdot G, \quad (2.2)$$

де  $f$  – коефіцієнт супротиву кочення;  $G$  – нормальна складова сили тяжіння автомобіля. Для спрощення розрахунків рекомендують використовувати середні значення коефіцієнта супротиву кочення, представлені в [21, табл. 2.2]. Таким чином, для асфальтобетонного та цементобетонного дорожнього покриття, в задовільному стані, коефіцієнт  $f = 0,017..0,018$ .

Для подальшого розрахунку необхідно визначитись з вагою автомобіля в спорядженому стані. Попередня вага рами становить 55 кг, вага людини з візком прийнята за 100 кг, орієнтовний вага батареї, з запасом ходу до 100 км, прийнято в 100 кг. Вага обшивки та елементів декору прийнято в 50 кг. Вага мотор-колiс та необхідних для їх функціонування елементів прийнято в 35 кг. Таким чином

попередня загальна вага автомобілю складає 340 кг. Підставивши прийняті значення в формулу (2.2) отримаємо наступне:

$$P_k = 0,017 \cdot 340 \cdot 9,8 = 56,7 \text{ Н.}$$

При русі автомобіля доводиться долати підйоми та спуски, таким чином вага авто може бути представлена у вигляді двох складових, одна з яких перпендикулярна дорожньому полотну, а інша направлена паралельно до осі авто. Схема дії сил представлена на рис. 2.3.

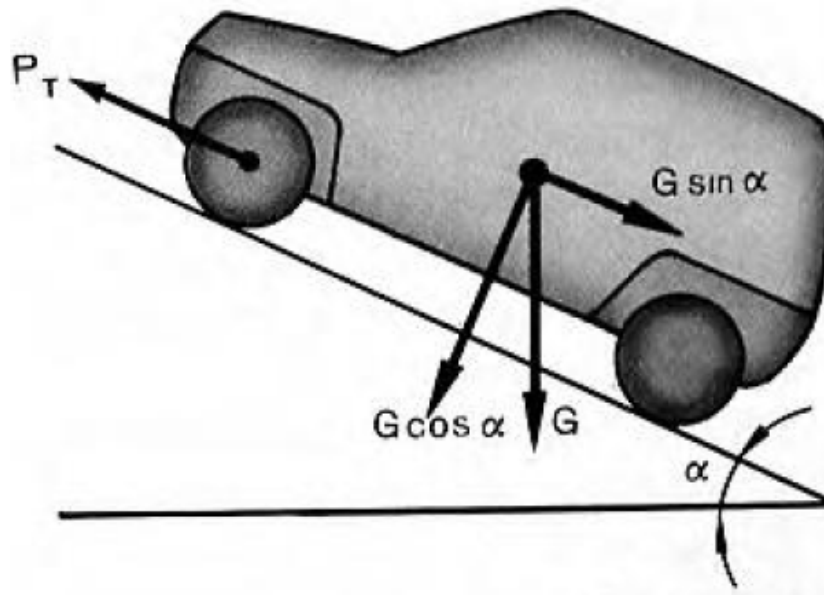


Рисунок 2.3 – Сили що діють на автомобіль [21]

Сила опору коченню та сила опору підйому діють одночасно і можуть бути представлені загальною силою супротиву дороги. Таким чином сила супротиву дороги, з урахуванням можливих нахилів до  $5^\circ$ , дорівнює:

$$P_d = (f \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) \cdot G = 346,8 \text{ Н.}$$

Автомобіль, що рухається витрачає достатньо велику кількість потужності для додання опору повітря. Витрати потужності до 60% складаються з витрат лобового супротиву. Емпіричним методом визначено, що сила супротиву повітря розраховується за формулою [21, (2.8)]:

$$P_B = c_B \cdot F_B \cdot v^2, \quad (2.3)$$

де  $c_B$  – коефіцієнт супротиву повітря;  $F_B$  – лобова площа авто;  $v$  – швидкість, з якою рухається автомобіль.

Коефіцієнт супротиву повітря визначається експериментально. Для попередніх розрахунків прийнято  $c_B = 0,25$  [22].

Визначити лобову площу автомобілю важко через його форми, тому для наближеного розрахунку скористаємось формулою [21, (2.9)]:

$$F_B = 0,78 \cdot B_a \cdot H_a = 0,78 \cdot 1400 \cdot 1750 = 1,9 \text{ м}^2,$$

де  $B_a$  – найбільша ширина автомобіля;  $H_a$  – найбільша висота авто.

Тоді, підставивши отримані значення у формулу (2.3), при максимальній швидкості руху в 40 км/год, отримаємо наступне:

$$P_B = 0,25 \cdot 1,9 \cdot v^2 = 58,7 \text{ Н.}$$

Також під час руху автомобіля виникають мили інерції маси автомобілю та моменти інерції мас обертання, які протидіють прискоренню автомобіля. Вплив моменту інерції мас, що обертаються, враховуються коефіцієнтом  $\delta_{об}$ . Таким

чином сила інерції автомобіля при русі буде розраховуватись за наступною формулою:

$$P_1 = m_a \cdot \delta_{об} \cdot j, \quad (2.4)$$

де  $j$  – прискорення,  $m_a$  – маса автомобіля. Відповідно до [21] коефіцієнт впливу  $\delta_{об} = 1,05$ , тоді, врахувавши прискорення  $j = 0,8 \text{ м/с}^2$ , підставивши отримані значення в формулу (2.4) отримаємо наступне:

$$P_1 = m_a \cdot \delta_{об} \cdot j = 300 \cdot 1,05 \cdot 0,8 = 285,6 \text{ Н}$$

Підставимо отримані значення сил протидії, що виникають при русі авто у формулу (2.1). Отримаємо наступне:

$$P_T = P_K + P_{\Pi} + P_B + P_1 = 346,8 + 58,7 + 285,6 = 691,1 \text{ Н}$$

З іншої сторони, силу тяги, необхідну для того, щоб зрушити авто з місця легко визначити знаючи крутний момент та діаметр колеса. Параметри обраного мотор-колеса наведено в [23]. Врахувавши те, що в конструкції проекту передбачено використання двох мотор-колес, та їх параметрів, використавши формулу [21, (2.3)] отримаємо наступне:

$$P_T = 2 \frac{M_{кр}}{r} = 2 \frac{158}{0,45} = 702 \text{ Н}$$

Таким чином, обрані мотор-колеса забезпечують достатню силу тяги, для поставлених цілей.

Згідно креслень, опублікованих на сайті, створимо 3д модель колеса з підходящою гумою [24], для подальшого аналізу. Відповідно до обраного профілю колеса створимо ескіз геометрії підвіски, де зобразимо основні параметри.

Для створення ескізу геометрії підвіски створимо коло з діаметром, рівним нашому колесу. Відповідно до обраного ходу колеса, задаємось передаточним коефіцієнтом, який буде визначати хід амортизатора, відповідно до ходу колеса. Він визначається як співвідношення довжин плечей від точки кріплення амортизатора та колеса до точки кріплення підвіски до рами. Обираємо передаточний коефіцієнт в межах від 0.7 до 0.8.

На рис. 2.4 зображено схему розміщення основних елементів підвіски з відповідними розмірами, де діаметр обраного колеса 450 мм, 280 мм – відстань від точки кріплення колеса до точки кріплення підвіски до рами, а відстань від точки кріплення амортизатора до точки кріплення підвіски до рами розраховується.

Відстань від точки кріплення колеса до точки кріплення підвіски до рами зумовлена в першу чергу діаметром самого колеса.

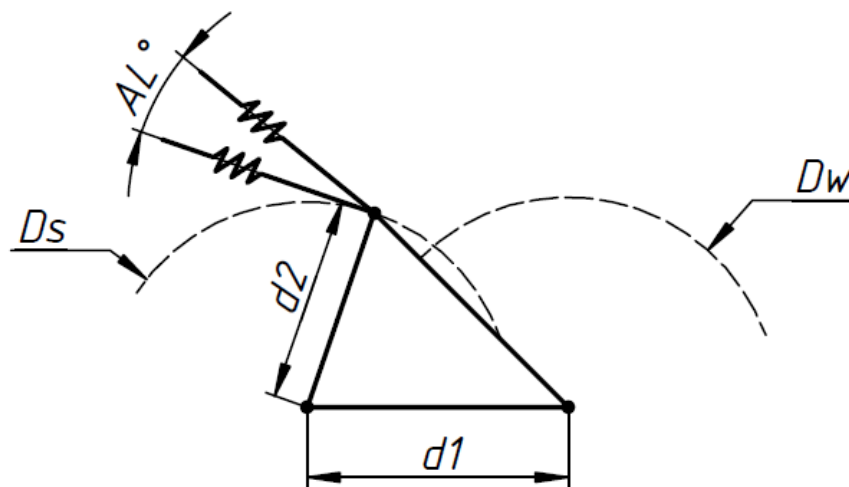


Рисунок 2.4 – Схема задньої підвіски

В цілому точка кріплення амортизатора до підвіски буде знаходитись на колі, радіусом в обране плече, відповідно до передаточного коефіцієнта, з центром в точці кріплення підвіски до рами. Оскільки плече кріплення колеса рівна 280 мм, то відповідно до обраного передаточного коефіцієнта плече кріплення амортизатора розраховується за формулою:

$$d_2 = d_1 \cdot k = 280 \cdot (0,7 \dots 0,8) = 194 \dots 224 \text{ мм}$$

де  $d_2$  – відстань до кріплення амортизатора,  $d_1$  – відстань до кріплення колеса,  $k$  – обраний передаточний коефіцієнт.

Обираємо значення найближче до максимального розрахованого, а саме  $d_2 = 220$  мм.

Також доцільно змінити кут нахилу амортизатора так, що основні напруження, що виникають при його роботі, були розподілені вздовж ребра підвіски. Тому вирішено зробити нахил амортизатора на  $20^\circ$ .

Таким чином, враховуючи отриману геометрію, хід амортизатора буде наступним:

$$l_a = l_w \cdot k \cdot \cos(20^\circ) = 90 \cdot \frac{220}{280} \cdot \cos(20^\circ) \cong 66 \text{ мм}$$

Враховавши отриманий хід штоку амортизатора можна обрати за отриманим значенням. Найкраще для цього підходять амортизатори, що встановлюються в квадро цикли. На рис. 2.5 зображено обраний амортизатор [25].



Рисунок 2.5 – Обраний амортизатор [25]

Обраний амортизатор, загальною довжиною в 370 мм, має відстань між кріпленнями в 340 мм, товщину пружини 8 мм, робочий хід в 70 мм, забезпечує працездатність при навантаженнях до 360 кг.

Таким чином було визначено основні параметри геометрії задньої підвіски транспортного засобу та амортизатора. Наступним кроком є розрахунок конструктивних параметрів елементів кріплення амортизатора.

### 2.3 Конструктивний розрахунок елементів підвіски

Очевидно, що місце кріплення амортизатора до ферми задньої підвіски буде з найменшим запасом міцності, тому вирішено прорахувати параметри елементів кріплення амортизатора. Основним елементом кріплення амортизатора до ферми є болт, на який діють зусилля від ваги рами під час стану спокою, та сили під час гальмування чи прискорення. Головними проблемами в цьому місці, що можуть виникнути, є зминання та зріз елемента кріплення.

Для розрахунків необхідно визначити зусилля, що будуть діяти на підвіску в стані спокою. Для цього необхідно визначити положення центрів мас батареї, рами з обшивкою та людини, що знаходиться в транспортному засобі. На рис. 2.6 зображено розміщення елементів та їх центрів мас.

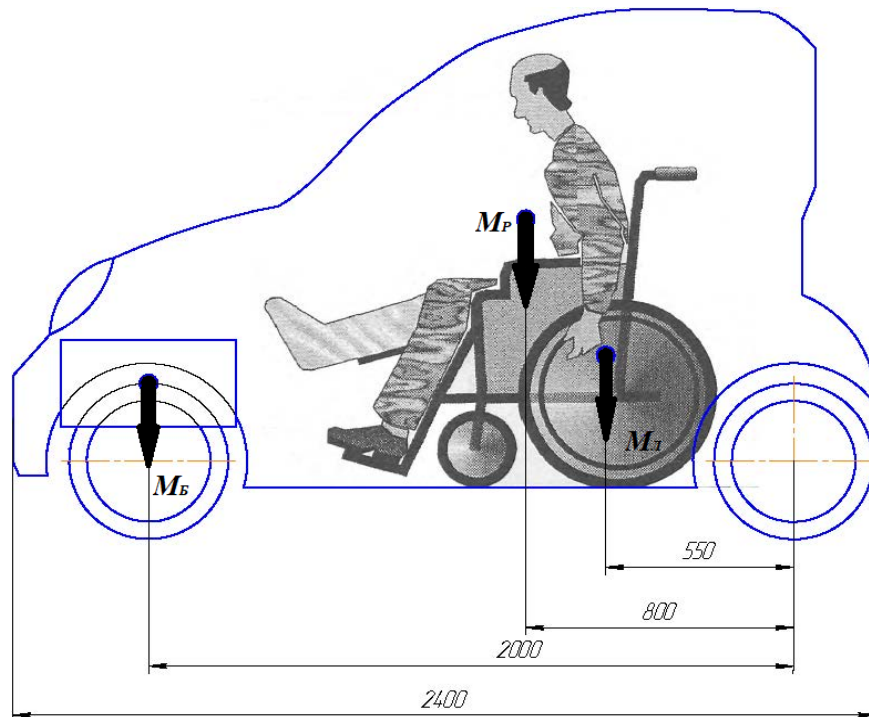


Рисунок 2.6 – Положення центрів мас

На рис. 2.6  $M_B$  – маса батареї,  $M_L$  – маса людини з візком,  $M_P$  – маса рами з елементами обшивки. Таким чином можна скласти спрощену схему навантажень, з відповідними положеннями сил, зображену на рис. 2.7.

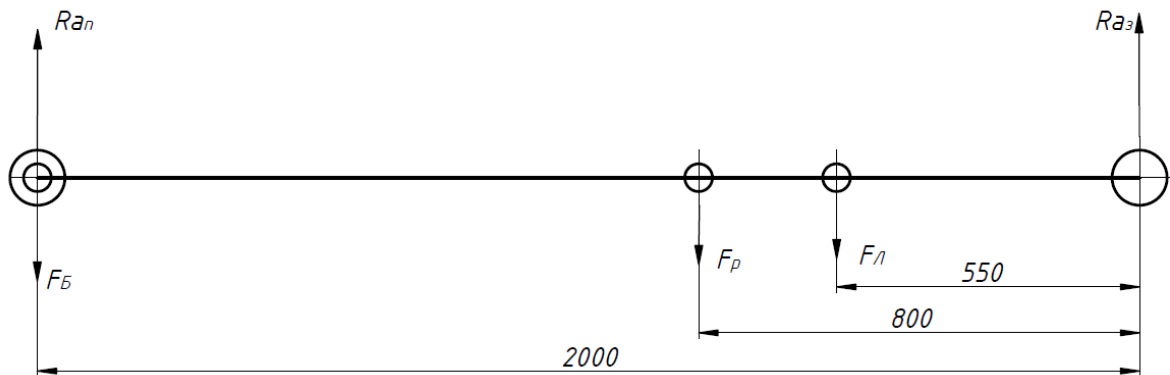


Рисунок 2.7 – Схема навантажень

Відповідно до схеми зображеної на рис. 2.7  $Ra_{п}$  – реакція передньої осі,  $Ra_{з}$  – реакція задньої осі,  $F_B = 980$  Н – сила що виникають від маси батареї,  $F_P = 1029$  Н – сила що виникає від маси рами та обшивки,  $F_L = 980$  Н – сила що виникає від маси людини з візком.

Для визначення реакцій на кожній осі необхідно скласти рівняння моментів до кожної з опор. Вони будуть наступні:

$$Ra_{п} = \frac{F_L \cdot 550 + F_P \cdot 800 + F_B \cdot 2000}{2000} = \frac{980 \cdot 550 + 1029 \cdot 800 + 980 \cdot 2000}{2000}$$

$$= 1661.1 \text{ Н}$$

$$Ra_{з} = \frac{F_L \cdot 1450 + F_P \cdot 1200}{2000} = \frac{980 \cdot 1450 + 1029 \cdot 1200}{2000} = 1327.9 \text{ Н}$$

Таким чином отримаємо реакції, які виникають на передній та задній осях. Враховуючи, що основним елементами підвіски є амортизатори, що з'єднуються

з конструкцією каркасу підвіски за допомогою болтів прорахуємо елементи кріплення на зминання та зріз. Відповідно до [26] схема навантаження болта зображена на рис. 2.8.

При розрахунку на зріз, напруження зрізу мають бути менші за допустимі. Розрахунок проводиться за формулою (2.5).

$$\tau_{зр} = \frac{4Q}{\pi n z d^2} \leq [\tau_{зр}] \quad (2.5)$$

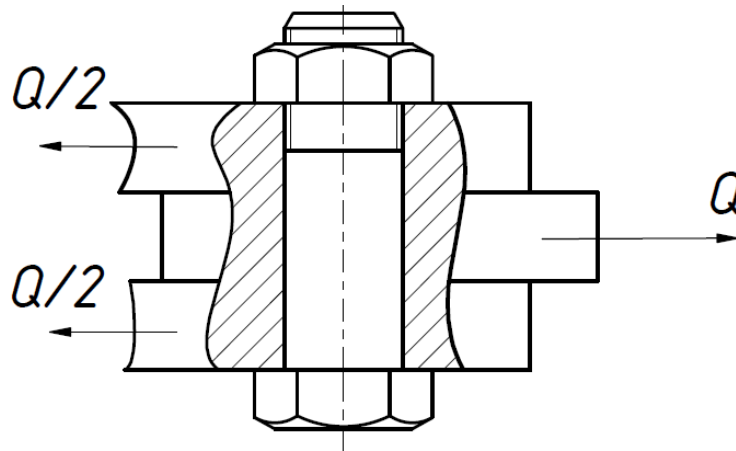


Рисунок 2.8 – Схема навантаження болта

У формулі (2.5)  $Q$  – навантаження, що діє на болт,  $d$  – номінальний діаметр різьби болта,  $n$  – кількість площин зрізу,  $z$  – кількість болтів.

Для визначення навантаження, що діє на болт, необхідно врахувати, що амортизатор задньої підвіски встановлено під кутом  $45^\circ$  до горизонталі, тоді реакцію, що виникає на задній підвісці, необхідно розкласти на дві складові, одна з яких буде діяти вздовж осі амортизатора. Визначена складова реакції опори буде навантаженням, що діє на болт. Також необхідно врахувати, що реакція задньої осі розподілена між двома колесами. Необхідна складова розраховується за наступною формулою:

$$Q = \cos(45^\circ) \cdot \frac{Ra_3}{2} = 470 \text{ Н}$$

Номинальний діаметр різьби болта, що використовуються для кріплення,  $d = 16$  мм. Кількість площин зрізу  $n = 3$ , кількість болтів  $z = 1$ . Підставимо отримані значення в формулу (2.5). Отримаємо наступне:

$$\tau_{зр} = \frac{4 \cdot 470}{\pi \cdot 3 \cdot 16^2} = 0.778 \text{ МПа}$$

Для порівняння з допустимими напруженнями на зріз можна врахувати, що вони приймаються як частина допустимого напруження на розтяг того ж матеріалу. Для сталі допустиме напруження на зріз становить 0.5–0.6 від допустимого напруження на розтяг. Відповідно до [27] допустиме напруження на зріз  $[\tau_{зр}] = 100$  МПа. При порівнянні отриманих напружень можна зробити висновок, що обраний болт задовольняє умови, при яких він працюватиме.

Таким чином було проведено конструктивний розрахунок елементів кріплення підвіски. Визначено що найслабший елемент конструкції, а саме елементи кріплення амортизатора до ферми підвіски, задовольняють поставлені умови роботи.

## 2.4 Вибір матеріалу для силових елементів підвіски

Важливим параметром при конструюванні є матеріал з якого буде виконана конструкція, оскільки це безпосередньо впливає на механічні властивості, здатність переносити навантаження, вагу, тощо. Для створення автомобільних конструкцій використовують сталь, алюміній та композитні матеріали.

Зі сталі виготовляють конструкції, на які передаються силові навантаження. Часто з високоміцної сталі виготовляють несучі конструкції автомобілю, які є найвідповідальнішими. Вони приймають навантаження від двигуна, ходової частини, трансмісії. Також, що важливо, вони приймають енергію в випадку аварії. Технологія виробництва конструкцій зі сталі проста і налагоджена, а ціна матеріалу менша ніж у інших. Сталеві деталі легко зварюються та є недорогими у виготовленні та експлуатації, оскільки легко ремонтуються та утилізуються. [28]

Виробники автомобілів все частіше використовують алюміній, однак даний матеріал коштує дорожче і для його зварювання необхідне спеціальне обладнання. До переваг алюмінію можна віднести істотно меншу вагу ніж у сталі та його можливість його 100% переробки та повторного використання, що є одним з основних принципів сталого розвитку. Враховуючи високу ціну алюмінію та складність в обробці, ціна автомобіля значно збільшується [28].

Використання композитних матеріалів для створення рамних конструкцій досить розповсюджене у виготовленні професійних спортивних велосипедів. Волокна з вуглецю вперше почали використовуватись в військово-промисловому комплексі в 1960-х років. Технологія полягає в використанні ниток на основі вуглецю, які мають високі міцність в одному напрямку. Для того щоб досягти однакових характеристик у всіх напрямках, нитки сплітають, після чого таку тканину можна використовувати для виготовлення багат шарових

конструкцій. Даний матеріал має твердість як у сталі, та меншу вагу ніж алюміній. Також перевагою є процес формування форми деталі, оскільки при використанні даного матеріалу форма обмежена лише уявою інженера. До недоліків варто віднести ціну матеріалу, та проблеми з обслуговуванням, оскільки ремонт та переробка даного матеріалу досить проблемні [29].

Відповідно до представлених матеріалів проведемо комп'ютерне моделювання конструкції задньої підвіски, виконаної з сталі, алюмінію та з волокон вуглецю. Для цього будемо використовувати створену у середовищі Autodesk Inventor Professional 2019 [30] тривимірну модель ферми підвіски, до якої будуть прикладені зусилля за розрахованим вище сценарієм. Для аналізу використаємо модуль аналізу напружень. Тривимірна модель з опорами на напрямками сил представлена на рис. 2.9.

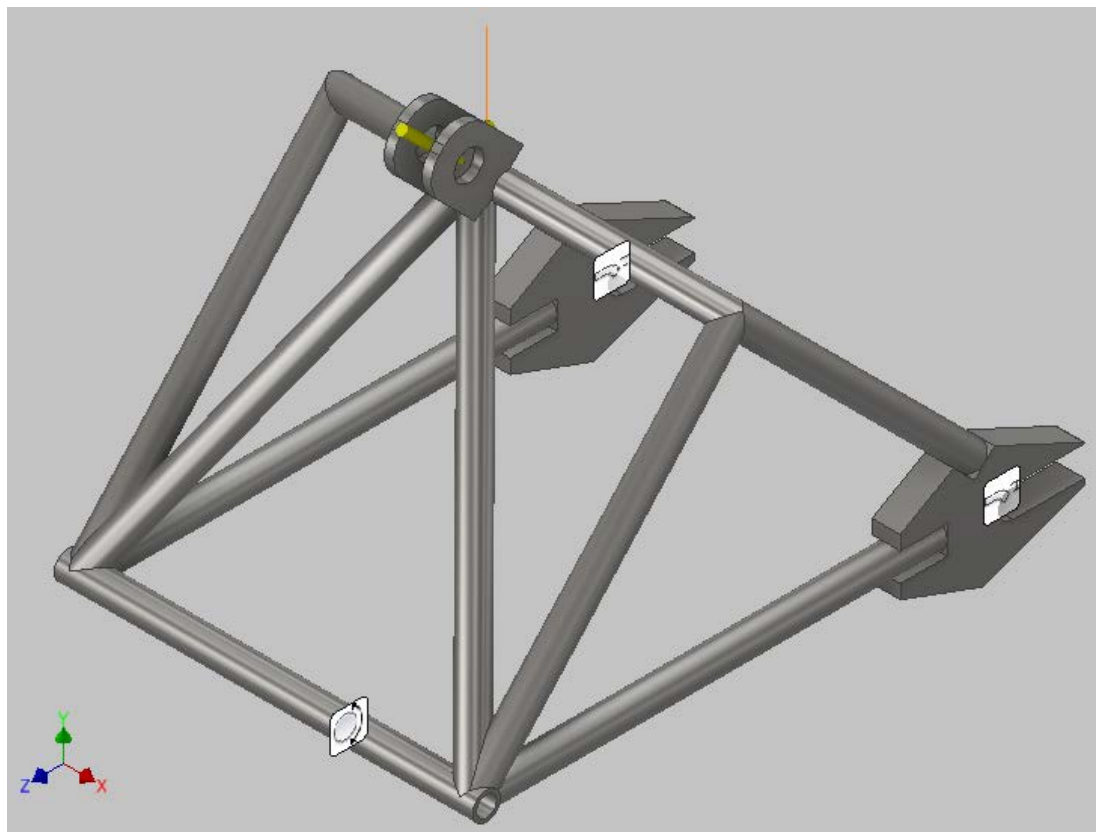


Рисунок 2.9 – Тривимірна модель для аналізу

На рисунку представлена тривимірна модель ферми задньої підвіски, навантажена силою  $Q = 470$  Н, розрахованою раніше. Також вздовж вертикальної осі діє сила тяжіння. Модель має жорсткі закріплення у місцях кріплення колеса, та опору, що може здійснювати коливальний рух навколо своєї осі у місці кріплення конструкції до ферми рами автомобіля. Використовуючи модуль аналізу напружень зручно обрати матеріал з якого вона буде зроблена, оскільки достатньо лише змінити матеріал моделі без змін геометрії, положення сил та опор. За основний критерій вибору матеріалу приймемо коефіцієнт запасу міцності 1.5.

Перша ітерація аналізу проведена з використанням алюмінію 6061 [31], що є аналогом АДЗ3. Результат аналізу представлено на рис. 2.10.

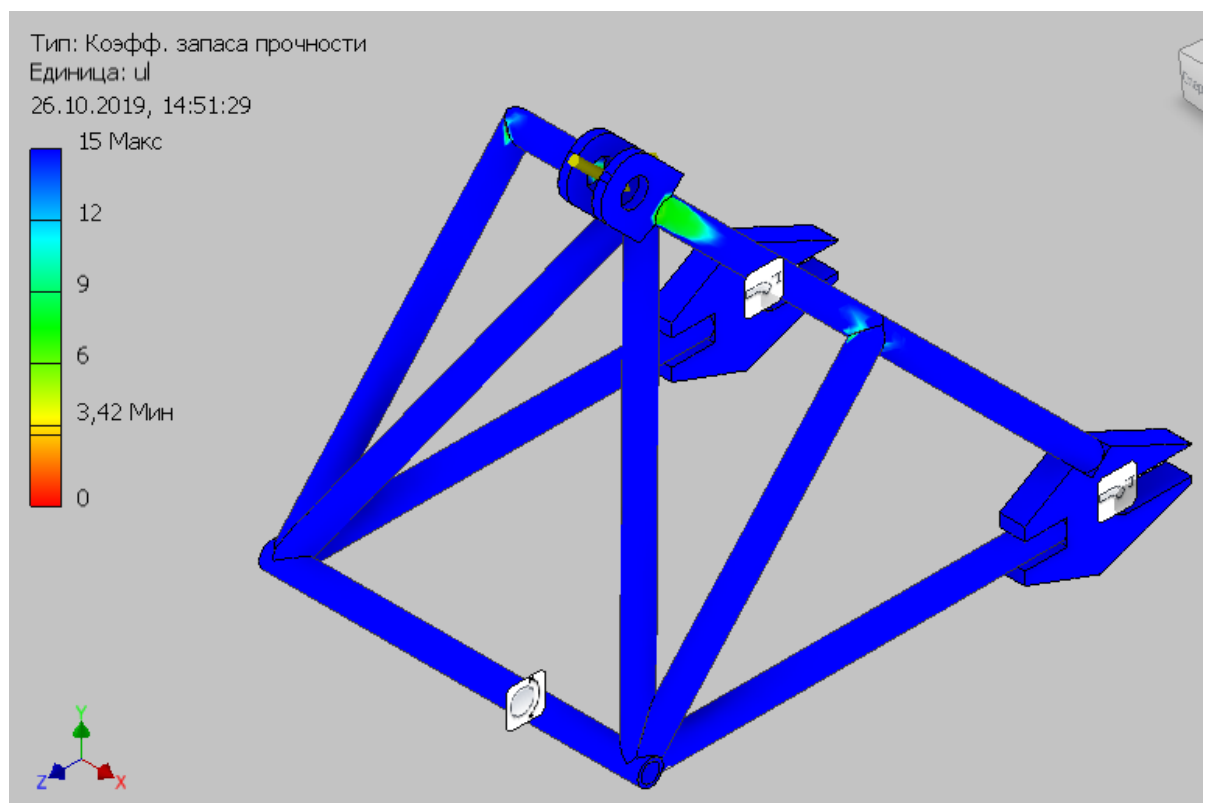


Рисунок 2.10 – Аналіз ферми з алюмінію 6061

Відповідно до отриманих результатів мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 3.42 одиниці, що задовольняє поставленим умовам. Також варто зауважити що найменших значень цей параметр досягає у місцях стику трубчастих профілів.

Аналогічно проведено аналіз для сталі 45 [32], результати якого наведено на рис. 2.11.

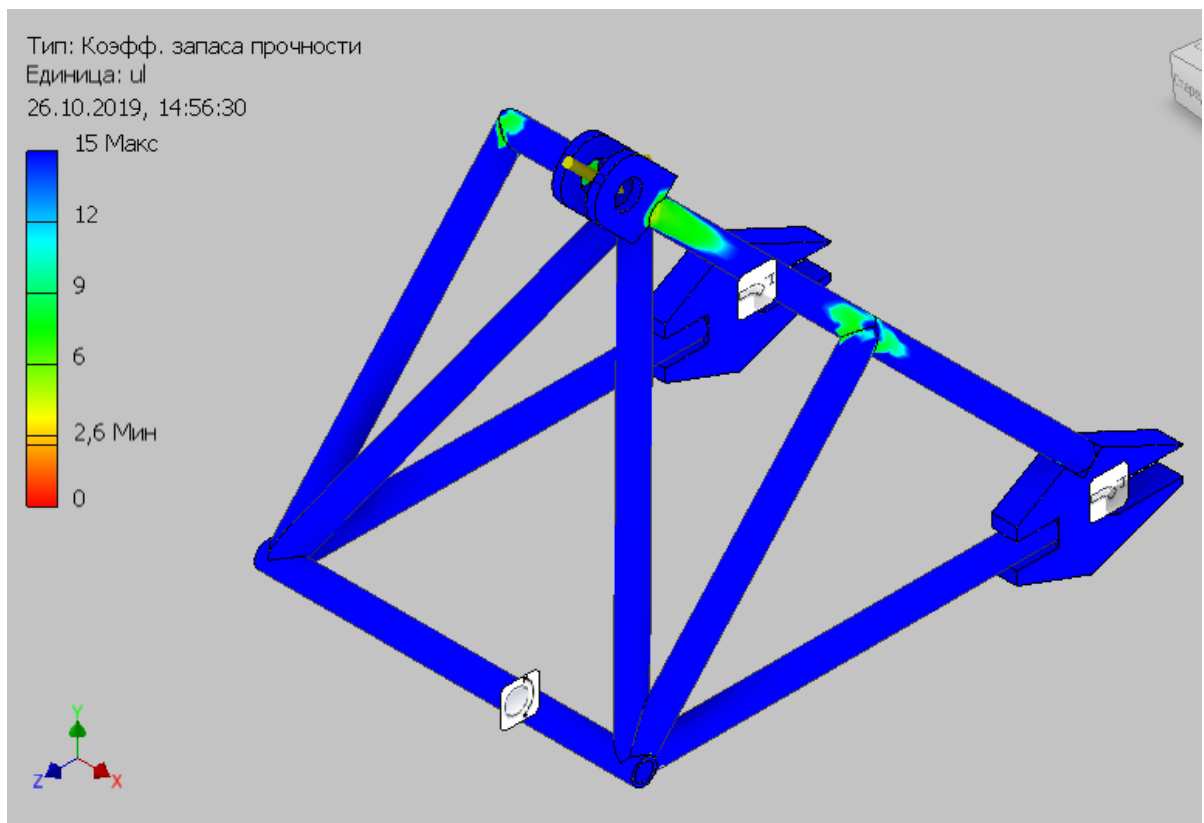


Рисунок 2.11 – Аналіз ферми зі сталі 45

Відповідно до отриманих результатів, мінімальний запас міцності конструкції зі сталі 45 становить 2.6 одиниці. Як і з попереднім матеріалом цей показник задовольняє обраний критерій.

Провести аналіз ферми на напруження для вуглецевих волокон не є можливим, оскільки даний матеріал не підтримується бібліотекою матеріалів

Autodesk Inventor, через його анізотропні властивості та проблеми з визначенням напрямку волокон та напружень вздовж чи впоперек них.

Оскільки параметри алюмінію та сталі задовольняють обраний мінімальний коефіцієнт запасу міцності, то для вибору матеріалу необхідно ввести додатковий критерій, за яким буде обрано матеріал. Важливим показником для автомобілів, особливо з електродвигунами, відіграє вага, оскільки вона на пряму впливає на показники запасу ходу та швидкості. Відповідно до цього обраний матеріал має бути легшим. Для цього зручно використовувати меню властивостей деталі, а саме її фізичних параметрів. Властивості ферми з алюмінію та сталі представлено на рис.2.12.

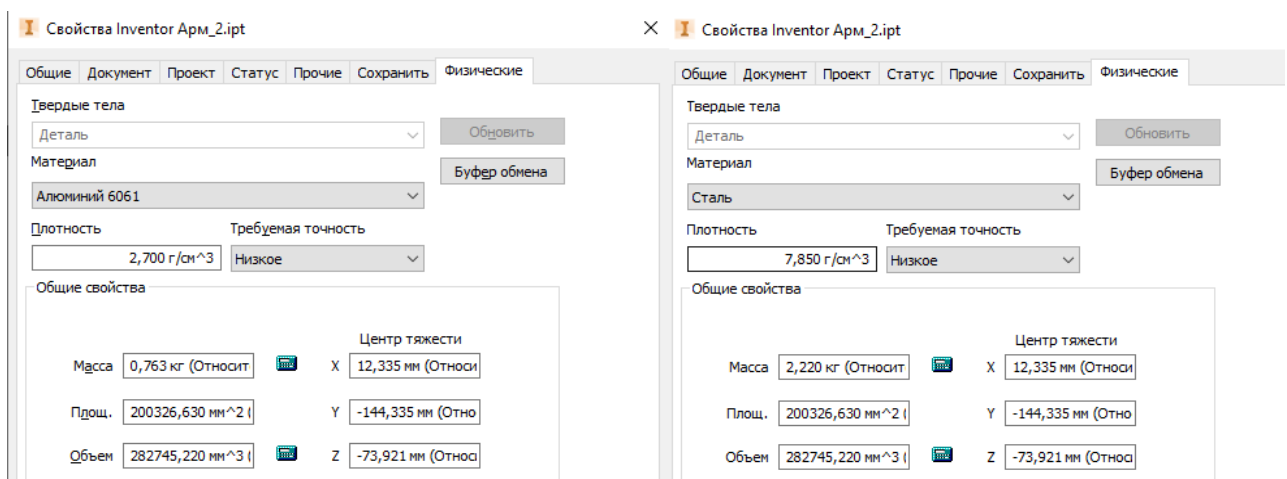


Рисунок 2.12 – Фізичні параметри ферми з алюмінію та сталі

Згідно даних представлених на рис. 2.12, ферма із алюмінію 6061 має вагу 0.763 кг, тоді коли ферма зі сталі – 2.220 кг. Відповідно до отриманих параметрів, конструкція з алюмінію 6061 легша за конструкцію зі сталі майже в 3 рази.

Таким чином результати вибору матеріалу можна звести до порівняльної таблиці, що представляє переваги та недоліки того чи іншого матеріалу перед іншими (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняння матеріалів для конструкції рами

	Алюміній 6061	Сталь 45	Композити
Переваги	Легкий, міцний, жорсткий метал, сприймає великі навантаження	Міцний, легко обробляти, дешевий	Легкий, міцний, жорсткий, простий в формуванні
Недоліки	Ціна, необхідно обладнання	Велика вага	Ціна, анізотропність

Відповідно до поставлених задач, нам необхідна висока жорсткість матеріалу, його доступність на ринках та низька вага. З цього можна зробити висновок, що серед представлених матеріалів для створення конструкції задньої підвіски найбільш придатним до використання є алюміній.

Таким чином просторова рама задньої підвіски буде виконана з алюмінію 6061.

## 2.5 Аналіз динамічних навантажень в процесі долаття перешкод

Як було розглянуто раніше, основними параметрами підвіски при долатті перешкоди, що суттєво впливають на сприйняття навантажень пасажирями та водієм є маса невідвісеної та відвісеної частин підвіски та відповідні коефіцієнти демпфування та жорсткості амортизатора та шини. Саме ці параметри будуть вхідними при моделюванні роботи підвіски під час долаття перешкоди. Також важливим є представлення перешкоди у вигляді вхідного сигналу, який буде діяти на елементи підвіски.

До розгляду у вигляді перешкоди прийнято штучні обмежувачі швидкості, оскільки ями та горби на дорозі мають стохастичний характер і закони, за якими вони змінюються, важко визначити.

Переріз штучної перешкоди, відповідно до [33], може бути представлений у вигляді арки, параболи та перерізу з плоским верхом.

В Україні використовуються штучні перешкоди тільки з арочним перерізом. Технічні вимоги до пристроїв примусового зниження швидкості в Україні регламентуються в [34]. Штучні перешкоди типу «лежачий поліцейський» мають три основні геометричні характеристики, а саме довжину, ширину та висоту. Для створення математичної моделі нам достатньо лише двох параметрів, а саме висоти та довжини профілю. Відповідно до [34] довжина перешкоди становить 600 мм, а висота 60 мм.

Визначившись з параметрами перешкоди наступним кроком є математичний її опис, для створення параметричного сигналу. Формою перешкоди є частина кола, яку також можна представити у вигляді частини коливальної функції, з відповідною амплітудою та періодом. Математичний опис перешкоди дозволяє визначити залежність зміни висоти при подоланні перешкоди від часу її подолання, де, висота та довжина профілю регламентовані

[34], кутова швидкість визначається з параметрів швидкості та довжини профілю. Формула дуги кола буде наступною:

$$Y = \frac{H}{2} \cdot (1 - \cos(w \cdot t))$$

Результатом математичного опису є графік долаття штучної перешкоди з обраними параметрами за час, відповідно до швидкості з якою автомобіль рухається. Результат представлено на рис. 2.13.

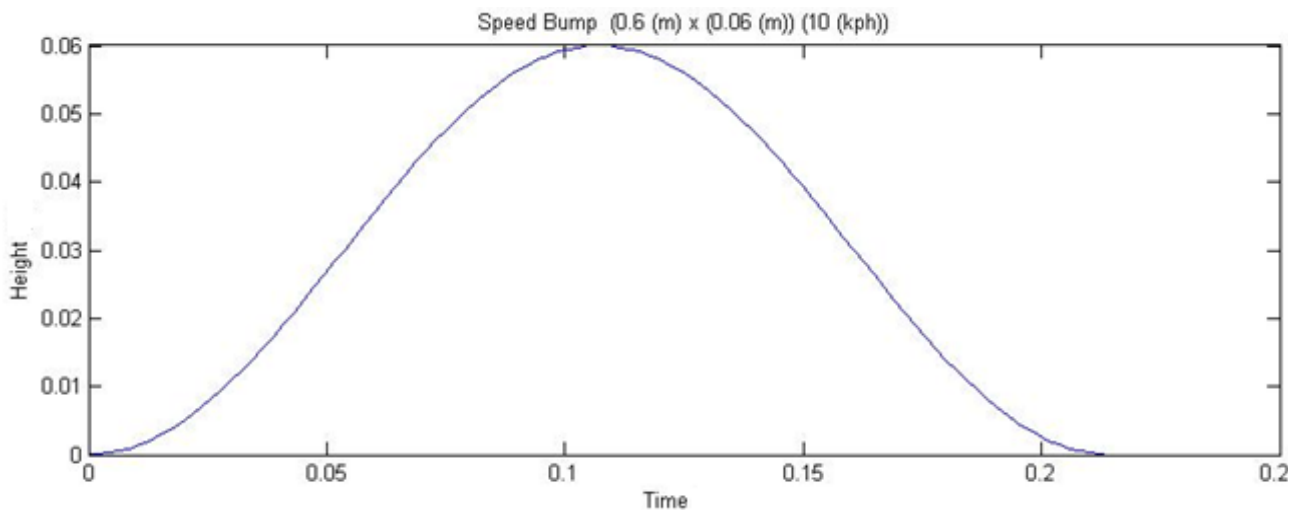


Рисунок 2.13 – Математичне представлення штучної перешкоди

Відповідно до отриманого результату можна зробити висновок, що автомобіль на швидкості 10 км/год подолає перешкоду з заданими параметрами за дві десятих секунди. Код програми, розроблений у MatLab, представлений у додатку А.

Наступний крок вирішення поставленої задачі – створення математичної моделі підвіски колеса з двома ступенями свободи.

Математична модель передбачає такі параметри, як підресорена та непідресорена маси, коефіцієнти жорсткості амортизатора та шини, коефіцієнти демпфування амортизатора та шини, переміщення підресореної та непідресореної мас відповідно та вхідна функція штучної перешкоди, визначена раніше. Модель представлено на рис. 2.14.

Відповідно до моделі складено диференційні рівняння переміщення кожної маси, а для зручності представлення їх в середовищі MatLab Simulink їх переписано відносно найвищої похідної.

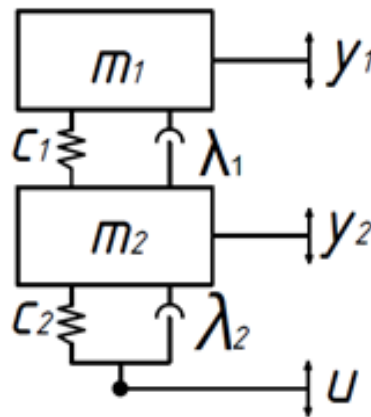


Рисунок 2.14 – Модель підвіски з двома ступенями свободи

Диференційні рівняння роботи підвіски з двома ступенями свободи наступні:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1 = \frac{c_1}{m_1} \cdot (y_2 - y_1) + \frac{\lambda_1}{m_1} \cdot (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) \\ \ddot{y}_2 = \frac{\lambda_2}{m_2} \cdot (\dot{u} - \dot{y}_2) + \frac{c_2}{m_2} \cdot (u - y_2) - \frac{\lambda_1}{m_2} \cdot (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - \frac{c_1}{m_2} \cdot (y_2 - y_1) \end{cases}$$

Відповідно до диференціальних рівнянь створено схему, для визначення переміщення кожної маси, яка представлена на рис. 2.15.

Для зміни параметрів моделі, що залежать від геометрії перешкоди чи швидкості автомобіля достатньо змінити їх лише у програмі перешкоди, оскільки створена модель підвіски використовує значення з робочого середовища програми, тому не потребує змін.

Наступним кроком є визначення параметрів підвіски, таких як підресорена та непідресорена маси, коефіцієнти демпфування та жорсткості амортизатора та шини.

Відповідно до [16] коефіцієнт жорсткості обраної пружини розраховується за наступною формулою:

$$C = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n'}$$

де  $G$  – модуль пружності другого роду,  $d$  – діаметр прутка,  $D$  – діаметр пружини,  $n$  – кількість робочих витків. Діаметр пружини – відстань між серединою прутків. Модуль пружності другого роду становить  $8.2 \cdot 10^4$  МПа.

Таким чином, підставивши дані у формулу, отримаємо наступне:

$$C_1 = \frac{8.2 \cdot 10^4 \cdot (8 \cdot 10^{-3})^4}{8 \cdot 0.06^3 \cdot 13} = 14952 \text{ Н/м}$$

Коефіцієнт жорсткості та демпфування шини колеса прийнято  $c_2 = 135 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$ ,  
 $\lambda_2 = 1.4 \frac{\text{кНс}}{\text{м}}$  [35].

Коефіцієнт демпфування, визначений практично для сталевих пружин, прийнято  $\lambda_1 = 0.3 \frac{\text{кНс}}{\text{м}}$  [36].

Наступним кроком є визначення мас, що впливають на роботу підвіски під час долаття перешкоди. Вага невідресореної маси складається з ваги шин, мотор – колеса, ферми підвіски, елементів кріплення, а також самого амортизатора з пружиною. Прийнято вагу невідресореної маси  $m_2 = 20$  кг.

Для того, щоб визначити вагу відресореної маси необхідно встановити розподілення мас між осями. Для цього можна визначити положення зведеного центра мас батареї, людини з візком та рами з обшивкою відносно задньої осі та встановити співвідношення між навантаженням передньої осі та задньої.

Відповідно до рис. 2.7, знаючи положення ваги батареї, людини та рами з обшивкою та прийнявши початок відліку в задній осі можна знайти положення зведеного центра мас за формулою [37]:

$$x_c = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2 + \dots + x_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{0.55 \cdot 100 + 0.8 \cdot 105 + 2 \cdot 100}{100 + 105 + 100} = 1.1$$

де  $x$  – відстань від початку відліку до маси,  $m$  – маса тіла.

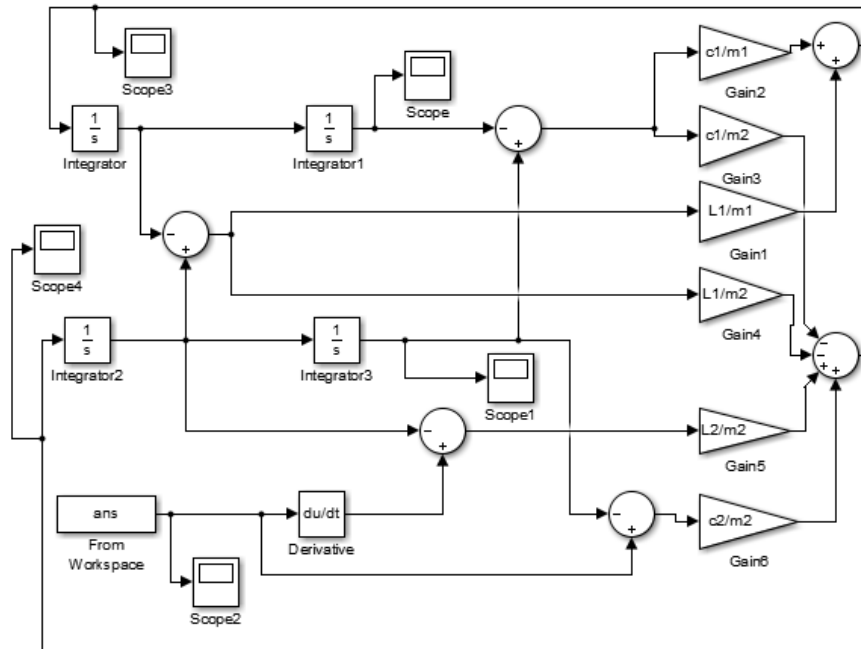


Рисунок 2.15 – Модель MatLab Simulink

Таким чином, співвідношення ваги, що діє на передню вісь, до ваги, що діє на задню становить 52.5 на 47.5.

Врахувавши це і знаючи вагу підресореної маси, що складається з ваги рами, обшивки, батареї та людини з візком, що становить 305 кг, можна вважати, що вага, діюча на задню вісь становить 144 кг, а на одне колесо буде діяти вага в 72 кг.

Таким чином, прийнято вагу підресореної маси  $m_1 = 72$  кг.

Отримані данні вносяться в командне вікно інтерфейсу MatLab та після запуску зберігаються в робочому середовищі.

Після внесення даних та запуску моделі, зображеної на рис. 2.15, подвійним натиском миші на елементи відображення сигналу у відповідному місці можна побачити графіки переміщення підресореної та непідресореної мас, зображені на рис. 2.16 та 2.17 відповідно.

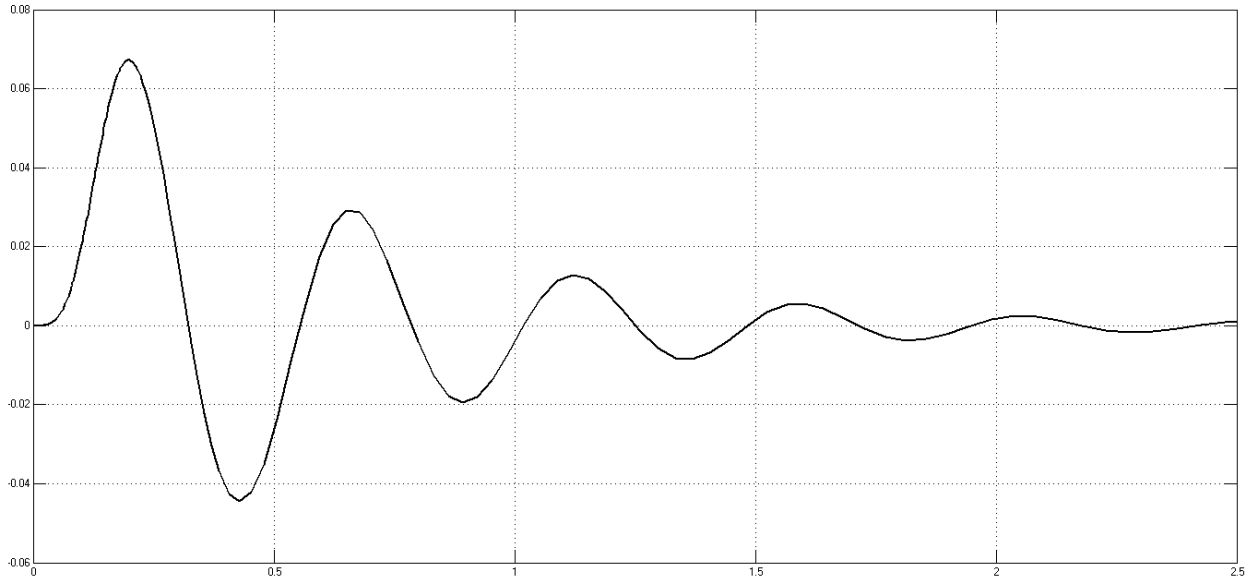


Рисунок 2.16 – Переміщення підресореної маси

З рис. 2.16 можна зробити висновок, що коливання підресореної маси затухають за дві секунди, а максимальна амплітуда коливань становить 67 мм.

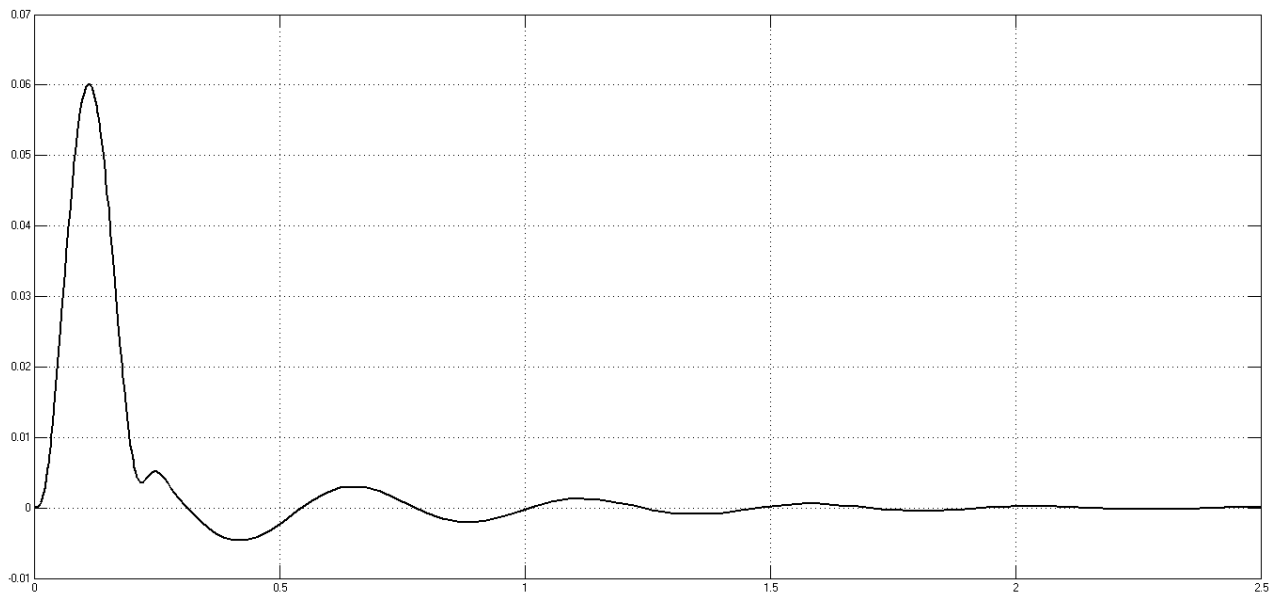


Рисунок 2.17 – Переміщення невідресореної маси

Відповідно до рис.2.17, коливання невідресореної маси гасяться приблизно за півтори секунди. Також чітко видно час, коли колесо, спускаючись з

перешкоди, торкається рівної дороги. В цьому місці чітко видно скачок сигналу. Максимальна амплітуда коливання становить 60мм.

Таким чином, відповідно до рис. 2.16, частота коливання підресореної мас становить приблизно два коливання в секунду.

Відповідно до формули (1.1) можна оцінити інтенсивність сприйняття коливань:

$$k = \frac{18}{\sqrt{1 + \left(\frac{w_0}{w}\right)^2}} = \frac{18}{\sqrt{1 + \left(\frac{62.8}{2}\right)^2}} = 0.573$$

Відповідно до табл. 1.2, значення отриманої інтенсивності коливань відчуються слабо при постійному характеру роботи.

Таким чином, синтезована підвіска гасить коливання достатньо для комфортної експлуатації транспортного засобу. Створена модель може бути використана для аналізу долаття будь яких перешкод транспортом з різною швидкістю.

## **Висновки по розділу**

У розділі було проаналізовано конструкцію задньої підвіски, та на основі отриманих результатів, створено ферму підвіски та проведено перевірку елементів кріплення на зріз.

Проведено аналіз матеріалів з яких виготовляють рамні конструкції та обрано матеріал підвіски – Алюміній 6061, аналог АДЗЗ.

Проведено аналіз додання перешкод транспортним засобом, з обраними параметрами підвіски. Аналіз встановив, що інтенсивність коливань, які виникають при доданні перешкоди, незначна та відчувається слабо.

Створена математична модель та модель MatLab Simulink може бути використана для аналізу підвісок з будь якими параметрами.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ

#### 3.1 Технологія виготовлення системи задньої підвіски

Конструкція підвіски складається з трьох базових елементів, таких як рамна трубчаста конструкція фрезеровані площини для кріплення колеса та місце для кріплення амортизатора. Виготовлення задньої підвіски передбачає використання таких конвенціональних технологій як фрезерування, просвердлювання отвору та зварювання. На рис. 3.1 зображено ескіз площадки під кріплення колеса, яку необхідно виготовити. Товщина площини – 15 мм. Базовий технологічний процес представлено у табл. 3.1.

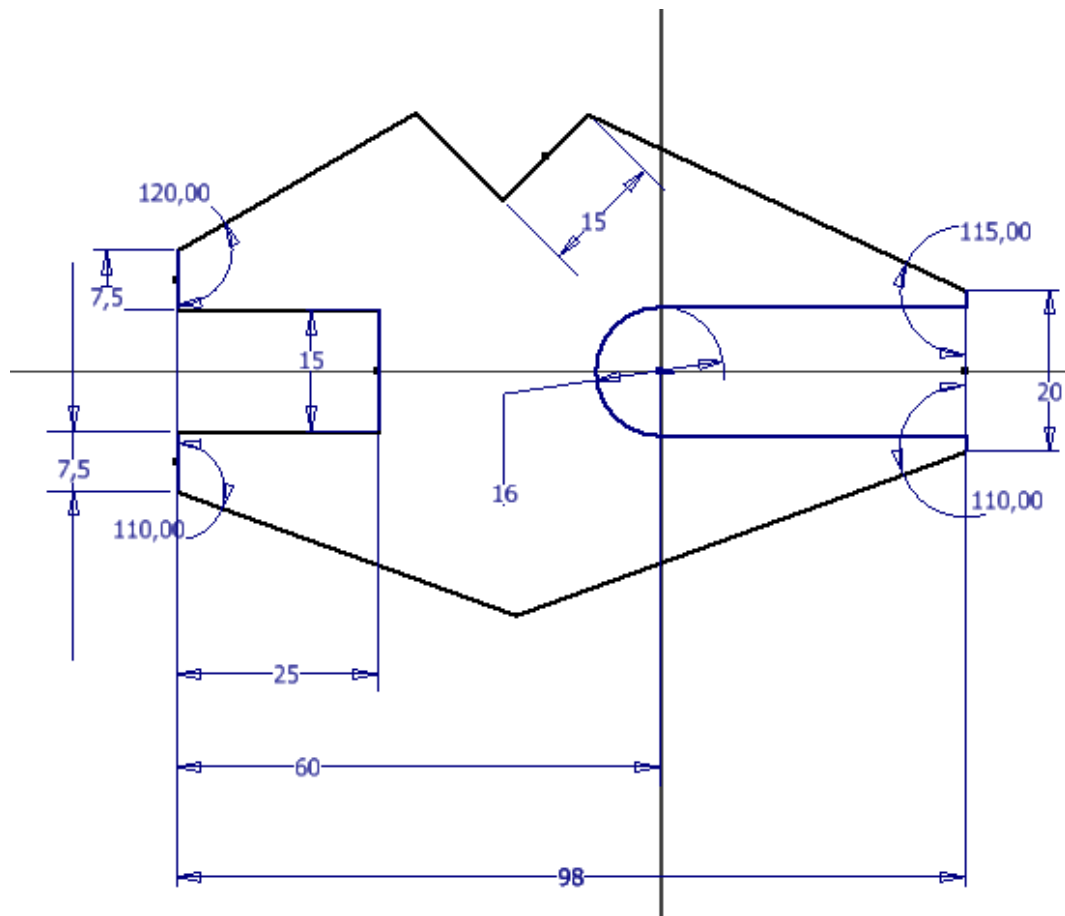


Рисунок 3.1 – Ескіз площадки для кріплення колеса

Геометрія площадки для кріплення колеса визначена відповідно до параметрів обраного мотор-колеса компанії QS motor відповідно до креслень опублікованих у на сайті компанії [23].

Таблиця 3.1 – Базовий технологічний процес пластини для кріплення колеса

#	Назва операції	Опис операції
005	Заготівельна	Відрізати лист довжиною 100мм та шириною 70мм;
010	Фрезерна	Фрезерувати за ескізом профіль деталі;
015	Фрезерна	Фрезерувати фаски;
020	Фрезерна	Фрезерувати площину заготовки;
025	Шліфувальна	Шліфувати посадочні поверхні;
030	Контрольна	Контролювати площинність та точність приєднувальних поверхонь.

Враховуючи те, що виготовлення даної деталі є одиничним виробництвом, фрезерування доцільно проводити на універсальному устаткуванні. Таким чином верстат для обробки цієї деталі – 6P82Ш [38]. Фрезерування площини проводиться торцевою фрезою відповідно до [39]. Для фрезерування контуру деталі може бути використана кінцева фреза відповідно до [40].

Наступним кроком є виготовлення місця для кріплення амортизатора до системи підвіски. Основні геометричні розміри зображено на рис. 3.2.

Дана деталь також може бути виготовлена на верстаті 6P82Ш, оскільки це одиничне виробництво. Фрезерування площини деталі та контуру проводяться фрезами відповідно до [39] та [40]. Отвір можна виконати спіральним свердлом відповідно до [41]. Остаточна обробка отвору проводиться розгорткою відповідно до [42]. Базовий технологічний процес виготовлення деталі представлено у табл. 3.2.

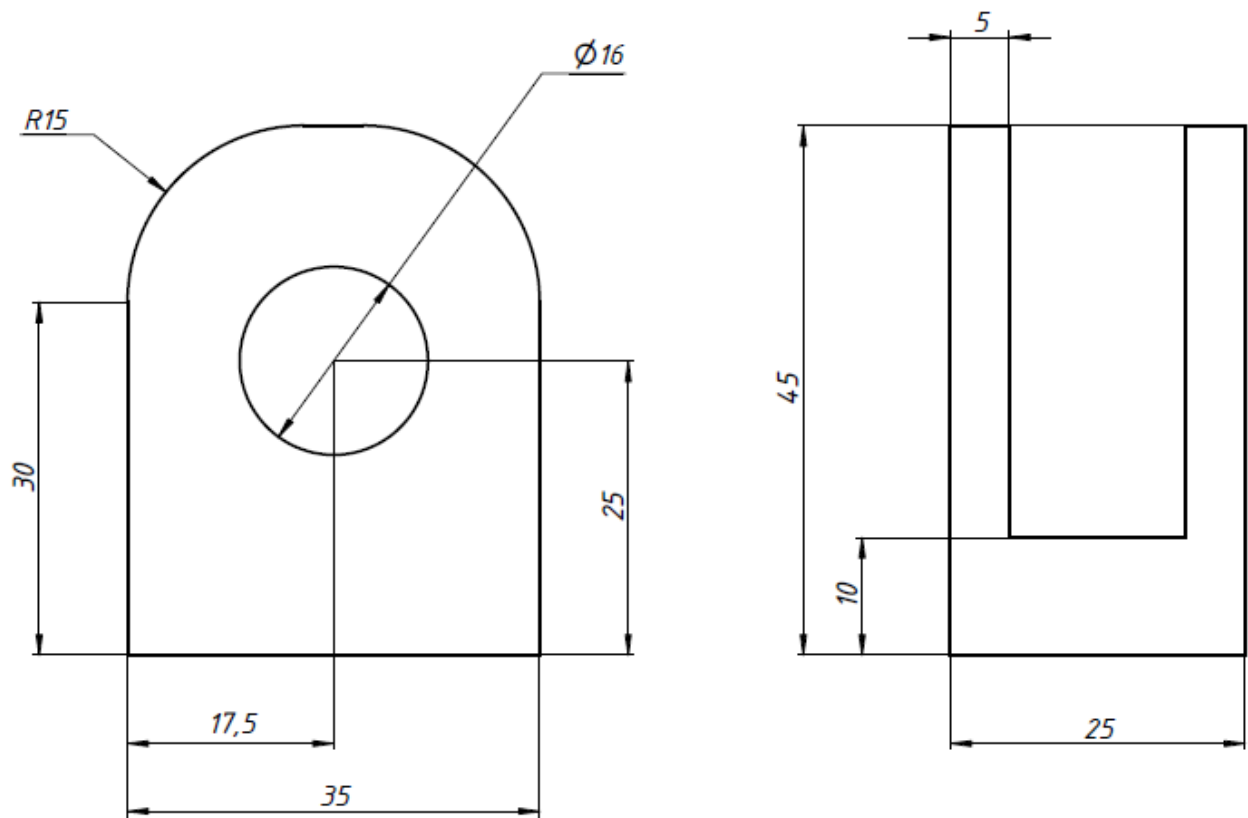


Рисунок 3.2 – Ескіз деталі для кріплення амортизатора

Таблиця 3.2–Базовий технологічний процес для деталі для кріплення амортизатора

#	Назва операції	Опис операції
005	Заготівельна	Підготувати заготівку 50x40x30 ;
010	Фрезерна	Фрезерувати площину заготівки;
015	Фрезерна	Фрезерувати контур за ескізом;
020	Свердлильна	Свердлити отвір;
025	Розгортальна	Розгорнути отвір;
030	Шліфувальна	Шліфувати приєднувальні поверхні;
035	Контрольна	Контролювати площинність та точність приєднувальних поверхонь.

Технологія виготовлення рамної конструкції передбачає зварювання. Для зварювання алюмінієвих конструкцій зварні напівавтомати з режимом імпульсного зварювання [43]. Завдяки імпульсам проходить пробивка оксидної

плівки, що має температуру плавлення 2050 градусів за Цельсієм, що більше ніж температура плавлення основного сплаву. Таким чином зменшується перегрів алюмінію та можливість прогару. При зварюванні алюмінію у якості захисного газу необхідно використовувати чистий аргон, на відміну від зварювання сталі, де використовується суміш аргону та вуглекислого газу. Перед зварюванням деталей з алюмінію рекомендується підготувати поверхні зварювання, а саме протравити їх або зачистити поверхні металевою щіткою, щоб збити оксидну плівку. Це допоможе підвищити швидкість зварювання та зменшить короблення деталей.

Оскільки ферма, що буде зварюватись має невеликі габаритні розміри та малу кількість труб для зварювання, то для точного позиціонування деталей відносно один одного передбачено використання пристосування, а саме зварного стола та затискних пристосувань, зображених на рис. 3.3 [44].

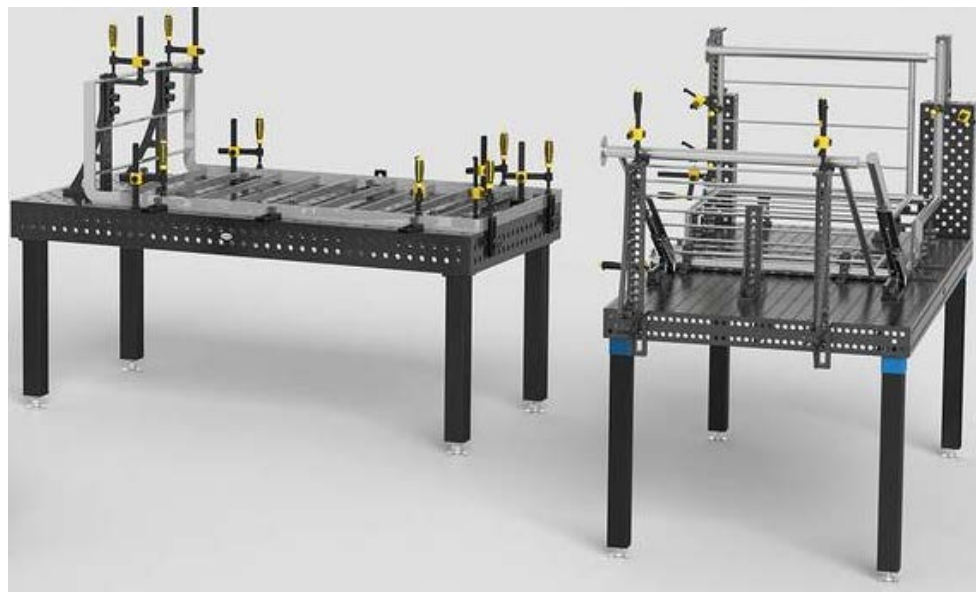


Рисунок 3.3 – Зварювальний стіл з пристосуванням

Для синтезованої конструкції використовуються алюмінієві труби з матеріалу Алюміній 6061, з розмірами 15x2 відповідно до стандарту [45].

Послідовність зварювання труб представлено у табл. 3.3, відповідно до рис. 3.4.

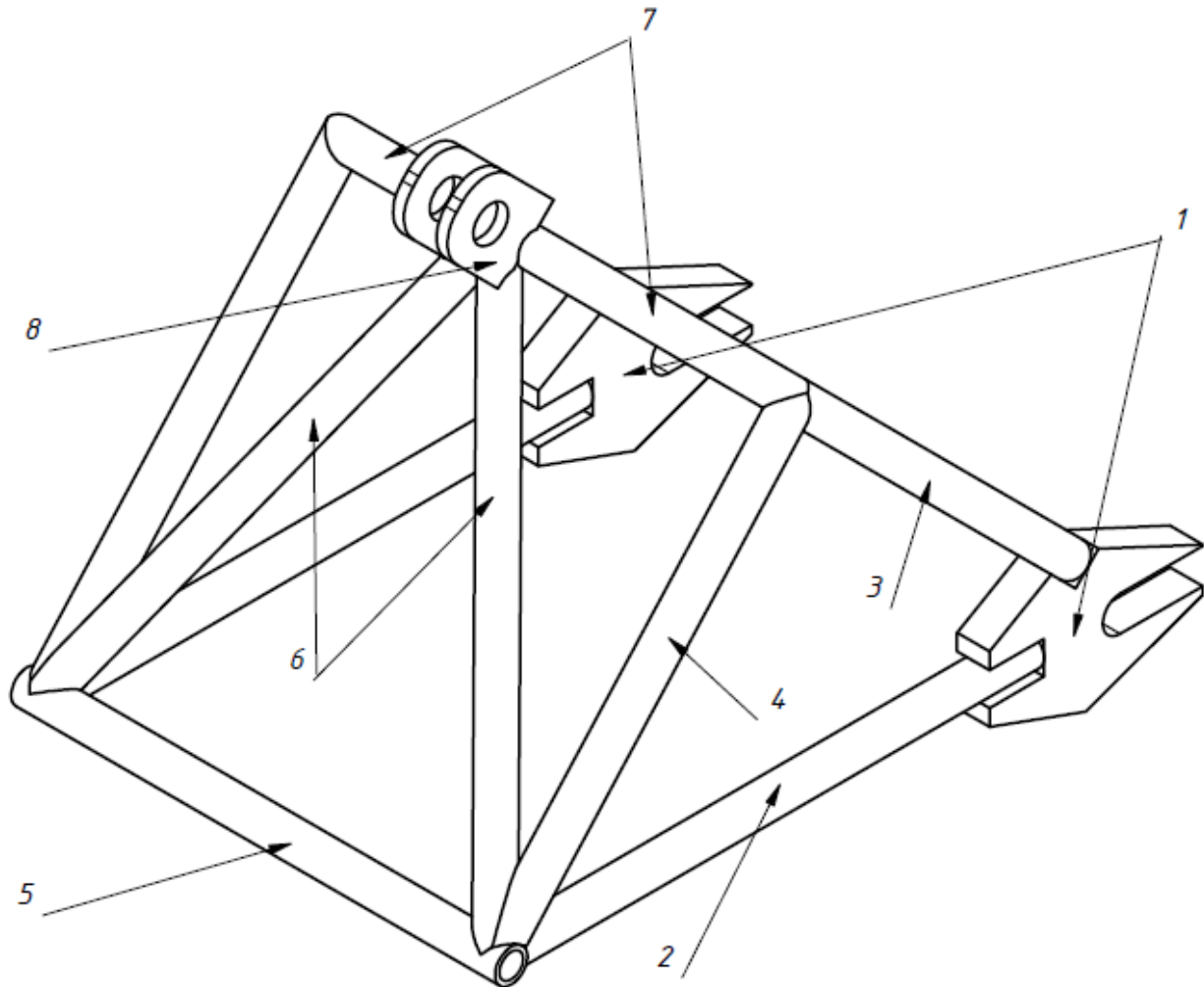


Рисунок 3.4 – Нумерація елементів рами підвіски

Майже завжди при зварюванні алюмінію при завершенні виникає кратер, так як алюміній швидко стає твердим. Для цього у багатьох зварних апаратах передбачена спеціальна програма для зварювання алюмінію, що передбачає збільшений стартовий струм на початку зварювання, щоб пробити оксидну плівку, та менший струм в кінці зварювання, для заварювання кратеру.

Таблиця 3.3–Базовий технологічний процес зварювання рами підвіски

#	Назва операції	Опис операції
005	Заготівельна	Відрізати труби на необхідну довжину;
010	Підготовча	Встановити площини на зварювальний стіл;
015	Зварювальна	Варити труби 2 до площин 1;
020	Зварювальна	Варити трубу 5 до труб 2;
025	Зварювальна	Варити труби 3 до площин 1;
030	Зварювальна	Варити труби 4 до труб 2 та 5;
035	Зварювальна	Варити труби 4 до труб 3;
040	Зварювальна	Варити труби 6 до труб 5,2 та 4;
045	Зварювальна	Варити труби 7 до труб 6, 4 та 3;
050	Зварювальна	Варити деталь 8 до труб 6 та 7;
055	Слюсарна	Обробити зварні шви;
060	Контрольна	Контролювати точність позиціонування.

Таким чином, технологія виготовлення конструкції рами ділиться на виготовлення трьох елементів, наведених вище. Відповідно до обраної конструкції підвіски геометрія досить проста, та є одиничним виробництвом, тому використання стапелів та великогабаритних зварних установок не є доцільним.

### 3.2 Реалізація макету рами задньої підвіски

Для демонстрації конструкції рами задньої підвіски, було вирішено створити макет за допомогою адитивних технологій. Технологія, використана для створення макету – FDM (Fused Deposition Modeling). Дана технологія передбачає наплавлення шарів пластику один за одним.

Створену у CAD середовищі модель необхідно експортувати у формат STL, що широко використовується для зберігання тривимірних моделей для використання в адитивних технологіях. Даний формат зберігає поверхню деталі у вигляді набору трикутних граней з їх нормаллями. Недоліком формату є низька точність геометрії та великий розмір файлу, якщо модель досить складна.

Тривимірний макет створено на базі адитивної лабораторії норвезького університету NTNU у місті Йовік [46]. Фото лабораторії зображено на рис.3.5.

Лабораторія укомплектована принтерами Original Prusa i3 MK3S 3D [47] у кількості 48 штук та трьома MSLA принтерами Original Prusa SL1 3D [48].

Для вільного доступу доступні принтери технології FDM, з попереднім прослуховуванням теоретичної лекції про принципи роботи. Принтер Original Prusa i3 MK3S 3D зображено на рис. 3.6.

Характеристики принтеру наступні:

- Розміри робочої зони: 250x250x250 мм;
- Діаметр сопла: 0.4 мм з можливістю заміни;
- Висота шару: від 0.5 мм;
- Споживана потужність: PLA – 80 Вт/ABS – 120 Вт.

До переваг даного принтеру також можна віднести оптичний датчик філелементу, магнітний стіл, та повна відкритість прошивки.

До недоліків варто віднести його високу ціну в майже 700 євро.

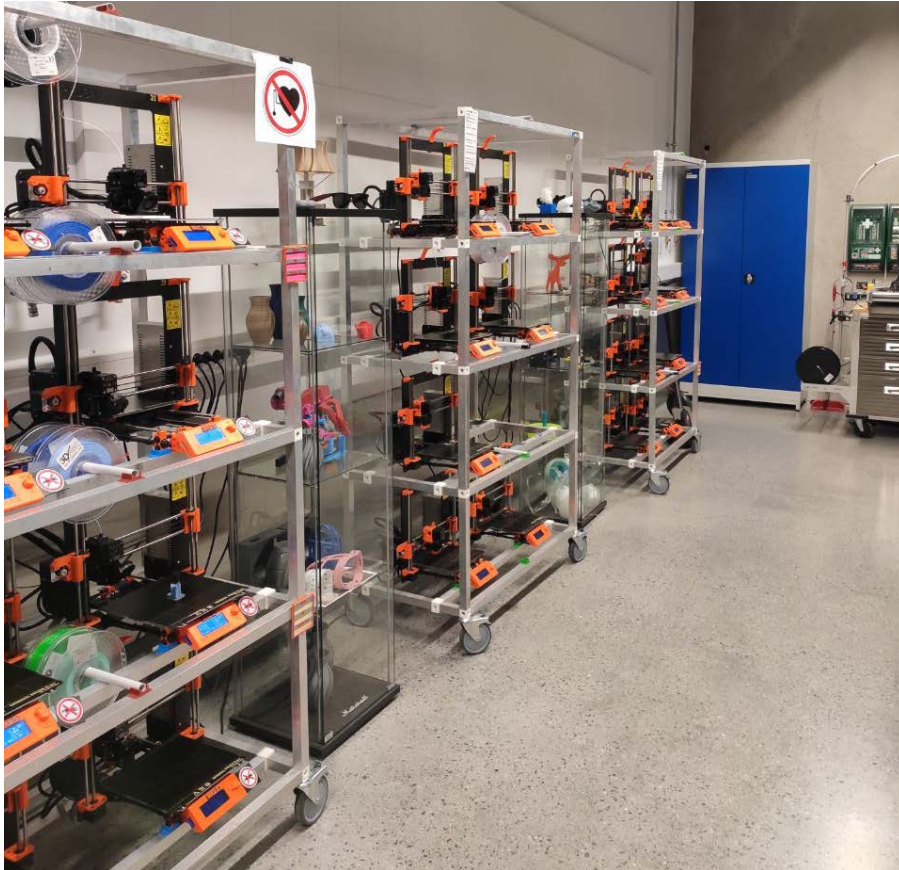


Рисунок 3.5 – Адитивна лабораторія NTNU



Рисунок 3.6 – Принтер Original Prusa i3 MK3S 3D

Конвертовану STL модель необхідно завантажити у слайсер для генерації G-коду, що буде передано на обраний принтер.

Також, важливою перевагою обраного принтеру є наявність свого слайсеру, заточеного під роботу з ним. PrusaSlicer дозволяє з мінімумом налаштувань згенерувати керуючу програму для принтеру. Прототип рами у PrusaSlicer та вид інтерфейсу слайсеру зображено на рис.3.7.

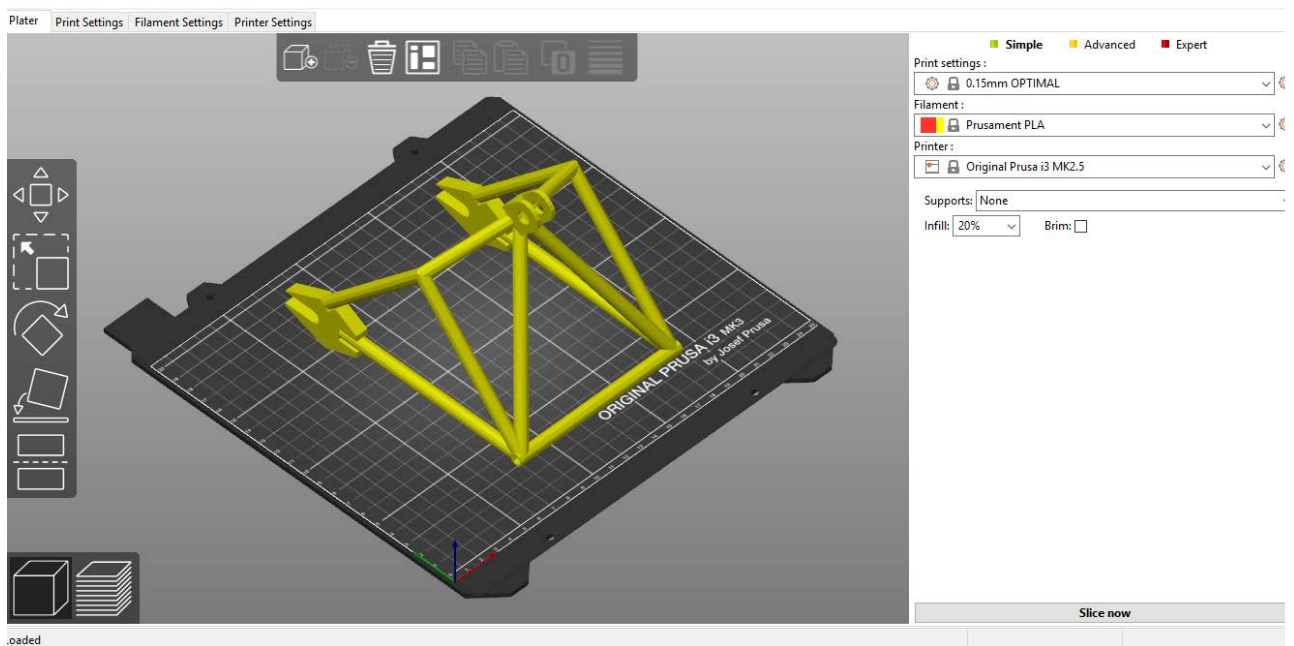


Рисунок 3.7 – Вид інтерфейсу PrusaSlicer

Основними параметрами, що обираються в слайсері, є налаштування принтеру, що визначають якість товщину шару та, як наслідок, деталізацію деталі, філелемент, а саме тип пластику та версія принтеру. Також можна обрати тип підтримок, а саме чи будувати їх всюди чи тільки для елементів над робочим столом, або ж взагалі обійтися без них. Також доступний вибір відсотку заповнення деталі. Таким чином зовнішній периметр друкується 100% заповненням, а внутрішня частина – обраним із меню. Важливо відзначити опцію створення спідниці навколо деталей, що необхідно для деталей з малою площею

контакту з робочим столом. Таким чином, обравши необхідні параметри, можна згенерувати керуючу програму для принтера. На рис. 3.8 зображено попередній вигляд процесу друку для наступних параметрів:

- Print settings: 0.15mm QUALITY MK3;
- Filament: PLA;
- Printer: Original Prusa i3 MK3S;
- Supports: Everywhere;
- Infill: 15%.

Модель друкувалась у масштабі 1:4, що зумовлено робочою площею принтера та часом друку, а також ціною матеріалів.

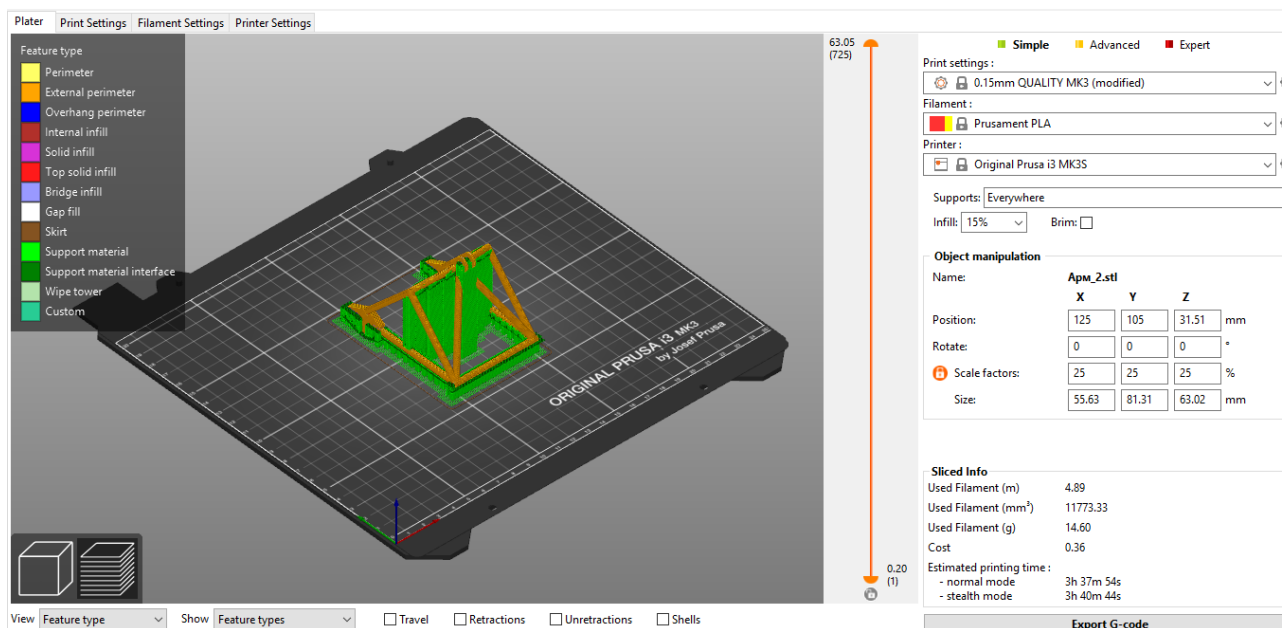


Рисунок 3.8 – Попередній вигляд деталі

Час друку, розрахований слайсером, становить 3 години 38 хвилин. Для друку використано 4.89 м пластику, а вага деталі становить 14.6 гр.

Згенерований код керуючої програми завантажується в принтер, після чого деталь друкується. Елемент коду керуючої програми наведено у Додатку Б. Результат друку зображено на рис.3.9.

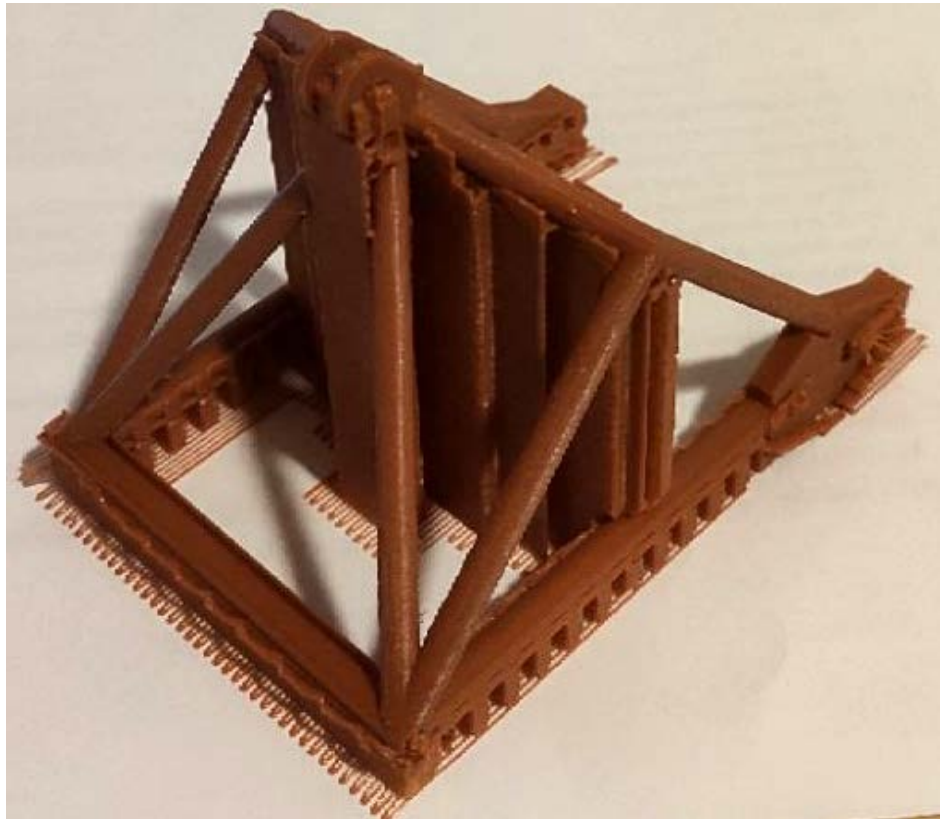


Рисунок 3.10 – Результат друку

Наступним кроком є постобробка, а саме видалення підтримок з деталі. Варто зауважити, що під час постобробки підтримки та інші допоміжні конструкції можуть важко видалятися, тому рекомендується прогрівати місце, в якому матеріал підтримки та деталі контактують. Оскільки матеріал підтримки друкується не повним заповненням, то при нагріванні він перший піддається та може бути вилучений. Враховуючи особливості пластику PLA, також можна використати хімічні розчинники, але на відміну від пластику ABS, його не можна розчинити відносно безпечним ацетоном, тоді коли розчинники PLA досить

отруйні, тому при використанні хімічних розчинників необхідно притримуватись правил безпеки при роботі з хімікатами [50].

На рисунку 3.11 зображена ферма задньої підвіски після видалення підтримок.

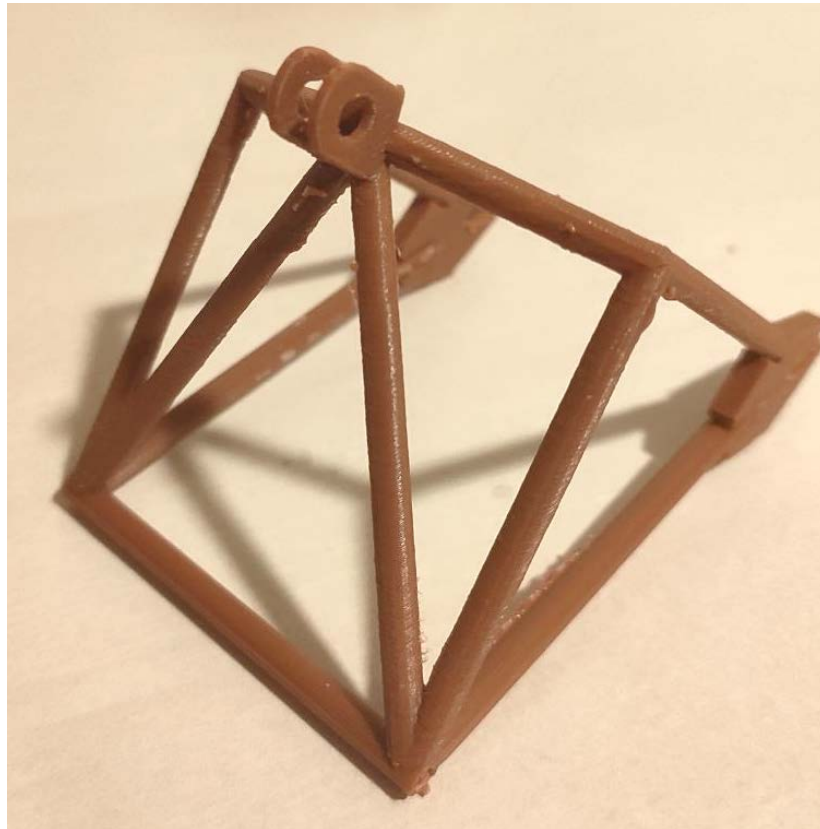


Рисунок 3.11 – Рама підвіски

Проаналізувавши отриману деталь, можна сказати, що вона була надрукована без помилок, та відображає поведінку ферми підвіски. Високу якість друку та відсутність критичних помилок в геометрії забезпечує тип моделі з якої було експортовано деталь, а саме CAD модель, оскільки робота CAD програм базується на використанні математичного процесора, який описує геометрію моделі, що в наступному значно спрощує експорт моделі у інші формати та роботу з нею.

### 3.3 Реалізація макету електричної платформи оді

Під час презентації проекту замовнику досить часто виникає ситуація, коли замовник не оперує знаннями у тій чи іншій галузі інженерії і діалог конструктора та замовника заходить в глухий кут. У такому випадку необхідно створити презентаційну модель розробки, яка відображатиме основні ідеї та переваги проекту.

Таким чином, постає завдання створення макету, який відображає дизайнерські рішення проекту, відповідно до конструкторських рішень, для презентації.

Базуючись на представлених на рис. 2.2 ескізах дизайну проекту, вирішено створити тривимірну модель платформи оді та надрукувати за допомогою представлених у попередньому пункті адитивних технологій.

Для вирішення цієї проблеми обрано середовище для моделювання Maya [51], компанії Autodesk. Інтерфейс програми зображено на рис.3.12.

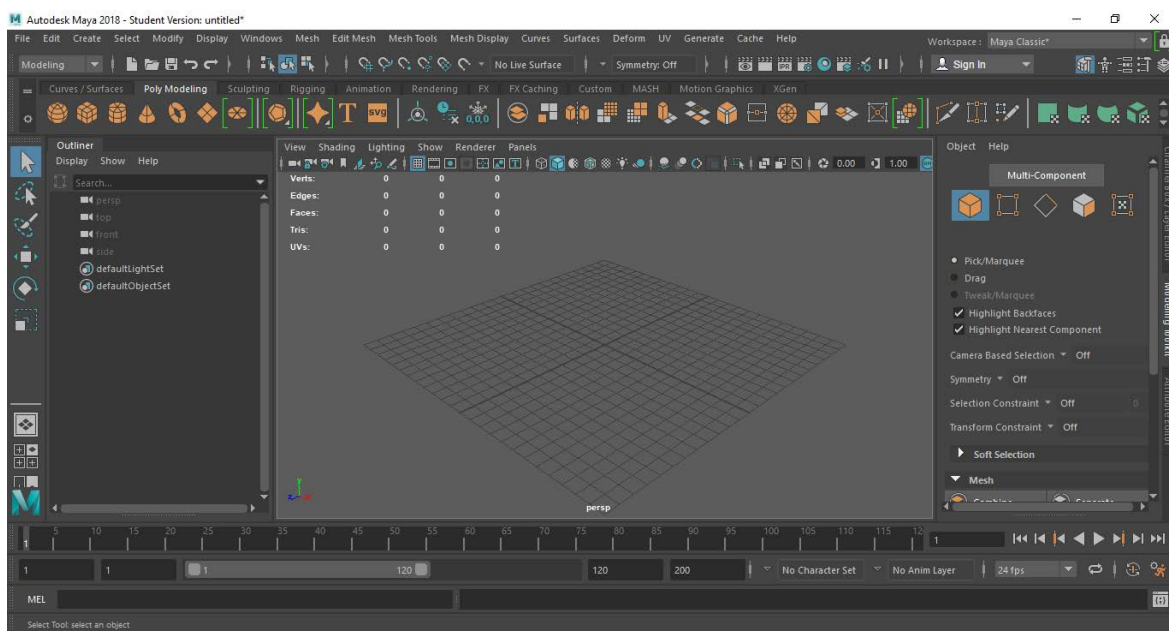


Рисунок 3.12 – Інтерфейс Maya 2018

Maya – потужний засіб роботи з тривимірними моделями, який дозволяє створювати моделі, шляхом полігонального редагування, працювати з анімацією, різними видами симуляцій та має в наявності програмне забезпечення для рендеру. Для навчальних закладів програмне забезпечення компанії Autodesk надається безкоштовно на три роки без суттєвих обмежень функціоналу.

Для поставленої задачі нам буде достатньо лише можливостей полігонального редагування та створення.

Відповідно до дизайнерських та конструкторських рішень було створено тривимірну модель платформи, представлену на рис. 3.13.

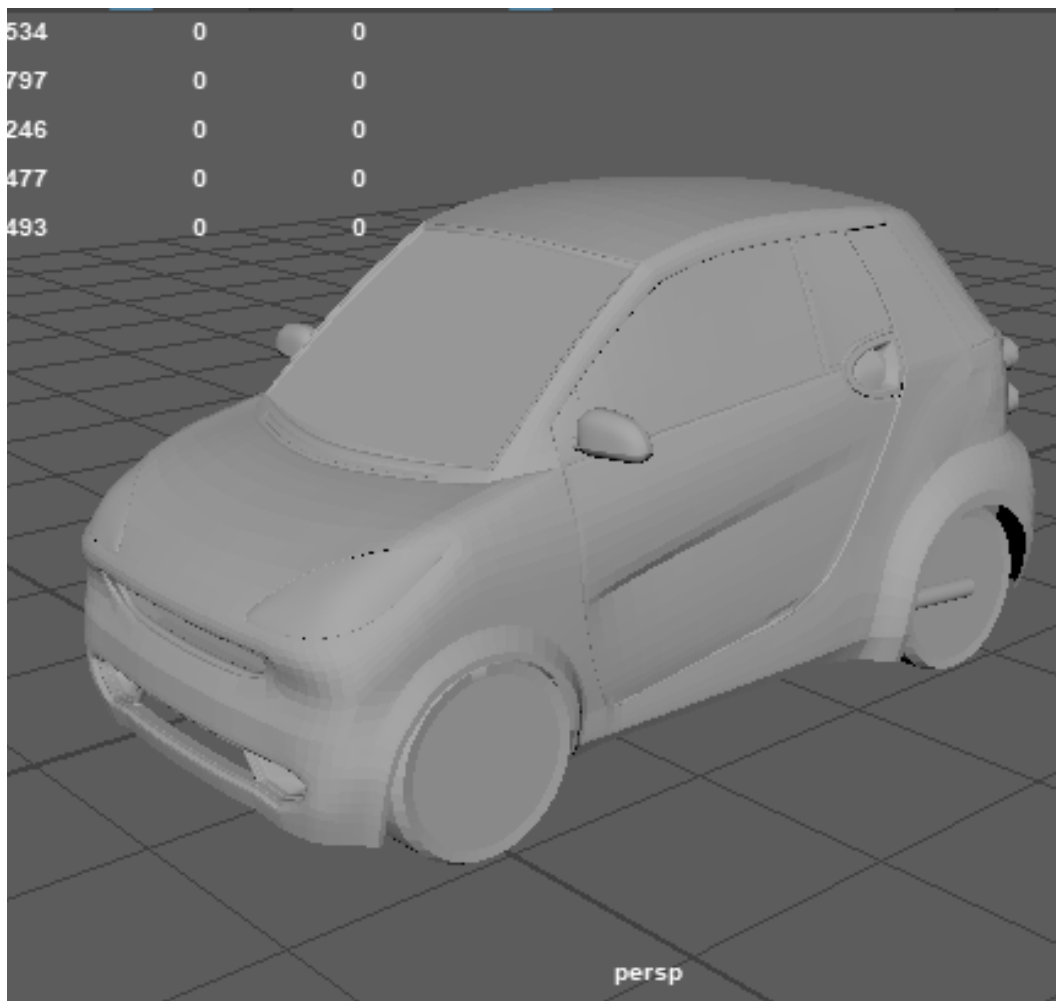


Рисунок 3.13 – Тривимірна модель оді

Відповідно до техніки безпеки під час пожежі, вирішено залишити автомобільні двері. Також рішення зумовлено можливістю використання такого транспортного засобу людьми без інвалідності, оскільки компактний транспорт у великому місті має ряд переваг. Також вирішено реалізувати задню платформу з двох автоматизованих частин, оскільки у випадку використання платформи людиною без інвалідності немає потреби у повному відкритті задньої платформи.

Наступним кроком створення деталі є експорт її у формат STL.

Середовище Maya дозволяє експортувати модель у безліч форматів, але перед друком, моделі створені полігональним редагуванням, варто перевірити на помилки, незамкнуті поверхні, неправильно направлені нормалі та перетин граней. Для цього можна використати програми компанії Autodesk Netfabb Premium 2019 [52]. Інтерфейс програми з створеною моделлю зображено на рис. 3.14.

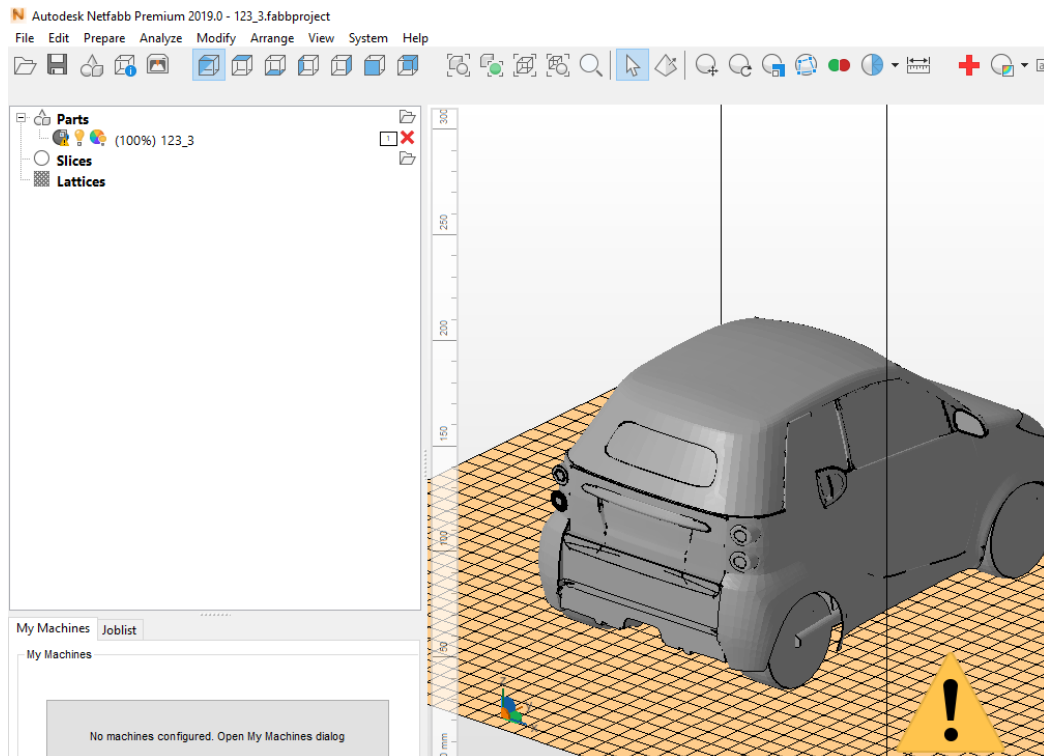


Рисунок 3.14–Інтерфейс Autodesk Netfabb Premium

Netfabb Premium – програма для роботи з сіткою моделі, яка дозволяє створювати, редагувати та генерувати нову сітку. Важливою перевагою програмного забезпечення є реалізація автоматизованої перевірки та виправлення помилок сітки тривимірної моделі.

На рис. 3.14 можна побачити, що програма сигналізує про наявність помилок в сітці. Головною проблемою моделей, створених методами полігонального редагування, є не замкнутість поверхні і, як наслідок, генерація STL файлу з невірною геометрією. Для того, щоб виправити помилки сітки, використано функціонал програми. Результат зображено на рис. 3.15.

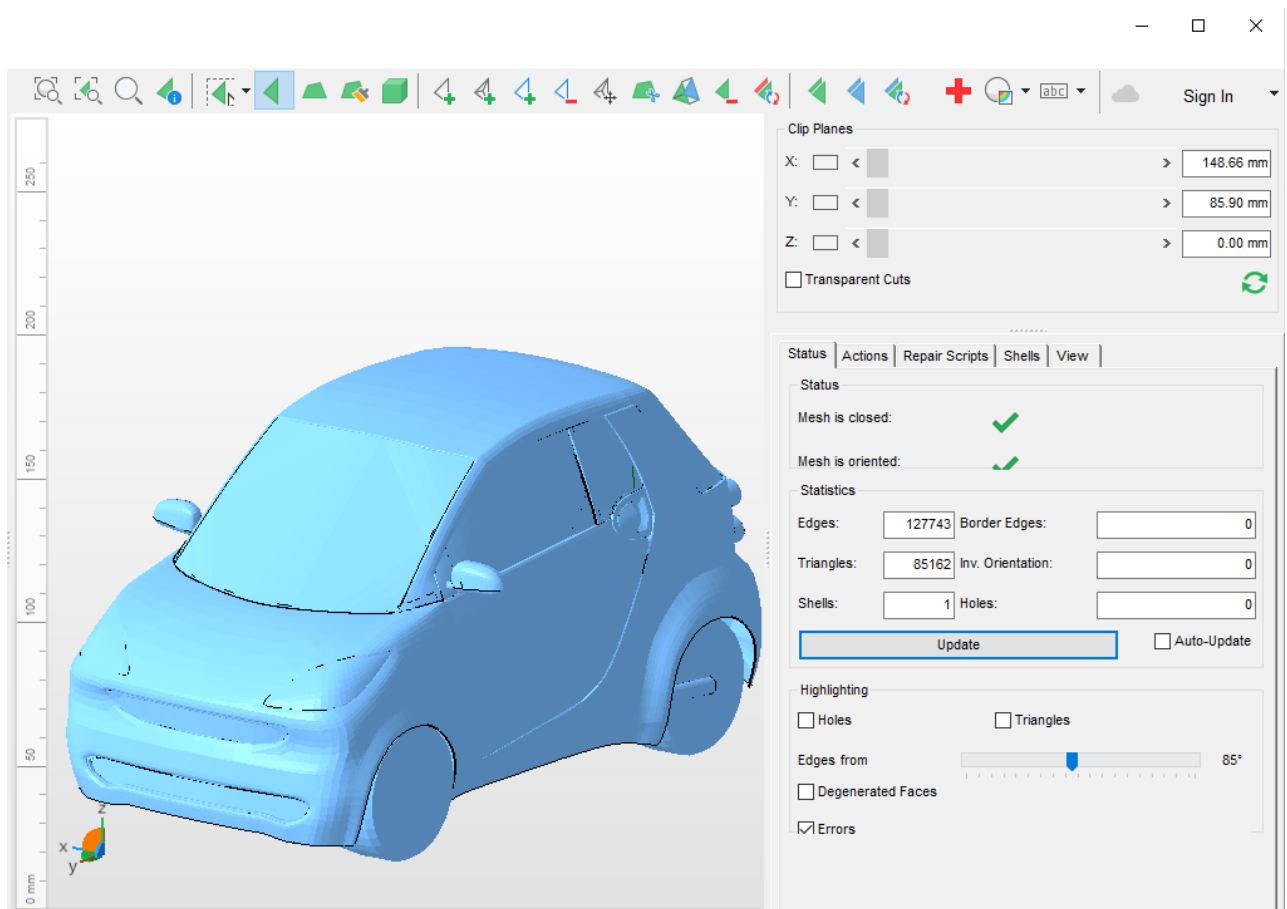


Рисунок 3.15 – Виправлена модель

На рис. 3.15 чітко видно, що поверхня моделі замкнута, орієнтація полігонів вірна та є лише одна поверхня моделі. Перевірка цих параметрів необхідна при друку моделі за допомогою адитивних технологій, щоб попередити помилки друку та забезпечити успішність процесу.

Після перевірки моделі та виправлення наявних помилок, модель експортується в формат STL та імпортується у слайсер PrusaSlicer.

Варто зауважити, що представлений слайсер також може виправляти помилки сітки, але у автоматичному режимі, без зміни будь яких параметрів, базуючись на алгоритмах Netfabb Premium.

Результат імпорту моделі до PrusaSlicer та попереднього виду моделі зображено на рис. 3.16.

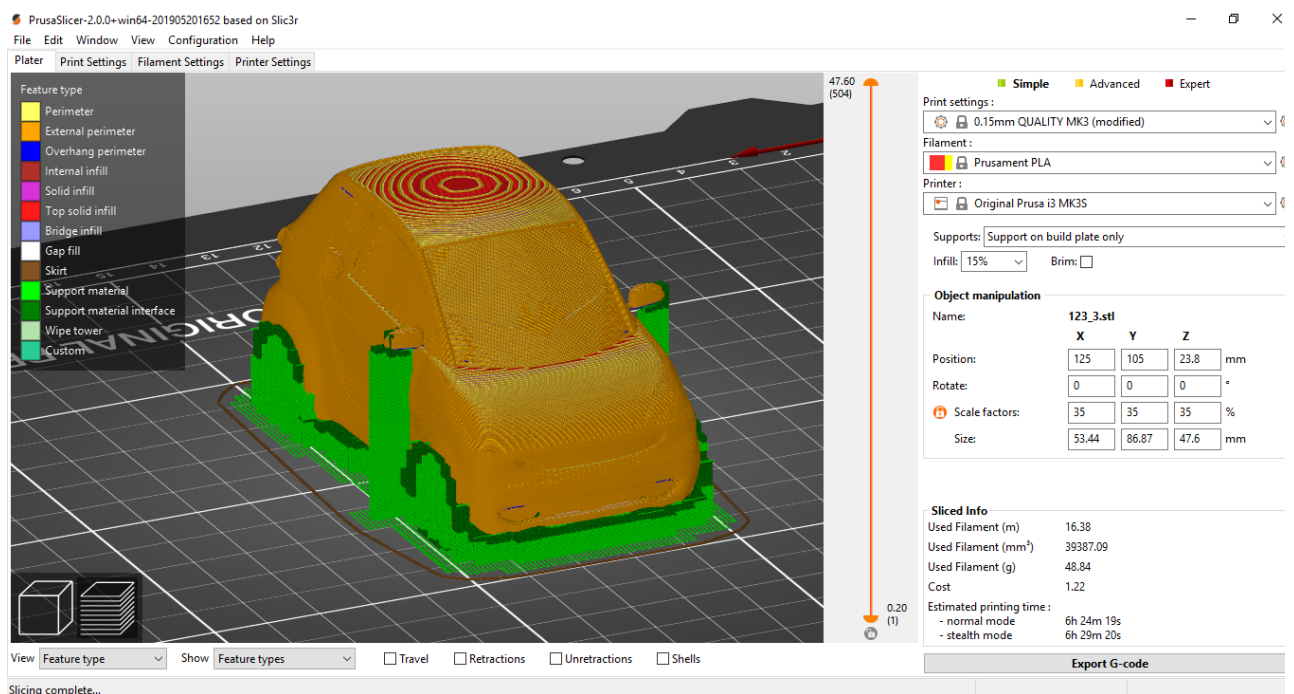


Рисунок 3.16 – Попередній вид моделі

Відповідно до рис. 3.16, модель буде друкуватись протягом 6 годин та 24 хвилин. Буде витрачено 16.38 м пластику, кінцева вага моделі 48.84 гр. Процес друку першого макету зображено у Додатку В.

Остаточний результат друку зображено на рис. 3.17.



Рисунок 3.17 – Результат друку макету

На рис. 3.17 зображено макет платформи, виконаний відповідно до дизайнерського рішення. Прийнято до уваги також те, що платформу зможуть

використовувати люди без інвалідності, а також враховані рекомендації щодо конструкції транспортних засобів під час аварійних ситуацій.

На надрукованій моделі чітко виражені дефекти друку та неточності моделі. Їх можна усунути, виправивши недоліки у сітці моделі та налаштувавши параметри принтеру. Також варто відзначити, що дрібні деталі не були надруковані, або були вилучені під час остаточної обробки, оскільки через свій малий розмір їх геометрія була надрукована невірно.

### **3.4 Топологічна оптимізація конструкції рами задньої підвіски**

Топологічний аналіз та оптимізація передбачає зміну геометрії деталі, що веде за собою зменшення маси деталі, без зміни її фізико–механічних властивостей. Autodesk Inventor дозволяє провести топологічну оптимізацію за допомогою Генератора форм 3d моделей. Головною вимогою до конструкції, що буде аналізуватися, є те, щоб це була одна деталь, оскільки необхідно згенерувати замкнуту сітку елементів для аналізу.

В цілому, задача топологічного аналізу та оптимізації вирішується ітеративним методом. Після генерації форми аналізуються напруження, що виникають під час її навантаження та оцінюється запас міцності отриманої деталі. Якщо отримані параметри не задовольняють, то зменшується відсоток зменшення маси деталі та генерується нова форма, де знову аналізуються навантаження.

Початок роботи з Генератором форм полягає в визначенні зусиль, що діють на деталь, місць кріплення та типу опор. Схема дії сил та точок кріплення була представлена у попередньому розділі. Наступним кроком є визначення місць, які не будуть враховуватись під час аналізу. У нашому випадку це місця кріплення рами підвіски до ферми платформи, місце кріплення амортизатора та місця кріплення колеса до рами підвіски.

Наступним етапом підготовки до генерації форми є створення сітки. Зменшуючи елементи сітки можна добитись дуже точних результатів, але це значно збільшить час розрахунків.

Також у параметрах генератора форми можна встановити у відсотках на скільки зменшити масу деталі. Варіюючи даний параметр необхідно добитись ефективного генерування форми, без втрати конструктивних властивостей, тобто

без втрати основних функцій конструкції. Для цього оптимізація буде робитись у декілька етапів, зі збільшенням відсотку зменшення маси.

Деталь, до якої прикладені сили та момент, розбита на сітку та з відповідними обмеженнями зображена на рис.3.18.

Натиснувши «Создать форму» програма почне генерувати форму деталі відповідно до заданих параметрів. Проведемо генерацію форми в декілька ітерацій, зменшуючи масу на 20, 30, 40, та 50%. Результат представлено на рис.3.19-3.22.



Рисунок 3.18 – Готова до оптимізації деталь

Исходная масса: 0,763 кг  
Создать массу: 0,609 кг  
Уменьшение массы: 20%

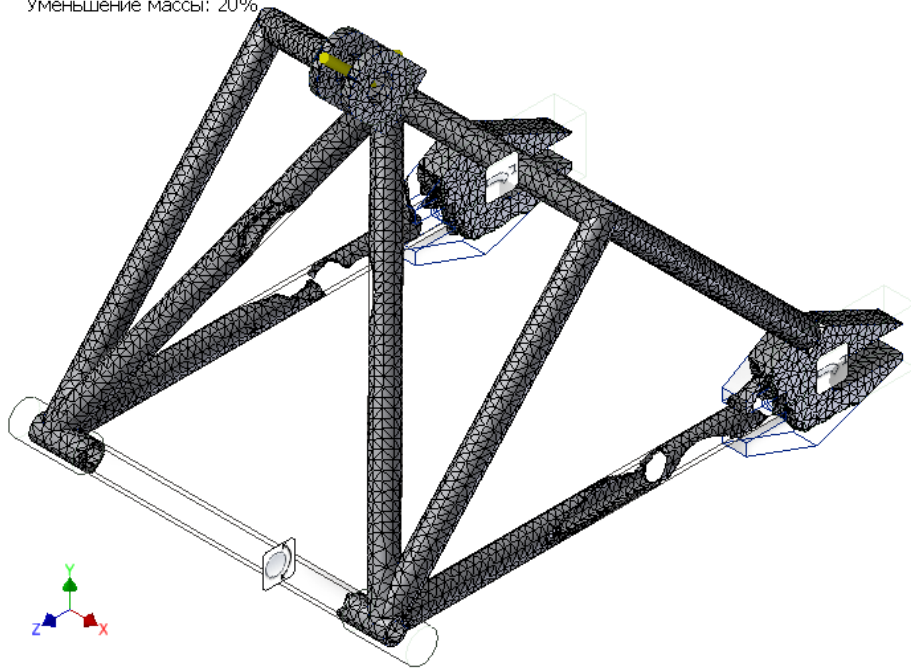


Рисунок 3.19 – Зменшення ваги на 20%

Исходная масса: 0,763 кг  
Создать массу: 0,535 кг  
Уменьшение массы: 30%

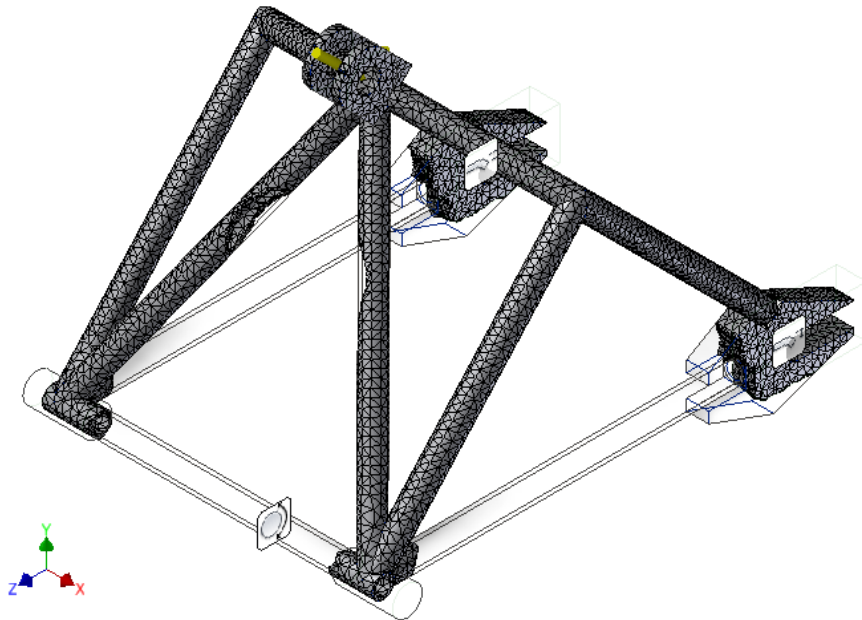


Рисунок 3.20 – Зменшення ваги на 30%

Исходная масса: 0,763 кг  
Создать массу: 0,465 кг  
Уменьшение массы: 39%

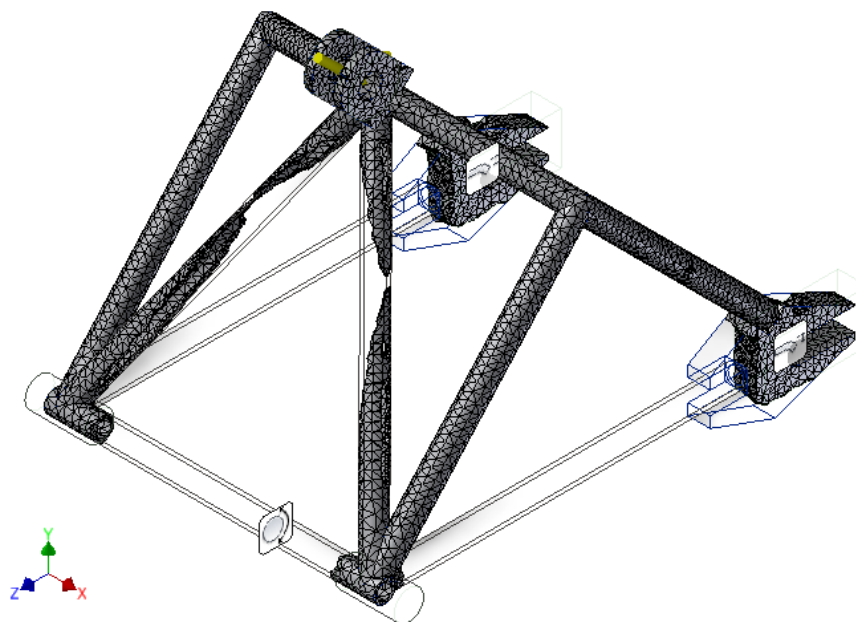


Рисунок 3.21 – Зменшення ваги на 40%

Исходная масса: 0,763 кг  
Создать массу: 0,365 кг  
Уменьшение массы: 52%

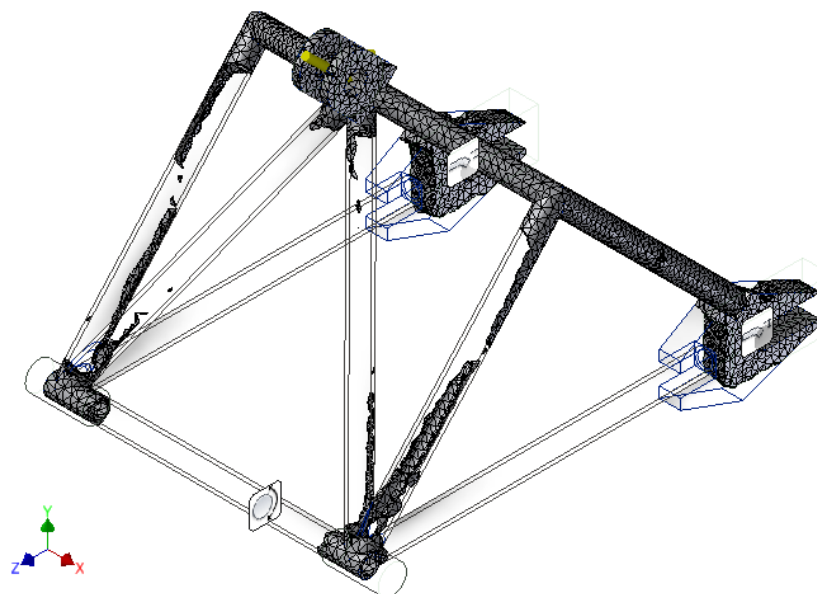


Рисунок 3.22 – Зменшення ваги на 50%

Зменшення ваги понад 40% призводить до утворення не з'єднаних областей та втрати конструктивних властивостей деталі.

Враховавши проблеми, що виникають при наступному зменшенню ваги деталі зупинимось на результаті отриманому при зменшенні ваги на 40%.

Видаливши зайвий матеріал з несучої конструкції, отримуємо результат, представлений на рис.3.23.

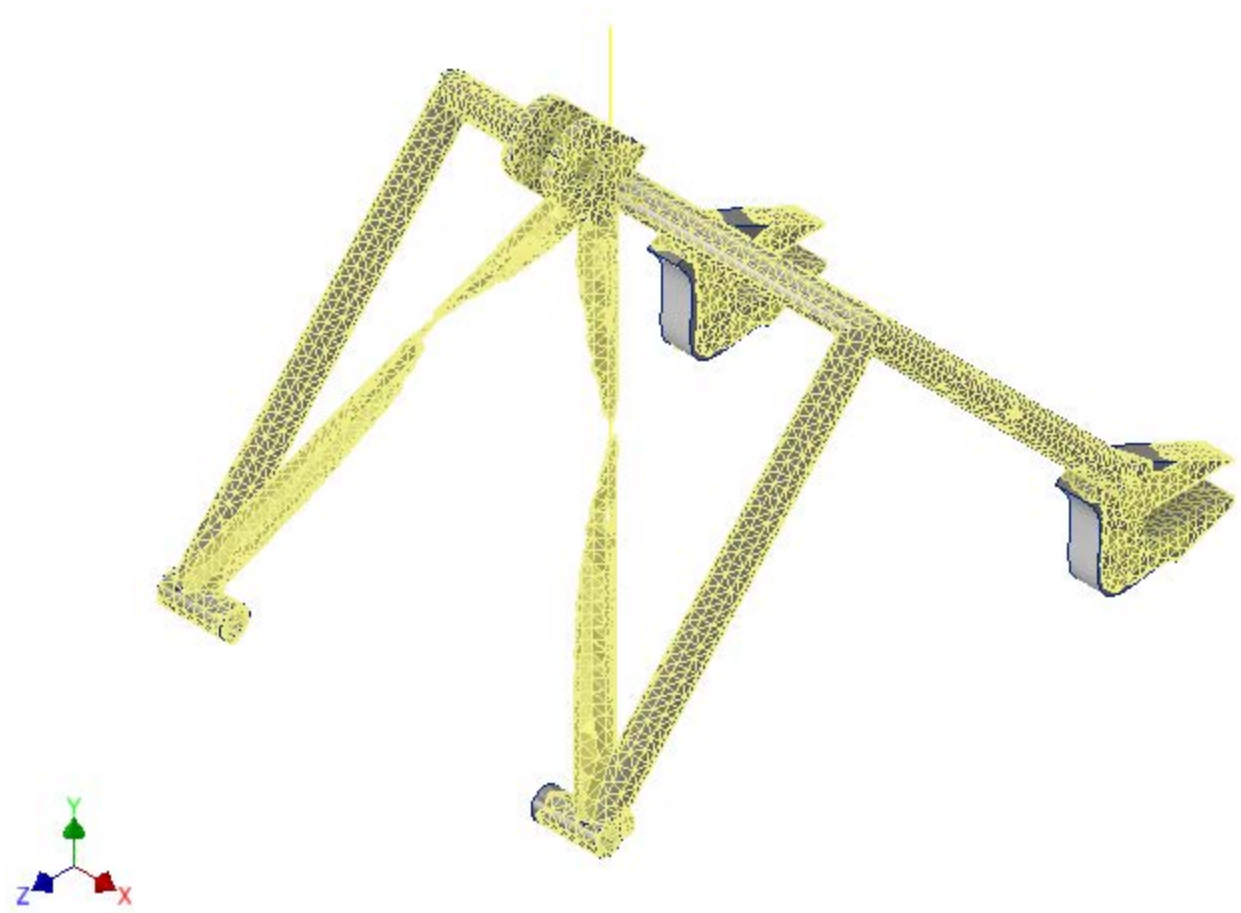


Рисунок 3.23 – Результат топологічної оптимізації

Наступним кроком є аналіз напружень що виникають при дії сил на отриману після оптимізації форму. Силова схема залишилась попередньою.

Результат аналізу напружень зображено на рис.3.24.

Тип: Коэфф. запаса прочности

Единица: ul

24.11.2019, 18:34:42

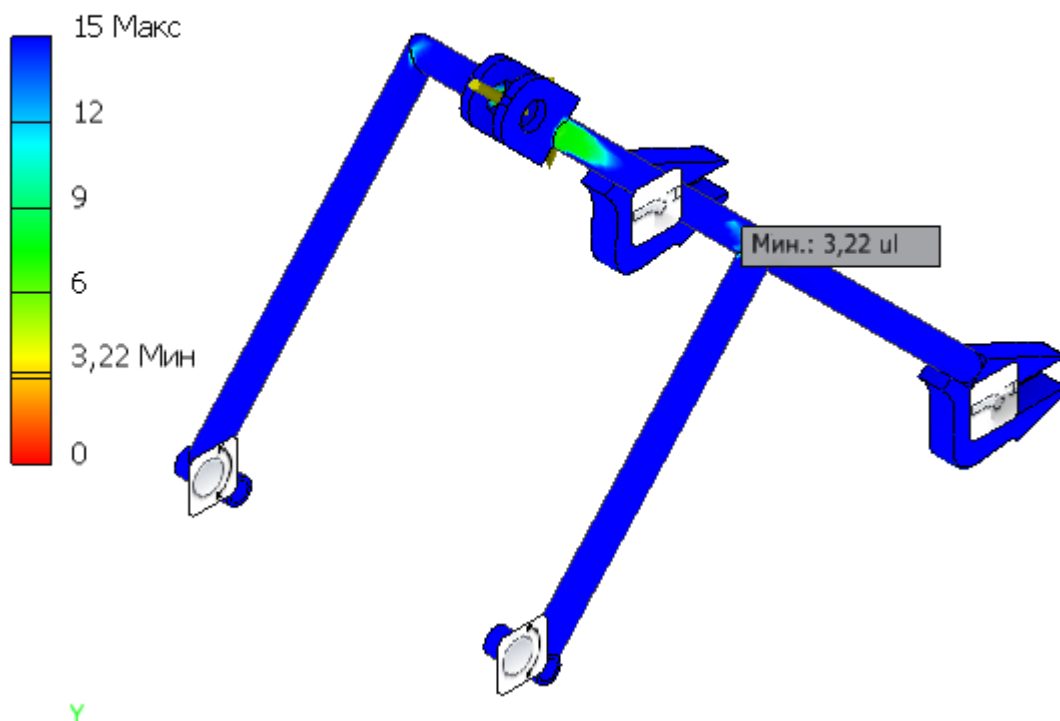


Рисунок 3.24 – Результат аналізу напружень

Проаналізувавши рис.3.24 можна зробити висновок, що мінімальний запас міцності становить 3.22 одиниці, що задовольняє прийнятий коефіцієнт запасу 1.5 одиниці.

Після топологічної оптимізації вага деталі зменшилась до 453 грам, що відповідає зменшенню ваги на 40%.

Для наглядного порівняння вирішено надрукувати отриману форму за допомогою адитивних технологій, на принтерах представлених раніше.

Отримані результати представлено на рис.3.25.

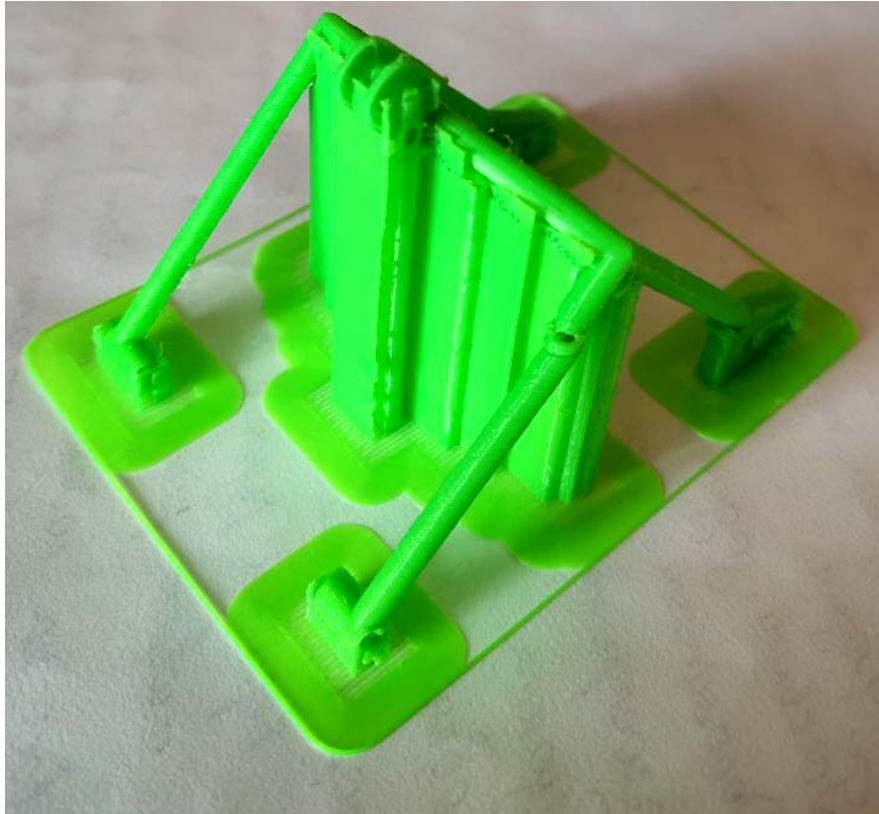


Рисунок 3.24 – Надрукована модель з топологічною оптимізацією

На рисунку 3.24 чітко видно місце з дефектом друку. Причиною дефекту є перегрів пластику у місці друку. Основними причинами перегріву є надто висока температура нагріву пластику та недостатнє охолодження. Але причиною, що призвела до цього дефекту, в даному випадку є надто велика швидкість друку.

Коли наступний шар деталі друкується надто швидко, то попередній не встигає застигнути і друк буде вестись поверх гарячого шару. Особливо це важливо при друкуванні малих деталей, де друк кожного шару становить декілька секунд. Для цього потрібно врахувати зниження швидкості, при друкуванні шарів за час меншим, ніж час застигання попереднього шару.

Було вирішено надрукувати ще одну модель, з урахуванням попередньо виявленої проблеми. Друк пройшов у штатному режимі, з попередніми параметрами та необхідними вказуваннями, але під час операцій наступної

обробки та видалення підтримок, її було зламано, оскільки були прикладені надто значні зусилля. Результат представлено на рис.3.25.

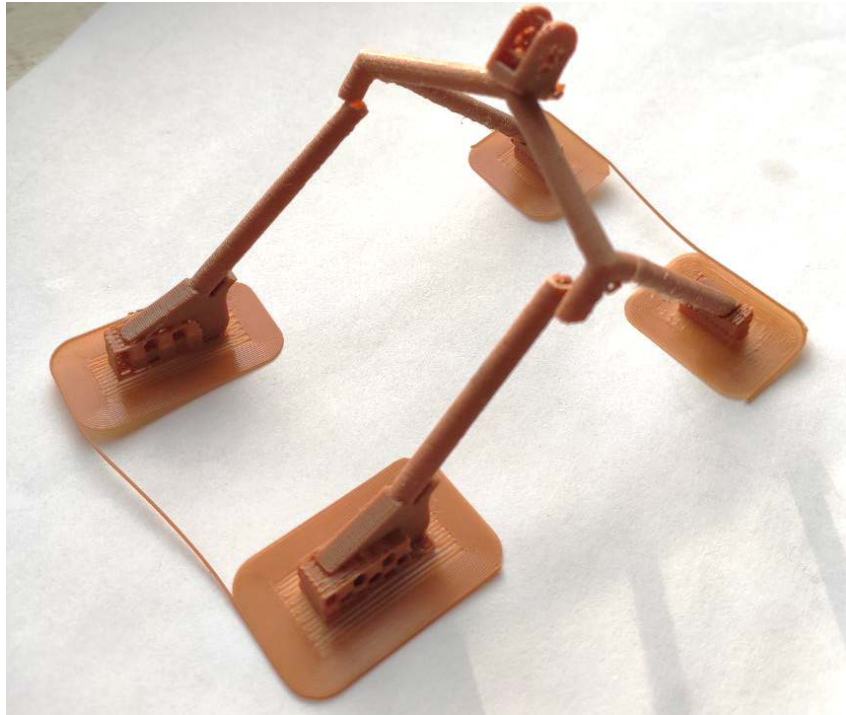


Рисунок 3.25 – Зламана модель з топологічною оптимізацією

Відповідно до місць зламу можна зробити висновки про найслабші місця геометрії, та врахувати їх при наступному проектуванні.

## **Висновки по розділу**

У розділі було наведено базову технологію виготовлення ферми задньої підвіски.

Створено прототип рамної конструкції підвіски за допомогою адитивних технологій з тривимірної CAD моделі.

За допомогою програмного забезпечення Maya створено макет дизайнерського рішення, та реалізовано його за допомогою адитивних технологій.

Проведено топологічний аналіз моделі, який показав, що можна зменшити вагу деталі на 40%.

Створено прототип моделі з топологічною оптимізацією та проаналізовано місця зламу, що вказує на основні слабкі місця.

## 4 СТАРТАП-ПРОЕКТ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Ідея – створити екологічно чистий транспортний засіб для людей з обмеженими можливостями на інвалідному візку. Електрична платформа «odi» буде забезпечувати мобільністю та маневреністю водія з обмеженими можливостями в межах міста. За рахунок малого запасу ходу час на перезарядку буде мінімальним, також платформа дозволить водіям отримати працевлаштування у сфері доставки та таксування. Перевагами продукту є : відносна легкість у виготовленні, мала габаритність та відсутність викидів вуглекислого газу у навколишнє середовище. Перевагами для користувача є: дешевизна у порівнянні з конкурентами, легкість у використанні та обслуговуванні.

Таблиця 4.1–Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення електричного транспортного засобу для людей з обмеженими можливостями.	1. Мобільний транспорт	Можливість дістатись до потрібного місця без допомоги.
	2. Працевлаштування	Можливість отримати працю у сфері доставки чи таксування.
		Енергоефективність
		Функціональність
		Відносна дешевизна

#### **4.1.1 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї**

До техніко-економічних переваг концепту платформи «odi» відносяться такі характеристики:

Дешевизна – забезпечується використанням оптимальних матеріалів по характеристиці ціна-якість та використанням оптимізованого процесу збірки транспортного засобу.

Легкість у використанні – прототип розрахований на повноцінне використання однією людиною з обмеженими можливостями без допомоги інших осіб.

Економічність у використанні – завдяки невеликій вазі рівень споживання електроенергії – менший ніж у електрокарів серійного виробництва.

Економічність у часі – завдяки оптимальному для міста запасу ходу перезарядка відбувається швидко.

Легкість у обслуговуванні – заміна стандартизованих для механіки компонентів дозволяє швидко та легко провести ремонт транспортного засобу.

На даний момент головні конкуренти це:

- Проект «KENGURU»

Малосерійне виробництво електрокарів Kenguru, що знаходиться у Техасі. Головним недоліком є висока вартість електрокару, яка становить достатню суму (в Україні) для купівлі та переобладнання звичайного автомобіля під людину з обмеженими можливостями на візку. Перевага – уже налаштоване та працююче виробництво, лояльні до людей з обмеженими можливостями закони Техасу.

- Проект «EQUAL»

Концепт що представлений великобританською фірмою «Absolute Design». Являє собою візуалізацію зовнішнього дизайну без інформації щодо характеристик автомобіля. Недолік – довге перебування проекту на рівні візуалізованих зображень. Перевага – професійне створення дизайну та ергономіки концепту.

- Модернізовані автомобілі

Звичний для всіх країн варіант вирішення проблеми – модифікація існуючих моделей авто для користування людьми з обмеженими можливостями на візку. Головні недоліки – машини що модернізуються були спроектовані для використання людьми без обмежених можливостей, повноцінне використання людьми на візку – складно реалізувати; вартість модернізації може становити половину вартості машини. Переваги – доступність у всіх країнах, можливість власного вибору авто та типу модернізації.

Порівняльний аналіз концепту платформи «odi», з представленими вище конкурентами, наглядно вказує на недоліки та переваги проекту та його конкурентоспроможність. До переваг можна віднести вартість та планування розробки платформи «odi». До недоліків – відсутність фінансування виробництва.

Результати порівняння представлено у табл.4.2.

Таблиця 4.2–Визначення характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Наш проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1	Запас ходу, км	50	45	-	500	-	+	-
2	Вартість, \$	5 тис.	25 тис.	-	>20 тис.	-	-	+
3	Фінансування виробництва	Ні	Так	Ні	Так	+	-	-
4	Додаткові комплектації	Так	Ні	Ні	Так	-	-	+

## 4.2 Технічний аудит ідеї проекту

За допомогою проведення аудиту технологій, за допомогою яких проект набуває свої особливостей, можна визначитись з необхідними кроками для того щоб реалізувати ідею.

При створенні екологічно чистого транспортного засобу головною метою виступає зменшення викидів вуглекислого газу в навколишнє середовище. Зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу вирішується шляхом заміни двигуна внутрішнього згорання на електричний привід, а саме мотор колеса. Такі технології вже існують та доступні для реалізації.

При створенні економічного транспортного засобу головною задачею виступає зниження кількості дорогих деталей. Також, для покращення цієї складової, можна збільшити використання продукції вітчизняних виробників та знизити споживання приводом руху електроенергії. Проблема споживання електроенергії можна вирішити шляхом чіткого налаштування приводу руху та контролера. Така технологія наявна і доступна, але потребує доопрацювання.

При виготовленні ергономічного автомобіля для людей з обмеженими можливостями головною проблемою є недосконалість форм та конструкцій корпусних і функціональних деталей, що знижує привабливість продукту. Така проблема вирішується оптимізацією цих форм під середній показник потреб покупця в ергономіці автомобіля. Така технологія наявна та доступна, але потребує доопрацювання.

Таблиця 4.3–Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Зробити екологічний автомобіль	Заміна ДВЗ на електричний привід	Наявні	Доступні

Продовження табл.4.3

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
2.	Зробити економічний автомобіль	Чітке налаштування приводу руху	Наявні, але необхідно модифікувати	Доступні
3.	Зробити ергономічний автомобіль	Оптимізація конструкцій та форм корпусних і функціональних деталей під зручність споживача	Наявні, але необхідно модифікувати	Доступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: усі три технології доступні та наявні на ринку				

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

На теренах України з 1863 по 2018 роки існував та функціонував Запорізький автомобілебудівний завод «Комунар» [53], котрий виробляв ще з 1971 року спеціалізовані автомобілі для людей з різними обмеженнями можливостей. Останніми автомобілями, котрі будувалися для таких людей були Daewoo Lanos та Sens виготовлення яких закрили в 2018 році [54]. На даний момент в Україні можна тільки модифікувати свій автомобіль за допомогою маніпулятора шведського виробництва Carospeed [55], котрий одночасно виконує функції, як газу так і гальма. Ринок транспортних засобів для людей з обмеженими можливостями між собою ділять проекти «KENGURU» та «EQUAL», а також модифіковані під такі автомобілі. Знайти точну інформацію на рахунок загального обсягу продажу транспортних засобів для людей з обмеженими можливостями, як в Європі, так і у світі на жаль не є можливим, та і статистики на рахунок вироблених машин відсутній. За попередніми підрахунками, потенційний обсяг продажу складатиме приблизно 420 млн. \$ у Європі. Так, як на ринок досі не вийшли автомобільні гіганти, а також те, що на подібні транспортні засоби є попит, хоч і не великий, можна зробити висновок, що даний ринок стагне. Основними обмеженнями виходу на ринок являються вимоги до транспортних засобів на дорогах громадського використання відповідно до ПДД Україна та МСТО, а також початковий капітал для старту виробництва. За попередніми розрахунками середня норма рентабельності складатиме 25%.

Таблиця 4.4–Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, \$	Потенційний обсяг $\approx$ 420 млн. \$
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стогує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Єдині вимоги до конструкції, технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються на дорогах загального користування та капітал для запуску виробництва
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до транспортних засобів на дорогах громадського використання відповідно до ПДД Україна та МСТО
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25%

#### 4.3.1 Потенційні групи клієнтів

Єдиною потенційною групою клієнтів є люди з проблемами функціонування нижньої частини тіла. Проте дана група розділяється в потребах, а саме: люди, котрі хочуть відчувати свободу руху; люди, котрим ніхто не може з'їздити за покупками в магазин; люди, котрим важлива зручність пересування по місту; люди, котрі хочуть повернути собі можливість водити, або ті, хто завжди про це мріяв. Цей проект, також надає можливість заробляти гроші

працюючи кур'єром, а в майбутньому, з наступними модифікаціями, і таксувати 1 – 2 людей. Одним із головних аспектів цього проекту є його економічність, а саме його вартість та витрати на кілометр руху.

Таблиця 4.5–Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зручність	Люди з обмеженими можливостями рухового апарату нижньої частини тіла	Проблеми з пересуванням за рахунок перебування у інвалідному візку	Якість, гарантія, дешевизна, малі габарити
2	Мобільність			
3	Бажання незалежності			
4	Заробіток		Бажання заробляти гроші	
5	Повернути можливість або втілити в життя мрію керувати т.з.		Бажання мати можливість керувати т.з. самостійно	
6	Економічність		Різність у сприйнятті економічних показників як ефективних	Мале використання енергії та дешевизна самого виробу

#### 4.3.2 Аналіз ринкового середовища

Грунтуючись на аналізі вже існуючого ринку попиту і пропозиції, а також специфіці групи населення, на які націлений даний проект, можна виділити основні фактори загроз, суть цих загроз та можливі вирішення цих проблем.

Таблиця 4.6–Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Відомість торгової марки підприємства	Нікому невідома фірма котра продає дуже дешеві транспортні засоби для людей з обмеженими можливостями	Створення партнерських відносин з різноманітними фондами, що підтримують людей з обмеженими можливостями
2	Якість продукції	Низька ціна на т.з. може викликати недовіру до нього	Проведення безкоштовних тест драйвів та надання т.з. в безкоштовне використання на тиждень
3	Гарантія на продукцію	На скільки дорого буде обходитися обслуговування т.з.	Безкоштовне обслуговування т.з. протягом 1-2 років.

Так, як ринок не дуже завантажений конкурентами основними факторами можливостей цього проекту є:

- Відсутність територіального ринку
- Вихід на міжнародний ринок
- Перспектива розвитку проекту

Таблиця 4.7–Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність територіального ринку	Створення монополії в даній ніші ринку за рахунок відсутності прямих конкурентів на території України	Швидкий розвиток виробництва, партнерські відносини з фондами, реклама
2	Міжнародний ринок	Можливість виходу на міжнародний ринок	Міжнародна сертифікація, співпраця з міжнародними фондами та організаціями, розширення виробництва, знаходження нових інвесторів

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
3	Розвитку	Можливість розвивати виробництво, вдосконалювати т.з., створювати нові моделі, розвивати виробництво в інших напрямках	Вихід на міжнародний ринок, закріплення на ньому, розширення виробництва, нові партнерські відносини та спонсори.

### 4.3.3 Аналіз пропозиції

На території України відсутнє масове виробництво транспортних засобів для людей з обмеженими можливостями, а також засобів для переобладнання автомобілів. Через це, на національному ринку буде майже абсолютна монополія, що дасть в майбутньому чудове підґрунтя для виходу на міжнародний ринок. Основна конкуренція з'явиться вже при виході на міжнародний ринок. Одна із основ проекту являється його низька вартість, що буде достатньо вагомим аргументом при виході на міжнародний ринок.

Таблиця 4.8–Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції: монополія/олігополія/ монополістична	Монополія	На національному ринку відсутні прямі конкуренти тому можна буде просто розвивати виробництво до появи на ринку міжнародних конкурентів
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальний/національний/	Національна, а потім міжнародний	Закріпитися на національному ринку після чого почати створення відносин з міжнародними фондами та організаціями для виходу на міжнародний ринок

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
3. За галузевою ознакою міжгалузева/ внутрішньогалузева	Міжгалузева	Низька вартість продукція та підтримка реалізованого товару
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова товарно-видова між бажаннями	Товарно-видова	
5. За характером конкурентних переваг: цінова / нецінова	Цінова	
6. За інтенсивністю: марочна/не марочна	Не марочна	Молодий ринок та відсутність великих компаній

#### 4.3.4 Аналіз умов конкуренції в галузі

При більш поглибленому аналізі можливої пропозиції, а також інформації на рахунок основних конкурентів, як прямих, так і потенційних, складаємо аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Таблиця 4.9–Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Проект «KENGURU» Проект «EQUAL» Модернізовані автомобілі	Великі компанії авто- та мото-виробники	-Перевірена марка або компанія; -Гарантія якості продукту, диференціація витрат, змінні витрати постачальників, значення розміру поставок для постачальників	Диференціація витрат, змінні витрати постачальників, концентрація постачальників, значення розміру поставок для постачальників	Лояльність споживачів, ціни, змінні витрати
Висновки	Відсутня конкурента боротьба проте вже існують готові до покупки товари лише на міжнародному ринку	Є можливість виходу великих компаній виробників на ринок за рахунок наявності в них готових потужностей для запуску виробництва	Постачальники диктують умови роботи на ринку. Умови якості виготовлення продукту, його ціну та дизайн	Клієнти також диктують умови роботи на ринку. Ціна, комфорт	- Недовіра клієнтів до нових технологій - Недостатня ознайомленість з маркою та компанією

#### 4.3.5 Перелік факторів конкурентоспроможності

Основними факторами конкурентоспроможності на ринку являються:

- Ціна
- Додаткові комплектації
- Економічність
- Екологічність

Таблиця 4.10–Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Вартість транспортного засобу складатиме приблизно 5 тис. \$, що в 4-5 раз нижче за ціну вже існуючих конкурентів
2	Додаткові комплектації	Можливість доукомплектувати транспортний засіб по бажанню замовника
3	Економічність	Низька вартість проїханого кілометра за рахунок електродвигунів
4	Екологічність	Відсутність викидів CO <sub>2</sub> у повітря за рахунок електродвигуна

#### 4.3.6 Аналіз сильних та слабких сторін

Після оцінки основних факторів конкурентоспроможності проекту та технологічних особливостей конкурентів робимо порівняльний аналіз сильних та слабких сторін між «оді» та основними конкурентами.

Таблиця 4.11.1–Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін модернізованими автомобілями

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг товару-конкурента у порівнянні з модернізованими автомобілями						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна		+					
2	Додаткові комплектації						+	
3	Економічність		+					
4	Екологічність		+					

Таблиця 4.11.2–Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «KENGURU»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг товару-конкурента у порівнянні з «KENGURU»						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна		+					
2	Додаткові комплектації	+						
3	Економічність				+			
4	Екологічність				+			

Таблиця 4.11.3–Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «EQUAL»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг товару-конкурента у порівнянні з «EQUAL»						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	+						
2	Додаткові комплектації	+						
3	Економічність				+			
4	Екологічність				+			

#### 4.3.7 SWOT-аналіз стартап-проекту

Після порівняння сильних та слабких сторін проекту, проводимо SWOT-аналіз.

Таблиця 4.12–SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Економічність</li> <li>- Екологічність</li> <li>- Ціна</li> <li>- Додаткові комплектації</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Відсутність виробництва</li> <li>- Енерго- та капіталоемність</li> <li>- Одномісний</li> <li>- Відносно малий запас ходу</li> </ul>

Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Виходу на міжнародний ринок</li> <li>- Удосконалення транспортного засобу</li> <li>- Розширення виробництва в інші напрями</li> <li>- Створення відносин з міжнародними організаціями</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Великі автовиробники</li> <li>- Якість перших зразків</li> <li>- Вузконаправленість виробництва</li> <li>- Відсутність фінансування</li> </ul>

#### 4.3.8 Альтернативи ринкової поведінки

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи проаналізовані з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.13–Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Олігополія	Просто та ймовірно	Короткі

## 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

### 4.4.1 Визначення стратегії та охоплення ринку

Через вузьконаправленність проекту є лише одна цільова група потенційних клієнтів – люди з обмеженими можливостями тому буде використовуватися концентрований маркетинг.

Таблиця 4.14–Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Основними клієнтами являються люди з обмеженими можливостями рухового апарату нижньої частини тіла в котрих на теренах України невелика фінансова підтримка зі сторони держави	Повна готовність сприймати продукт	Попит буде, через відсутність дешевих, повноцінних варіантів «купив – поїхав»	Кількість конкурентів на даний момент статична	Вихід у сегмент проста

### 4.4.2 Формування базової стратегії розвитку

Базовою стратегією розвитку була вибрана стратегія диференціації, оскільки в даному проекті команда надає транспортному засобу можливість

різноманітних комплектацій, найнижча ціна на ринку у порівнянні з прямими конкурентами, а також його економічність.

Таблиця 4.15–Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Різноманітних комплектацій, низька ціна, економічність	Ринкове позиціонування	Найнижча ціна т.з. порівняно з прямими конкурентами, можливість персоналізації т.з., низька вартість кілометра дороги.	Стратегія диференціації

#### 4.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Через те, що ніша досить прибуткова, в перспективі, залишається стабільною впродовж довгого часу і не дуже приваблива для великих компаній через свою вузько направленість, а також специфіку споживацької групи була обрана стратегія заняття конкурентної ніші.

Таблиця 4.16–Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходьцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Проект не є “першопроходьцем”	Компанія буде залучати нових споживачів, а також забирати існуючих у конкурентів	Ні, компанія не буде копіювати характеристики конкурентів	Заняття конкурентної ніші

#### 4.4.4 Стратегія позиціонування

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку.

Таблиця 4.17–Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Зручність	Стратегія диференціації	Ергономічність та відносно малі габарити	
2	Економічність	Стратегія спеціалізації	Мінімальні витрати на пальне	
3	Ціна	Стратегія диференціації	Найнижча ціна на ринку прямих конкурентів	
4	Екологічність	Стратегія спеціалізації	Зменшення викидів CO <sub>2</sub> у повітря	

## 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

### 4.5.1 Формування маркетингової концепції товару

В цій таблиці формуємо першочергові потреби та вигоди товару. Основною потребою є створення екологічного, компактного, дешевого, зручного та економічного транспортного засобу.

Таблиця 4.18–Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Екологічний транспорт	Відсутність викидів	Техніко-експлуатаційні характеристики
2	Компактний транспорт	Компактність	
3	Зручний транспорт	Ергономіка	
4	Дешевий транспорт	Дешевизна товару і експлуатації	Економічні характеристики
5	Економічний транспорт	Дешевизна кілометру	

### 4.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару

Основна ідея проекту у створенні економічного, екологічного, доступного та ергономічного транспортного засобу для людей з обмеженими можливостями.

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1.Товар за задумом	Потенційні споживачі потребують, доступний, економічний, ергономічний, якісний та екологічний транспортний засіб.		
2.Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Доступність	М	Тл/Ор
	2. Ергономічність	Нм	Тл/Ор
	3. Економічність	М	Тл/Ор
	4. Транспортабельність	Нм	Тл/Ор
	5. Екологічність	Нм	Тл/Ор
	Якість: Вимоги до транспортних засобів на дорогах громадського використання відповідно до ПДД Україна та МСТО		
	Пакується у дерев'яний ящик з пінопластом всередині та фіксується мотузками прикріплених до стінок ящику. Марка: Маркою та назвою продукту одночасно являється назва «odi»		
3.Товар із підкріпленням	До продажу - підкріплюється гарантією на 12 місяців Після продажу - обслуговується по гарантії на протязі 12 місяців		
Потенційний товар буде захищено від копіювання за рахунок патентів на корисну модель, назву, на окремі вузли транспортного засобу, емблему.			

#### 4.5.3 Визначення цінових меж

Цінові межі вартості товару складають приблизно 4 500\$ - 6 000\$, що врази дешевше від товарів аналогів, але дорожче за товари замітники.

Таблиця 4.20–Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	Товари замітники дешевше, проте для їх використання потрібен автомобіль	Ціни в 4 - 5 разів вище	Рентабельність приблизно 25%	Ціна на товар: мінімальна – 4 500\$; максимальна – 6 000\$

#### 4.5.4 Визначення оптимальної системи збуту

При реалізації товару необхідні будуть посередники безпосередньо для продажу готової продукції. Також розповсюдження товару можна проводити за рахунок презентації його на виставках, а також представляючи його благодійним організаціям, за рахунок чого підніметься впізнаваність продукту. Основними точками збуту будуть: Інтернет - портали, невеликі салони, також можливий збут через вже відомі магазини (салони).

Таблиця 4.21–Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Низька мобільність цільових клієнтів	Транспортування, зберігання, рекламування, можливість тест-драйву	Ринок збуту на великій території	Багатоканальний розподіл

#### 4.5.5 Розроблення концепції маркетингових комунікацій

Для рекламування товару, готовий прототип буде презентуватися на виставках: стартап проектів, зеленої енергетики, автомобільної промисловості, принад для людей з обмеженими можливостями. Також будуть спроби налагодити відносини з різноманітними благодійними фондами та організаціями для представлення продукту цільовій аудиторії.

Таблиця 4.22–Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Низька мобільність цільових клієнтів, недовіра до невідомих компаній	Інтернет – портали, соціальні мережі, телебачення, радіо	Інформування	Проінформувати людей про існування продукту	На початку реклама тільки через Інтернет, в подальшому реклама буде на телебаченні та радіо

Ринкова маркетингова програма товару:

Товар буде позиціонуватися, як доступний, екологічний та економічний транспортний засіб, котрий націлений на полегшення життя людей з вадами рухового апарату нижньої частини тіла.

## **4.6 Висновки**

Аналіз проекту показав, що присутня можливість комерціалізації проекту в рамках наявного ринку.

Перспективи до реалізації, з огляду на групи клієнтів, бар'єри входження та кількість конкурентів доволі висока.

З огляду на вітчизняний ринок доцільно обрати монополістичну систему для ринкової реалізації, оскільки на вітчизняному ринку не представлені конкуруючі рішення.

Відповідно до цього подальша реалізація проекту є доцільною.

## Список використаної літератури

1. BraunAbility® MXV Wheelchair Accessible SUV [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.braunability.com/us/en/mobility-products/wheelchair-suv.html> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
2. FORD TRANSIT CONNECT Owner's Manual [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: [http://www.fordservicecontent.com/Ford\\_Content/catalog/owner\\_guides/ENUSA\\_CG3587\\_Transit\\_og\\_201307.pdf](http://www.fordservicecontent.com/Ford_Content/catalog/owner_guides/ENUSA_CG3587_Transit_og_201307.pdf) (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
3. HERO STAND UP model. User manual [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: [https://viteacare.com/pl/produkty/wozki-elektryczne/item/download/13\\_1a03314a166c7880fec80190dd02578b](https://viteacare.com/pl/produkty/wozki-elektryczne/item/download/13_1a03314a166c7880fec80190dd02578b) (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
4. Tek RMD (Robotic Mobilization Device) [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.matiarobotics.com/> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
5. Паспорт изделия UNAwheel V.1 [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: [http://unawheel.ru/images/catalog/soles/docs/Pasport\\_UNAwheel\\_V1.pdf](http://unawheel.ru/images/catalog/soles/docs/Pasport_UNAwheel_V1.pdf) (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
6. The Huka Pendel: a unique scooter for wheelchair users [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.huka.nl/en/product/pendel/> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
7. Kenguru, world's first drive-from-wheelchair electric car [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.startupselfie.net/2018/05/04/kenguru-worlds-first-drive-from-wheelchair-electric-car/> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.

8. EQUAL – Car For Disabled People [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://www.snupdesign.com/equal-car-for-disabled-people-2229/> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
9. Мотор-колесо для електромобіля? [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://electrotransport.ru/ussr/index.php?topic=20605.0> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
10. Кумбс М. Мотоциклы: Устройство и принцип действия / М. Кумбс., 2002. – 225 с.
11. Виды подвесок мотоциклов [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://mototraveller.ru/2015/04/%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D1%8B-%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D1%81%D0%BE%D0%BA-%D0%BC%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%B2/> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
12. Однорычажное изобилие [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://norcoroman-zip.livejournal.com/3547.html> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
13. Кузнецов В. А. Конструирование и расчет автомобиля. Подвеска автомобиля. / В. А. Кузнецов, И. Ф. Дьяков., 2003.
14. Пархиловский И. Г. Автомобильные листовые рессоры / И. Г. Пархиловский. – Москва: Машиностроение, 1978. – 232 с. – (2).
15. MatLab Simulink [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://matlab.ru/products/simulink> (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.
16. Емельянов А. С. Расчет цилиндрических пружин подвески автомобиля с нелинейной характеристикой упругости. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности

- «Автомобиле - и тракторостроение» / А. С. Емельянов, И. Н. Зверев. – Москва: МГТУ «МАМИ», 2007. – 31 с.
17. EV Volumes [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/> (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.
18. Рейтинг стран по качеству дорог [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://nonews.co/directory/lists/countries/quality-roads> (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.
19. СП 35-101-2001 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ДОСТУПНОСТИ ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ
20. Мотоциклы 2017: обзор новинок [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://5koleso.ru/articles/moto/motocikly-2017-obzor-novinok/> (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.
21. Захарченко В. Д. Я строю автомобиль / В. Д. Захарченко, И. С. Туревский. – Москва: Машиностроение, 1989. – 264 с.
22. Аэродинамика: Топ-7 худших и лучших машин в мире [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.drom.ru/info/misc/43517.html> (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.
23. QS 12inch 12" 1000W - 3000W [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: [http://www.cnqsmotor.com/en/article\\_read/QS%2012inch%2012%22%201000W%20-%203000W%2005%2048V%20-%2096V%20Scooter%20brushless%20dc%20electric%20hub%20wheel%20motor/570.html](http://www.cnqsmotor.com/en/article_read/QS%2012inch%2012%22%201000W%20-%203000W%2005%2048V%20-%2096V%20Scooter%20brushless%20dc%20electric%20hub%20wheel%20motor/570.html) (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.

24. Профиль шины: как определить высоту покрышки? [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://1tire.ru/parametry-shiny/profil-shiny-kak-opredelit-vysotu-pokryshki.html> (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.
25. Пружинные мотоциклетные амортизаторы 340 мм 8 мм [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://goo-gl.su/4G82> (дата звернення 27.10.2019) – Назва з екрана.
26. Фещенко В. Н. Справочник конструктора. Книга 1. Машины и механизмы / В. Н. Фещенко. – Москва: Инфра-Инженерия, 2016. – 400 с.
27. Допускаемые напряжения и механические свойства материалов. [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://sprav-constr.ru/html/tom1/pages/chapter1/ckm17.html> (дата звернення 07.11.2019) – Назва з екрана.
28. Из чего делают кузова автомобилей [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://carwow.ru/iz-chego-delajut-kuzova-avtomobilej/> (дата звернення 07.11.2019) – Назва з екрана.
29. Волшебный «карбон» — что это такое? [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://astanafans.com/volshebnyj-karbon-chto-eto-takoe.html> (дата звернення 07.11.2019) – Назва з екрана.
30. Autodesk Inventor Professional [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> (дата звернення 07.11.2019) – Назва з екрана.
31. ISO 209-1:1989 Wrought aluminium and aluminium alloys — Chemical composition and forms of products — Part 1: Chemical composition
32. ДСТУ 7809:2015 ПРОКАТ СОРТОВИЙ, КАЛІБРОВАНИЙ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМ ОБРОБЛЕННЯМ ПОВЕРХНІ З ВУГЛЕЦЕВОЇ ЯКІСНОЇ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ Загальні технічні умови

33. Johnson L. T. A comparative study of speed humps, speed slots and speed cushions / L. T. Johnson, A. J. Nedzesky. // ITE Annual Meeting. – 2004.
34. ДСТУ 4123:2006 ПРИСТРІЙ ПРИМУСОВОГО ЗНИЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ НА ВУЛИЦЯХ І ДОРОГАХ  
Загальні технічні вимоги
35. Florin A., Ioan-Cozmin M. R., Liliana P. Passive suspension modeling using MATLAB, quarter-car model, input signal step type // New technologies and products in machine manufacturing technologies. – 2013. – С. 258-263.
36. Patil K. S. et al. Performance evaluation of active suspension for passenger cars using Matlab // Second National Conference on Recent Developments in Mechanical Engineering, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. – 2013. – С. 06-14.
37. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов, т. 1: Учебное пособие для втузов. / Н. С. Пискунов. – Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 432 с. – (13).
38. 6Р82Ш станок консольно-фрезерный широкоуниверсальный [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_6r82sh.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_6r82sh.htm) (дата звернення 14.11.2019) – Назва з екрана.
39. ГОСТ 26595-85 ФРЕЗЫ ТОРЦОВЫЕ С МЕХАНИЧЕСКИМ КРЕПЛЕНИЕМ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН ТИПЫ И ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ
40. ГОСТ 16225-81 Фрезы концевые для обработки легких сплавов. Конструкция и размеры
41. ГОСТ 10903-77 Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Основные размеры
42. ГОСТ 1672-80 РАЗВЕРТКИ МАШИННЫЕ ЦЕЛЬНЫЕ ТИПЫ, ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ

43. Сварка алюминия - особенности и технологии полуавтоматической MIG и аронодуговой TIG сварки [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <http://www.smart2tech.ru/svarka-alyuminiya#:~:targetText=%D0%90%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F%20TIG%20%D1%81%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0%20%D0%B0%D0%BB%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%8F,%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8C> (дата звернення 14.11.2019) – Назва з екрана.
44. Сварочные столы и зажимные устройства Siegmund [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://svarcom.net/katalog/svarochnye-stoly.html> (дата звернення 14.11.2019) – Назва з екрана.
45. ГОСТ 18475-82 Трубы холоднодеформированные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия
46. NTNU i Gjøvik [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.ntnu.no/gjovik> (дата звернення 19.11.2019) – Назва з екрана.
47. Original Prusa i3 MK3S 3D printer [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/181-original-prusa-i3-mk3-3d-printer.html> (дата звернення 19.11.2019) – Назва з екрана.
48. Original Prusa SL1 3D [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/717-original-prusa-sl1.html> (дата звернення 19.11.2019) – Назва з екрана.
49. PrusaSlicer [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://www.prusa3d.com/prusaslicer/> (дата звернення 19.11.2019) – Назва з екрана.
50. Ликбез по химикатам или что в чем растворяется [Электронный ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступа до ресурсу: <https://3dtoday.ru/blogs/3dlab/introduction-to->

- [chemicals-or-that-what-is-dissolved/](#) (дата звернення 19.11.2019) – Назва з екрана.
51. Autodesk Maya [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.autodesk.com/products/maya/overview> (дата звернення 19.11.2019) – Назва з екрана.
52. Autodesk Netfabb [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.autodesk.ru/products/netfabb/new-features> (дата звернення 19.11.2019) – Назва з екрана.
53. Запорожский автомобилестроительный завод [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4) (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
54. ЗАЗ будет выпускать вместо Славуты автомобили для инвалидов [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://focus.ua/lifestyle/174845> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.
55. Carospeed® Classic [Електронний ресурс]. [Веб-сайт]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.braunability.eu/en/products/driving-aids/carospeed-classic/> (дата звернення 06.10.2019) – Назва з екрана.

## **Додатки**

## Додаток А. Код програми MatLab для створення штучної перешкоди

```
function x=road(v,l,h)
deltat=1/(.28*v);
t=0:
t=t';
x=h/2*(1-cos(2*pi*t/deltat));
plot(t,x);
xlabel('Time (s)'); ylabel ('Height (m)'); title(strcat('Speed Bump (', num2str(l),'
(m) x (', num2str(h), ' (m)) (' , num2str(v), ' (kph))'));
x=[t x];
```

## Додаток Б. Елемент коду керуючої програми для друку

; generated by PrusaSlicer 2.0.0+win64 on 2019-12-09 at 17:11:00

;

; external perimeters extrusion width = 0.45mm

; perimeters extrusion width = 0.45mm

; infill extrusion width = 0.45mm

; solid infill extrusion width = 0.45mm

; top infill extrusion width = 0.40mm

; support material extrusion width = 0.35mm

; first layer extrusion width = 0.42mm

M73 P0 R221

M73 Q0 S224

M201 X1000 Y1000 Z1000 E5000 ; sets maximum accelerations, mm/sec<sup>2</sup>

M203 X200 Y200 Z12 E120 ; sets maximum feedrates, mm/sec

M204 P1250 R1250 T1250 ; sets acceleration (P, T) and retract acceleration (R),  
mm/sec<sup>2</sup>

M205 X8.00 Y8.00 Z0.40 E1.50 ; sets the jerk limits, mm/sec

M205 S0 T0 ; sets the minimum extruding and travel feed rate, mm/sec

M107

M115 U3.8.1 ; tell printer latest fw version

G90 ; use absolute coordinates

M83 ; extruder relative mode

M104 S215 ; set extruder temp

M140 S60 ; set bed temp  
M190 S60 ; wait for bed temp  
M109 S215 ; wait for extruder temp  
G28 W ; home all without mesh bed level  
G80 ; mesh bed leveling  
G1 Y-3.0 F1000.0 ; go outside print area  
G92 E0.0  
G1 X60.0 E9.0 F1000.0 ; intro line  
M73 Q0 S224  
M73 P0 R221  
G1 X100.0 E12.5 F1000.0 ; intro line  
G92 E0.0  
M221 S95  
M900 K30 ; Filament gcode  
G21 ; set units to millimeters  
G90 ; use absolute coordinates  
M83 ; use relative distances for extrusion  
;BEFORE\_LAYER\_CHANGE  
G92 E0.0  
;0.2

## Додаток В. Процес друку макету платформи «odi»

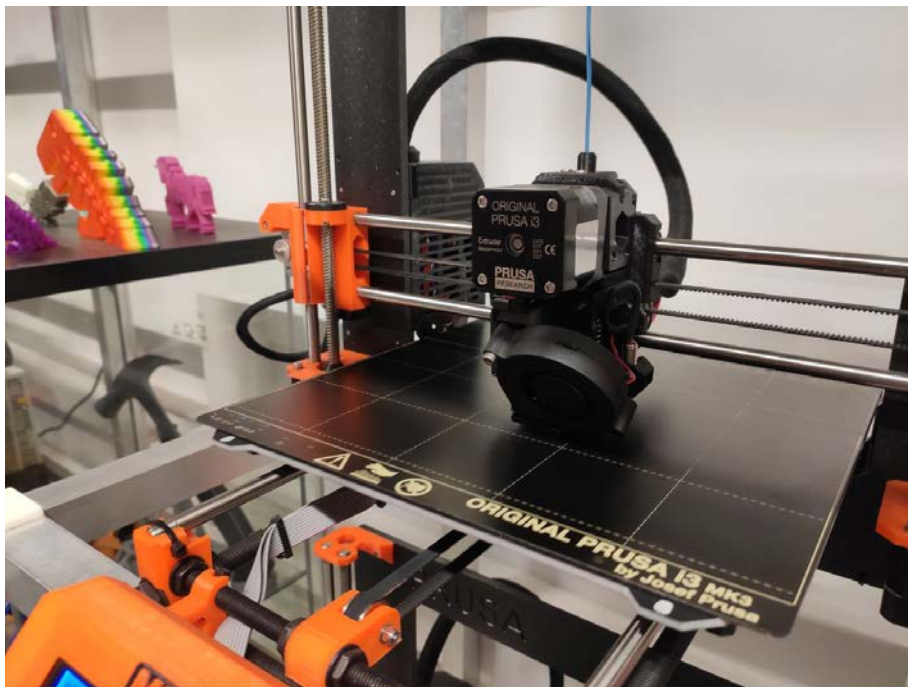


Рисунок В.1 – Ініціалізація процесу друкування

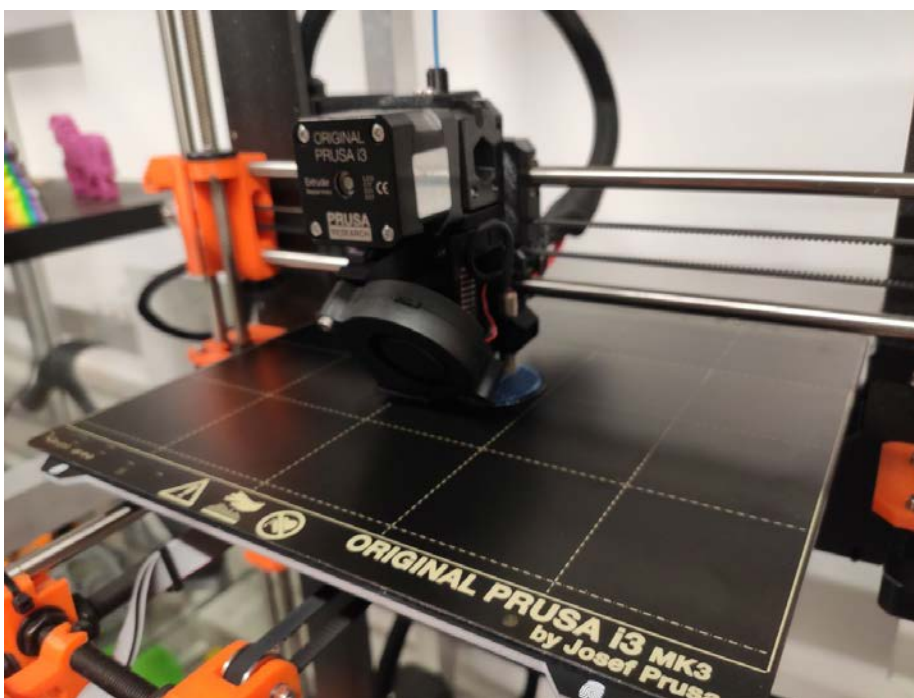


Рисунок В.2 – Процес друкування

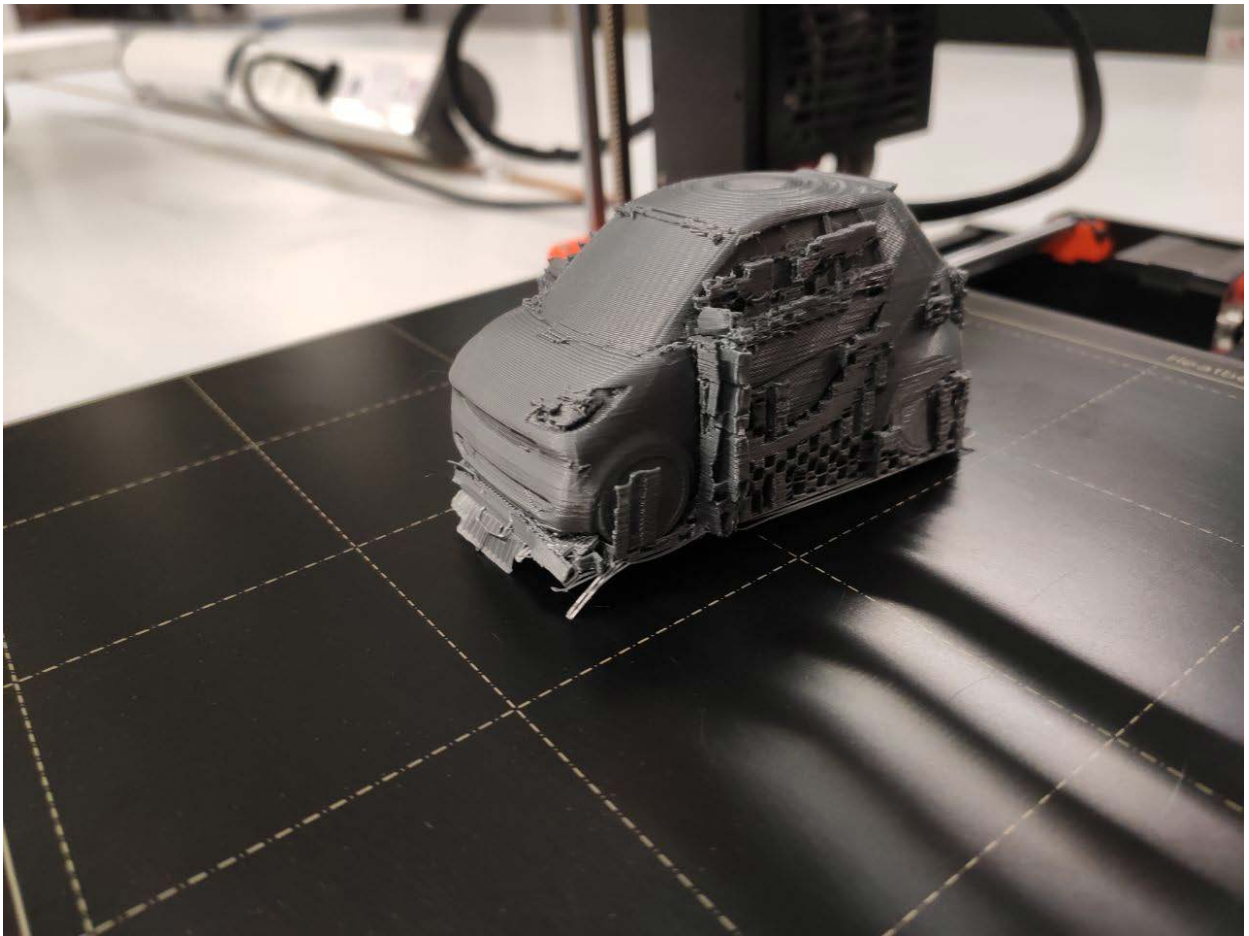


Рисунок В.3 – Результат друку

Відповідно до рисунку В.3 можна побачити, що надрукована модель має велику кількість помилок, що свідчить про проблеми з сіткою моделі. Саме через це було прийнято рішення створити нову модель, з урахування отриманих результатів.