

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

Другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення комп'ютерної моделі крокуючої
мобільної платформи для переміщення сходами
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи КТРСм-22-1

Цешевський Валерій Валентинович
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Бронніков А.І.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024р.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

12.01.2024



Цешевський В.В.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ
 Кафедра _____ КІТАР
 Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)
 Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 Тип програми _____ Освітньо-професійна
 Освітня програма _____ Комп'ютеризовані та робототехнічні системи
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Цешевському Валерію Валентиновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення комп'ютерної моделі крокуючої мобільної платформи для переміщення сходами

Затверджена наказом по університету від «03» Листопада 2023 р № 1288 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 03 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження – переміщення мобільного робота по сходах. Предмет дослідження – мобільний робот для переміщення вантажів по сходах. Функція системи – переміщення вантажів по сходах. Технічне забезпечення: IBM PC-сумісний персональний комп'ютер; CAD/CAM/CAE середовище Autodesk Fusion 360.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ. Огляд і аналіз сучасного стану проблеми переміщення сходами. Огляд механізмів для пересування вантажів сходами, що виготовляються серійно. Розробка вимог до платформи. Розробка принципової схеми руху пристрою. Вибір принципової схеми кріплення ноги та актуатора. Розрахунок місця кріплення актуатора до слайдера. Розробка структурної схеми крокуючої платформи. Розробка комп'ютерної моделі. Розробка електричної схеми

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Плакати та креслення по тексту пояснювальної записки. Комп'ютерні ілюстрації що зображують розроблену комп'ютерну модель крокуючої платформи та її окремі вузли.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Приміт-ка
1	<i>Отримання, аналіз завдання, уточнення плану роботи</i>	<i>10.09.2023</i>	<i>Виконано</i>
2	<i>Огляд і аналіз сучасного стану проблеми переміщення сходами</i>	<i>20.09.2023</i>	<i>Виконано</i>
3	<i>Підбір типу рушія</i>	<i>07.10.2023</i>	<i>Виконано</i>
4	<i>Підбір комплектуючих</i>	<i>15.10.2023</i>	<i>Виконано</i>
5	<i>Розробка комп'ютерної моделі</i>	<i>21.10.2023</i>	<i>Виконано</i>
6	<i>Розробка електричної схеми</i>	<i>25.10.2023</i>	<i>Виконано</i>
7	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>01.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
8	<i>Підготовка презентації</i>	<i>10.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
9	<i>Подання закінченої роботи керівникові</i>	<i>15.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
10	<i>Подання роботи на рецензування</i>	<i>23.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
11	<i>Попередній захист</i>	<i>27.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
12	<i>Подання роботи до екзаменаційної комісії</i>	<i>01.12.2023</i>	<i>Виконано</i>

Дата видачі завдання «10» березня 2023 р.

Студент

_____ (підпис)

Цешевський В.В.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

доц. Бронніков А.І.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 88 с., 6 табл., 59 рис., 3 дод., 37 джерел.

РОБОТОТЕХНІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАЖКОГО ОБЛАДНАННЯ, СХОДИ, ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ ОБЛАДНАННЯ, АЛГОРИТМ, РОБОТ ДЛЯ ПЕРМІЩЕННЯ СХОДАМИ.

Об'єкт дослідження – переміщення мобільної платформи по сходах.

Предмет дослідження – мобільна платформа для переміщення важкого обладнання по сходах.

Мета роботи – вирішити проблему підвищення стабільності при механізованому переміщенні вантажів сходами.

Методи дослідження – системний аналіз, імітаційне моделювання, математичне моделювання.

Результати: науковий – розроблено всеосяжне розуміння викликів та потенційних рішень, пов'язаних зі створенням робота для переміщення важкого обладнання по сходах; практичний – запропонована стратегія дизайну та програмування для такого робота, з потенційними наслідками для майбутнього втілення в промисловості.

Сфера застосування – будь-які системи, призначені для переміщення важкого обладнання. Результати можуть бути використані підприємствами та організаціями, які займаються проектуванням та виробництвом таких роботів, а також тими, хто займається промисловою роботою, де необхідне переміщення важкого обладнання.

ABSTRACT

Explanatory note: 88 p., 6 tables, 59 figures, 3 appendix, 37 sources.

ROBOTIC TECHNOLOGIES, MOVEMENT OF HEAVY EQUIPMENT, STAIRS, LIFT AND TRANSPORT EQUIPMENT, ALGORITHM, STAIR CLIMBING ROBOT.

The object of the study is the movement of a mobile platform by stairs.

The subject of the study is a mobile platform for moving heavy equipment on stairs.

The purpose of the work is to solve the problem of increasing stability during the mechanized movement of loads by stairs.

Research methods – system analysis, simulation modelling, mathematical modelling.

Results: scientific – developed a comprehensive understanding of the challenges and potential solutions associated with the creation of a robot for moving heavy equipment by stairs; practical – a proposed design and programming strategy for such a robot, with potential implications for future implementation in industry.

The scope of application is any system designed to move heavy equipment. The results can be used by enterprises and organizations engaged in the design and production of such robots, as well as those engaged in industrial work where the movement of heavy equipment is required.

ЗМІСТ

Вступ.....	11
1 Огляд і аналіз сучасного стану проблеми переміщення сходами.....	13
1.1 Огляд існуючих підходів для переміщення сходами.....	13
1.1.1 Механізм підйому по сходах на базі гусениць.....	13
1.1.2 Механізм підйому по сходах на базі ніг.....	17
1.1.3 Механізм підйому по сходах на базі гнучких шин.....	18
1.1.4 Механізм підйому по сходах на базі двох або більшої кількості пар груп коліс.....	19
1.1.5 Механізм підйому по сходах на базі однієї пари груп коліс.....	21
1.1.6 Гібридні механізми підйому по сходах з колесами та ногами.....	22
1.2 Порівняння існуючих підходів для переміщення сходами.....	23
1.3 Огляд сучасних механізмів для пересування вантажів сходами, що виготовляються серійно.....	25
1.3.1 Hercules Steprider.....	25
1.3.2 AATA International Stair-Robot SR-1750.....	26
1.3.3 Zonzini Domino Plasmoid.....	28
1.3.4 Wesco LiftKar HD.....	29
1.3.5 EZ Climber 1300/H.....	30
1.4 Порівняння характеристик серійних механізмів для пересування вантажів сходами.....	33
1.5 Висновки до розділу 1.....	34
2 Розробка кінематичної схеми крокуючої мобільної платформи для переміщення сходами.....	35
2.1 Розробка вимог до платформи.....	35

2.1.1	Вибір параметрів сходів під які розрахована платформа	36
2.1.2	Вибір граничних геометричних параметрів сходів	36
2.1.3	Вибір максимального розміру та ваги вантажу	38
2.1.4	Вибір максимальної спорядженої маси	38
2.1.5	Остаточні вимоги до платформи:	38
2.2	Розробка принципової схеми руху пристрою	39
2.2.1	Вибір типу рушія	39
2.2.2	Вибір кількості ніг	40
2.2.3	Вибір місця розташування блоків ніг	40
2.2.4	Вибір кінематичної схеми руху ніг мобільної платформи	41
2.3	Вибір типу засобів механізації	45
2.4	Обчислення вимог до параметрів кроку ніг крокуючої платформи	46
2.5	Розробка кінематики процесу вставання та сидання	47
2.6	Вибір принципової схеми кріплення ноги та актуатора	48
2.7	Доопрацювання платформи	53
2.8	Розрахунок місця кріплення актуатора до слайдера	55
2.9	Висновки до розділу 2	59
3	Розробка структурної схеми та підбір комплектуючих	61
3.1	Розробка структурної схеми крокуючої платформи	61
3.2	Вибір елементної бази	63
3.2.1	Вибір мікроконтролера та BlueTooth-модуля	63
3.2.2	Вибір драйверів моторів	63
3.2.3	Вибір пристрою для керування 12 моторами одночасно	63
3.2.4	Вибір моторів для зубчастої рейки	64
3.2.5	Вибір актуаторів	64

3.2.6	Вибір лазерних датчиків відстані.....	64
3.2.7	Вибір пристрою для одночасного під'єднання 12 лазерних датчиків відстані	65
3.2.8	Вибір акумулятора 24 В	65
3.2.9	Вибір понижуючого DC-DC перетворювача	65
3.3	Технічні характеристики компонентів.....	65
3.4	Розрахунок кошторису проекту.....	70
3.5	Висновки до розділу 3	71
4	Розроблення комп'ютерної моделі крокуючої мобільної платформи для переміщення сходами	72
4.1	Розробка комп'ютерної моделі.....	72
4.2	Розробка електричної схеми	74
4.3	Розробка блок-схеми алгоритму роботи.....	76
4.4	Експериментальні дослідження з розробленою моделлю	78
4.5	Висновки до розділу 4	81
	Висновки	82
	Перелік джерел посилання	84
	Додаток А Апробація наукових досліджень	88
	Додаток Б Демонстраційний матеріал	98
	Додаток В Відомості кваліфікаційної роботи	101

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

BLE – Bluetooth з низьким енергоспоживанням (англ. Bluetooth Low Energy);

CAD – технологія автоматизованого проектування (англ. Computer-aided design);

CAE – технологія автоматизованої розробки (англ. Computer-aided engineering);

CAM – технологія автоматизованого виробництва (англ. Computer-aided manufacturing);

DC – постійна напруга (англ. Direct current);

GND – електричний нульовий потенціал (від англ. Ground);

HID – стандарт підключення через універсальну послідовну шину комп'ютерних пристроїв вводу-виводу, які призначені для прямої взаємодії з людиною (англ. Human interface device);

I2C – стандарт послідовної шини даних для зв'язку інтегральних схем;

IDE – інтегроване середовище розробки (англ. Integrated Development Environment);

SCL – послідовна лінія тактування шини I2C (англ. Serial CLock);

SDA – послідовна лінія даних шини I2C (англ. Serial DAta).

ВСТУП

Механізми для переміщення вантажів сходами наймовірно корисні з кількох причин:

- зменшення фізичного напруження і покращення умов праці: механізми для переміщення вантажів по сходам значно зменшують фізичні зусилля, необхідні для переміщення важких або громіздких предметів вгору та вниз по сходах, що зменшує ризик отримання травм для людини, яка виконує це завдання;

- безпека: вони забезпечують більш безпечний спосіб транспортування товарів, оскільки ручне переміщення, особливо на сходах, може призвести до нещасних випадків або падінь. Завдяки механізми для переміщення вантажів по сходам ризик падіння предметів і спричинення травм чи пошкодження зведений до мінімуму;

- ефективність: вони підвищують ефективність переміщення товарів дозволяючи скоротити кількість працівників зайнятих у вантажних операціях і час, необхідний для переміщення вантажів між поверхами. У деяких випадках вони також можуть зменшити потребу в додатковому обладнанні, такому як ліфти або підйомники;

- доступність: вони покращують доступність, дозволяючи доставляти дуже важкі вантажі в місця, де немає ліфтів або ліфти не розраховані під таку вагу вантажів.

Підводячи підсумок, механізми для переміщення вантажів сходами є цінними інструментами в логістиці, переїздах житла, офісних переїздах і службах доставки. Їхня конструкція повинна забезпечувати максимальну безпеку та ефективність виконання завдань з переміщення вантажів.

Перші серійні моделі механізмів для перевезення вантажів сходами з'явилися на ринку біля 30 років тому і потребували двох операторів для використання. З тих пір на ринку з'явилися десятки різноманітних моделей і

найновіші з них вже можуть використовуватись одним оператором. Але навіть найсучасніші існуючі механізми для перевезення вантажів сходами покладаються на фізичну силу оператора у деяких моментах процесу переміщення вантажів сходами задля збереження рівноваги.

Це робить неможливим створення повноцінного автономного робота для переміщення вантажів сходами на базі цих механізмів.

Метою цієї роботи є саме створення механізму для переміщення вантажів сходами який би забезпечував абсолютну стабільність у будь-якій момент переміщення вантажів сходами без використання фізичної сили оператора і, таким чином, міг би стати основою для автономного робота для переміщення вантажів сходами.

Для досягнення мети роботи, планується зробити огляд і аналіз сучасного стану проблеми переміщення сходами, обрати тип рушія, підібрати комплектуючі, розробити комп'ютерну модель та електричну схему.

Оформлення пояснювальної записки виконано відповідно вимог ДСТУ 3008:2015 [1] та рекомендацій [2-4]. Під час навчання на другому (магістерському) рівні матеріали, що були використані для написання кваліфікаційної роботи було апробовано та висвітлено в статті [5].

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПЕРЕМІЩЕННЯ СХОДАМИ

1.1 Огляд існуючих підходів для переміщення сходами

Усі механізми що зустрічаються у сучасній літературі можна класифікувати на шість категорій:

- на базі гусениць;
- на базі ніг;
- на базі гнучких шин;
- на базі двох або більшої кількості пар груп коліс;
- на базі однієї пари груп коліс;
- гібридні механізми підйому по сходах.

Розглянемо кожен з них.

1.1.1 Механізм підйому по сходах на базі гусениць

Основна перевага гусеничної системи полягає в її великій контактній площі з землею, що покращує тягу та стабільність. Ця особливість є особливо корисною при пересуванні по сходах, нерівній поверхні або слизьких поверхнях [6].

Центральна ідея дизайну гусеничних роботів полягає в розподілі ваги робота рівномірно по гусеницях, що знижує тиск на землю та збільшує стабільність. Під час подолання сходів передня частина гусениці піднімає робота на наступний крок, і коли він рухається вперед, задня частина гусениці підштовхує його вгору. Цей механізм дозволяє роботу подолати сходи гладко без ризику перекидання.

Гусеничні механізми, що мають змогу долати сходи, знайшли застосування у трьох галузях.

У сфері усунення наслідків стихійних лих ці роботи можуть переміщатися через завали та сходи в обвалених будівлях, допомагаючи у місіях пошуку та рятування [7]. Наприклад, «iRobot PackBot» (рисунок 1.1) був використаний під час операцій з рятування в Світовому торговому центрі 11 вересня та під час аварії на атомній станції Фукусіма [8].



Рисунок 1.1 – Робот iRobot PackBot

У сфері охорони здоров'я після багатьох років розробки [9] з'явилися перші серійні інвалідні візки, що мають змогу долати сходи – це візок Scevo BRO від швейцарської компанії Scevo [10] (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Візок Scevo BRO

У сфері переміщень вантажів між сходами серійно виготовляються декілька механізмів що значно полегшують переміщення вантажів сходами від

таких компаній як AATA International, Zonzini, Wesco, EZ Climber та інших. Це можуть бути як відносно маленькі та прості моторизовані візки (рисунок 1.3) так і великі гусеничні платформи вантажопідйомністю до 1000 кг (рисунок 1.4), але усі ці механізми не є роботами ні в якому сенсі цього слова – це саме моторизовані візки які потребують постійного керування оператором а у багатьох випадках і допомоги від оператора.



Рисунок 1.3 – Моторизований візок AATA International Stair-Robot Express



Рисунок 1.4 – Моторизована платформа для переміщення вантажів сходами
AATA International Stair-Robot SR-1750

1.1.2 Механізм підйому по сходах на базі ніг

Основний виклик при розробці роботів на базі ніг полягає в складності систем керування, які необхідні для підтримки рівноваги та координації між ногами робота.

Система керування робота повинна координувати рух ніг, регулюючи положення кожного суглоба для підтримки рівноваги. У контексті подолання сходів робот повинен точно сприймати розміри сходів та відповідно налаштовувати свої кроки [11].

На сьогоднішній день вже існує декілька серійних роботів з артикульованими ногами, що можуть долати дуже складну місцевість, та, серед іншого, також долати і сходи. Це такі роботи як Spot, та Big Dog від Boston Dynamics.

У сфері охорони здоров'я було декілька прототипів інвалідних візків з артикульованими ногами [12, 13] (рисунок 1.5), але вони так ніколи і не дійшли до серійного виробництва через свою складність.



Рисунок 1.5 – Механізм з артикульованими ногами

1.1.3 Механізм підйому по сходах на базі гнучких шин

Корейська компанія Mobinn винайшла цікавий підхід до переміщення сходами за допомогою гнучких коліс [14]. Ці колеса дуже схожі на шини Michelin Airless Tires але зроблені з більш м'якої гуми. При використанні таких шин робот не потребує додаткових механізмів для пересування сходами (рисунки 1.6 та 1.7).



Рисунок 1.7 – Перший прототип робота Mobinn з гнучкими шинами



Рисунок 1.8 – Прототип робота курера від Mobinn з гнучкими шинами

1.1.4 Механізм підйому по сходах на базі двох або більшої кількості пар груп коліс

Група коліс – це компонент з кількома колесами, рівномірно розподіленими в одній площині навколо спільного центру. Групи коліс зазвичай мають від двох до чотирьох коліс, як показано на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Варіанти груп коліс

Цей механізм був придуманий Джоном Джексоном у 1946 році для використання у ручних візках як раз для подолання сходів (рисунок 1.10) [15].



Рисунок 1.10 – Ручний візок з механізмом «Tri-star»

Вже у 1956 році А. Йохансен запатентував інвалідний візок з однією парою груп коліс які оберталися за допомогою мотору [16].

З того часу з'явилося багато варіантів інвалідних візків на базі колісних груп. Варіанти з двома парами колісних груп більш стабільні самі по собі і не потребують додаткових систем стабільності (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Механізм підйому по сходах на базі двох або більшої кількості пар груп коліс

1.1.5 Механізм підйому по сходах на базі однієї пари груп коліс

Було декілька спроб використати одну пару груп коліс для механізм підйому по сходах [17], але найбільш цікавим та єдиним серійним виробом був інвалідний візок iBOT (рисунок 1.12) [18], в якому вперше використали технологію підтримки рівноваги двоколісного транспортного засобу за допомогою електромоторів, а не центра ваги. Візок міг ставати на два колеса і підтримувати рівновагу у такому режимі. Це досягалось тим, що кожне колесо приводить до руху свій електродвигун, що реагує на зміни рівноваги крісла. Останнє відбувається завдяки складній системі з п'яти вібруючих кілець-гіроскопів і двох рідинних датчиків нахилу, яка з частотою 100 разів на секунду визначає порушення балансування при зміні положення тіла людини, що знаходиться в кріслі. Згодом ця технологія була використана у всіх відомих Сігвеях.



Рисунок 1.12 – Інвалідний візок iBOT

1.1.6 Гібридні механізми підйому по сходах з колесами та ногами

Гібридні механізми підйому по сходах з колесами та ногами використовують комбінацію спеціальних механізмів деформації корпусу або артикульованих ніг та колісного механізму. Вони мають більш складну механічну структуру та метод керування навіть у порівнянні з системами з артикульованими ногами, бо зазвичай мають і артикульовані ноги у якомусь вигляді і колеса (рисунок 1.13, 1.14 та 1.15) [19, 20, 21].

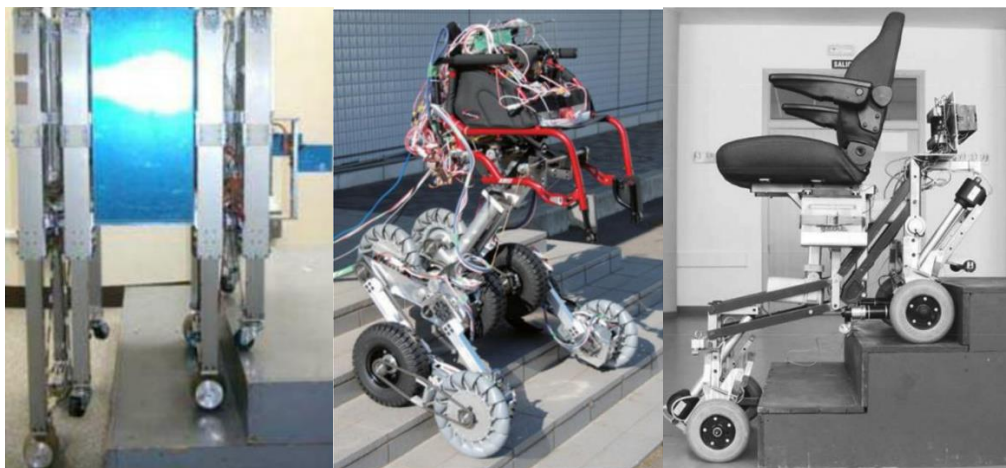


Рисунок 1.13 – Варіанти гібридних механізмів підйому по сходах з колесами та ногами

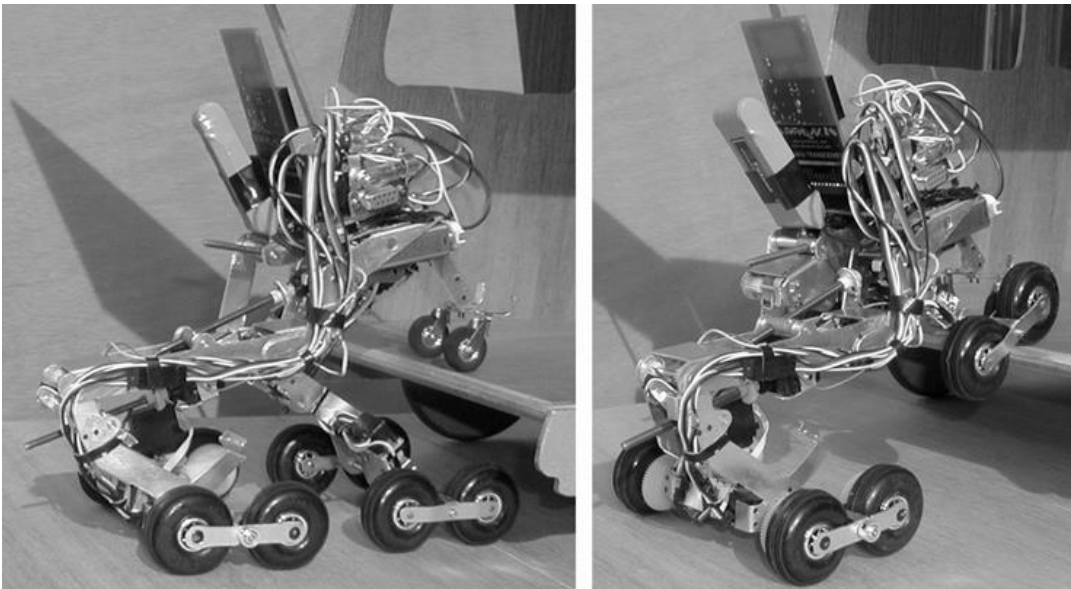


Рисунок 1.14 – Прототип інвалідного візка на базі гібридного механізму підйому по сходах з колесами та ногами



Рисунок 1.15 – Робот Ascento Pro здатен долати сходи «стрибками» [22]

1.2 Порівняння існуючих підходів для переміщення сходами

Порівняння існуючих конструктивних схем переміщення сходами виконано у таблиці 1.1 на базі порівнянь знайдених у літературі [23].

Таблиця 1.1 – Порівняння конструктивних схем переміщення сходами

Схема	Переваги	Недоліки
Гусенична	Відносно простий. Велика швидкість на горизонтальній поверхні. Може пересуватись нерівною горизонтальною поверхнею.	При пересуванні сходами, усе навантаження приходиться на самий край сходинки, що може привести до руйнування матеріалу сходів.
Артикульована нога	Спирається не на самий край сходинки, як гусеничні системи, а не горизонтальну поверхню сходинки.	Дуже складна та дорога конструкція. Мала швидкість на горизонтальній поверхні. При втраті живлення, скоріш за все, уся конструкція впаде.
На базі гнучких шин	Найпростіша конструкція з усіх. Велика швидкість на горизонтальній поверхні. Може пересуватись нерівною горизонтальною поверхнею. Спирається на більшу частину сходинки, ніж гусеничні системи.	Менша вантажопідйомність через меншу кількість точок зацепу у порівнянні з гусеничною системою.
На базі двох або більшої кількості пар груп коліс	Стабільність при пересуванні сходами. Висока швидкість на горизонтальній поверхні.	Великі габарити у довжину та висоту. Через великі габарити вага також велика.
На базі однієї пари груп коліс	Компактність. Висока швидкість на горизонтальній поверхні.	Потребує постійного живлення. Потребує допомоги від людини для переміщення сходами. Повільна швидкість пересування сходами.
Гібридний	Стабільність при пересуванні сходами та висока швидкість на горизонтальній поверхні.	Перевершує навіть конструкції з артикульованими ногами за складністю.

1.3 Огляд сучасних механізмів для пересування вантажів сходами, що виготовляються серійно

Мета цієї роботи – розробка крокуючої платформи для переміщення сходами саме вантажів, а не людей, отже має сенс проаналізувати які принципи переміщення сходами знайшли застосування серед серійних моделей механізмів для переміщення вантажів сходами.

1.3.1 Hercules Steprider

Механізований візок Hercules Steprider є перевіреною системою, яка використовується більше тридцяти років по всьому світу (рисунок 1.16) [24].

Він підіймається сходами за рахунок гусениць при цьому вантаж лежить паралельно сходам. Оператор повинен постійно страхувати вантаж за допомогою ременя, що проходить зверху вантажу (рисунок 1.17).

Чотири колеса, які входять у комплект, коли висунуті вниз від основної рами, діють як стандартний ручний візок і дозволяють котитися на 4 колесах, несучи вантаж, без будь-яких зусиль з боку оператора. Колеса спеціально розроблено таким чином, щоб не пошкодити сходи, підлогу або килими.



Рисунок 1.16 – Візок Hercules Steprider



Рисунок 1.17 – Пересування вантажу сходами візком Hercules Steprider

1.3.2 AATA International Stair-Robot SR-1750

Платформа SR-1750 (рисунок 1.18) вже більше 20 років використовується багатьма відомими компаніями і транспортними підрядниками по всьому світу [25].

Платформа SR-1750 призначена для транспортування одиничних вантажів вагою до 1000 кг вверх та вниз по сходах.

Для початку та закінчення переміщення по сходах платформа потребує додаткове обладнання – спеціальний пандус (рисунок 1.19) без якого платформа не може ані почати рухатись сходами, ані закінчити рух по сходах і перейти до руху по горизонтальній поверхні. Причому щоб зійти зі сходів на горизонтальну поверхню, цей пандус повинен бути занесений на гору сходів оператором.



Рисунок 1.18 – Платформа ААТА International Stair-Robot SR-1750

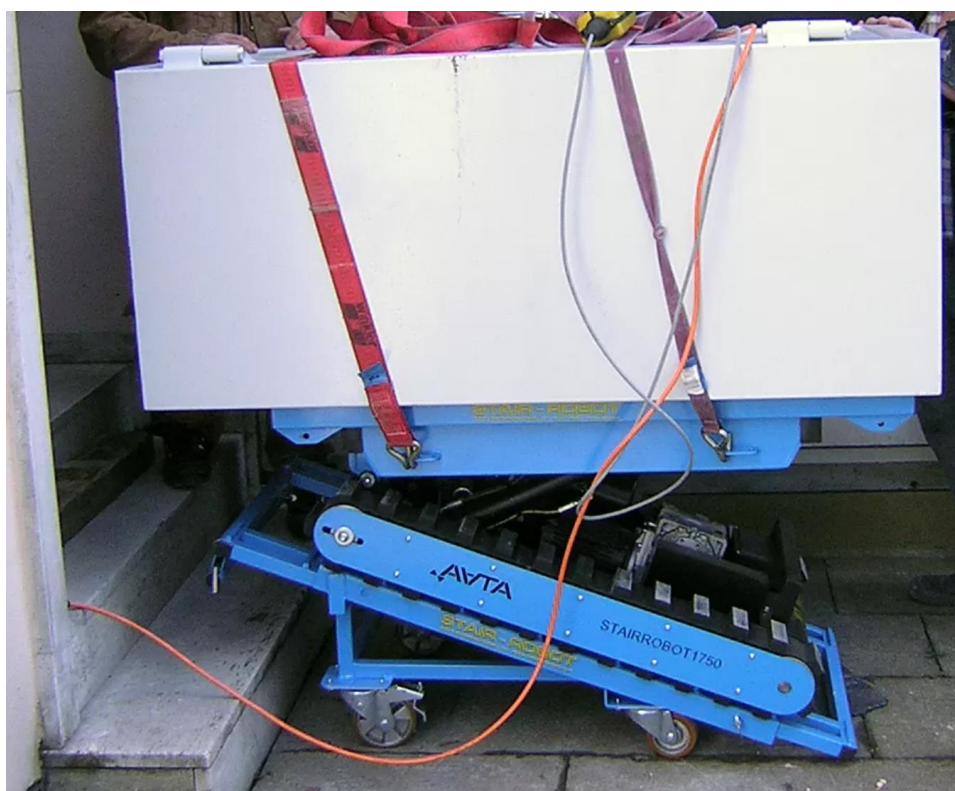


Рисунок 1.19 – Комплектный пандус до Stair-Robot SR-1750

1.3.3 Zonzini Domino Plasmoid

Італійська компанія Zonzini спеціалізується на виготовленні механізмів для перевезення вантажів та людей сходами. Найбільш досконалою їх моделлю є Zonzini Domino Plasmoid (рисунок 1.20) який здатен майже самостійно переходити від пересування по підлозі до пересування сходами [26].



Рисунок 1.20 – Платформа Zonzini Domino Plasmoid

Проблема переходу від підйому сходами до пересування рівною поверхнею вирішена наступним образом: додатково до гусениць в платформі є дві висувні опори з колесами, які ловлять робота, коли центр тяжіння платформи

підіймається над останньою сходинкою і платформа починає завалюватись уперед (рисунок 1.21).

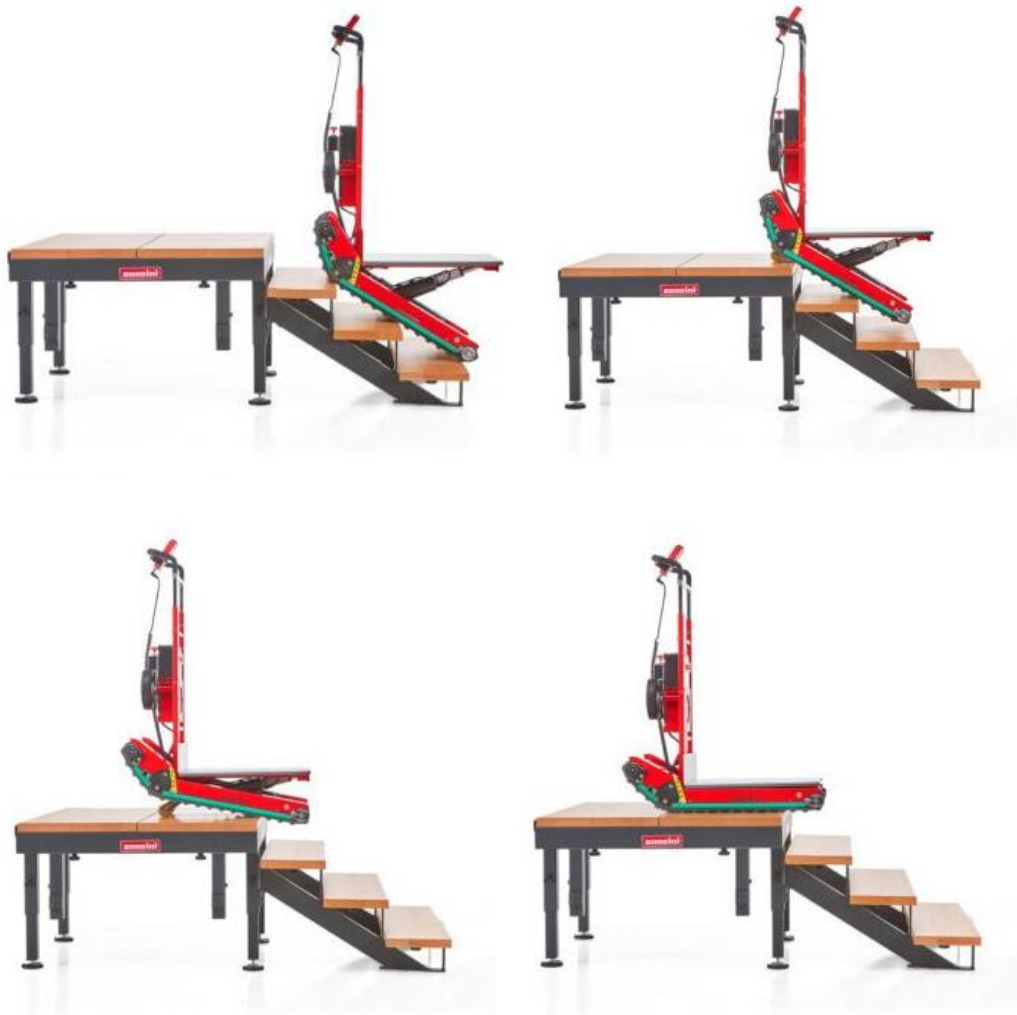


Рисунок 1.21 – Процес переходу від руху сходами до руху по горизонталі у платформи Zonzini Domino Plasmoid

1.3.4 Wesco LiftKar HD

Механізований візок Wesco LiftKar HD немає гусениць, а для підйому сходами використовує додаткову опору, що опускається проміж головних коліс, піднімаючи увесь візок з вантажем до рівня наступної сходинки, щоб головні колеса мали можливість встати на сходинку (рисунок 1.22). Через це підйом вантажу потребує допомоги оператора на кожній сходинці, а не тільки в началі та кінці процесу пересування сходами [27].

При спуску сходами візок здатен самостійно гальмувати, коли колеса знаходяться на краю сходинки. Це допомагає запобігти втраті контролю над вантажем через випадкове скочування зі сходів.



Рисунок 1.22 – Візок Wesco LiftKar HD

1.3.5 EZ Climber 1300/H

Платформа E-Z Climber 1300/H є найбільшою, найважчою і найдорожчою з усіх і єдиною що використовує гідравлічну систему. При цьому вантажопідйомність її доволі невелика – 600 кг при власній вазі 345 кг. Але вона має декілька унікальних функцій які не зустрічаються в інших механізмах (рисунок 1.23) [28].



Рисунок 1.23 – Платформа EZ Climber 1300/H

Ця платформа оснащена сталеву платформу, здатною підніматися назад у вертикальне положення. Платформа має виступ на кінці, який можна підсунути під предмет або вантаж, який ви хочете підняти. Потім можна або підняти та транспортувати вантаж як є, або можна нахилити його назад у горизонтальне положення, щоб покласти вантаж горизонтально перед транспортуванням (рисунок 1.24).



Рисунок 1.24 – Платформа EZ Climber 1300/H з на висувній опорі

E-Z Climber може підніматися на висоту до 70 см від землі на спеціальній висувній опорі з колесами, перетворюючись на візок, який можна штовхати (рисунок 1.24). Це допомагає платформі повертатися в обмеженому просторі.

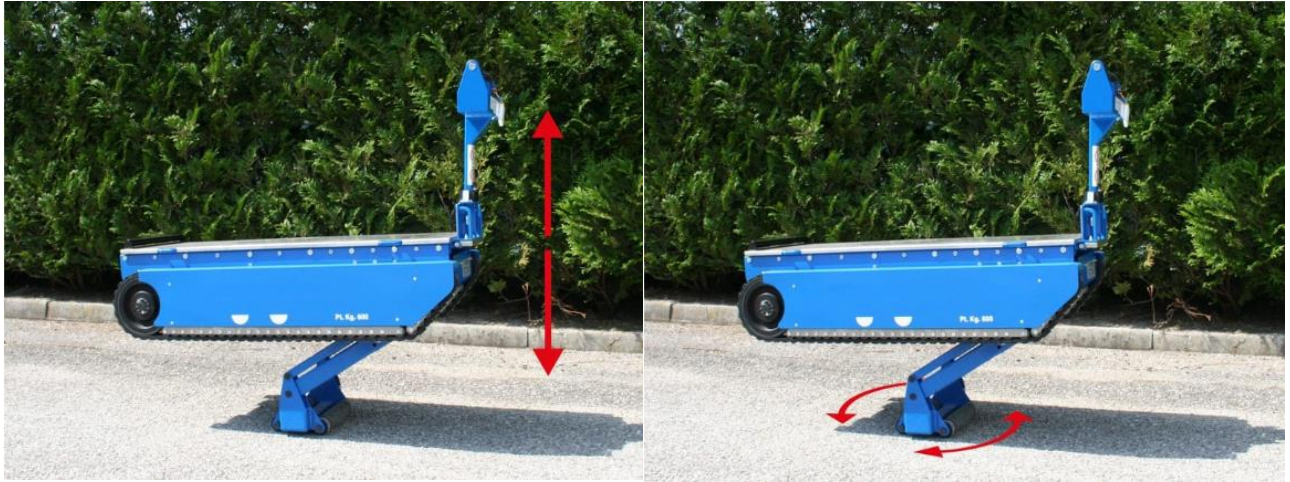


Рисунок 1.25 – Платформа EZ Climber 1300/Н з на висувній опорі

Сталева платформа для вантажу також має можливість рухатися уперед для того, щоб центр тяжіння вантажу завжди був у межах бази гусениць (рисунок 1.26).

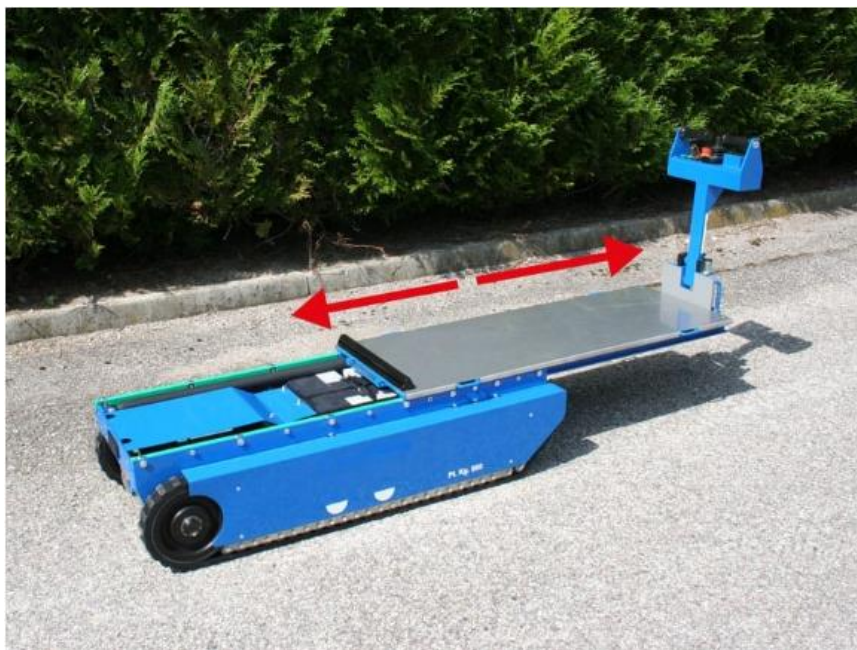


Рисунок 1.26 – Рух платформи для вантажу на EZ Climber 1300/Н

1.4 Порівняння характеристик серійних механізмів для пересування вантажів сходами

Порівняння механізмів для пересування вантажів сходами, що виготовляються серійно представлено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння механізмів для пересування вантажів сходами, що виготовляються серійно

	Steprider 1800	AATA Int. SR-1750	Zonzini Domino Plasmoid	Wesco LiftKar HD	E-Z Climber 1300/H
Довжина платформи, мм	355	1185	620	184	1205
Ширина платформи, мм	635	720	500	533	430
Максимальна вага вантажу, кг	816	1000	400	328	600
Вага механізму, кг	67	225	130	43	345
Чи потребує додаткового обладнання для початку/ закінчення переміщення сходами	Ні	Так, пандус	Ні	Ні	Ні
Чи може переміщуватись сходами без допомоги людини	Ні	Ні	Так	Ні	Так
Ціна, USD	14499	за запитом	8971	5799	32095

1.5 Висновки до розділу 1

В розділі 1 було проведено огляд та аналіз сучасного стану проблеми переміщення вантажів сходами.

Було зроблено огляд існуючих підходів для переміщення сходами, описаних в літературі, наведено приклади та ілюстрації та зроблено порівняння з недоліками та перевагами кожної конструктивної схеми переміщення сходами.

Також було зроблено огляд більш вузької проблеми – проблеми переміщення сходами саме вантажів. Наведено описи та ілюстрації існуючих механізмів для пересування вантажів сходами, що виробляються серійно. Зроблено порівняння характеристик цих механізмів.

2 РОЗРОБКА КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ КРОКУЮЧОЇ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ СХОДАМИ

2.1 Розробка вимог до платформи

Розроблена крокуюча платформа призначена для вирішення одного конкретного завдання – переміщення вантажів по сходах будівлі. Це завдання є поширеним у складах, фабриках та інших промислових середовищах, де важкі вантажі потребують транспортування на різні поверхи. Можна сказати, що ця платформа є модернізованою версією стандартного навантажувача для піддонів, але удосконаленого можливістю подолання сходів (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Електричний навантажувач для піддонів

Подивимось на звичайний навантажувач для піддонів, наведений на рисунку 2.1. В нього маленькі колеса і дуже маленький кліренс. Він не може переміщатись по складній місцевості. Навіть маленькі нерівності полу зупинять його. Але це йому і не треба. Бо він призначений для пересування по наливним бетонним полам що є типовими для складів та промислових будівель. Наливні бетонні поли мають дуже високу міцність. Тож якщо розроблювана крокуюча платформа повинна слугувати у якості удосконаленого електричного навантажувача для піддонів, то і працювати вона має у таких самих умовах.

Звідси ми можемо зробити деякі припущення щодо типу місцевості в яких буде оперувати платформа і введемо деякі обмеження на базі цих припущень.

2.1.1 Вибір параметрів сходів під які розрахована платформа

Згідно розділу ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд» [29] ширина маршу сходів всередині будинку повинна бути не менше ніж 1,35 м, а ширина майданчиків не менше ніж 1500 мм.

Але в Україні багато будинків побудовано ще по СНиП 2.08.02-89 [30] в якому вказано, що мінімальна ширина маршу:

- для багатопверхових будівель – 1050 мм;
- для бізнес-центрів та інших цивільних будівель – 1350 мм.

Ширина майданчиків згідно цього СНиПу повинна бути від 1200 мм і більше, але не менше ширини маршів.

Прийmemo менші величини як цільові, адже якщо платформа зможе піднятися по меншим сходам, то вона зможе піднятися і по більшим.

Звідси платформа проходить по сходам 1050 мм завширшки та розвертатися на площадці 1200 мм завширшки.

2.1.2 Вибір граничних геометричних параметрів сходів

Згідно додатку Б ДСТУ Б В.2.6-56:2008 Конструкції будинків і споруд: сходи залізобетонні та бетонні [31] сходи бувають наступними:

- висотою 145 та глибиною 330 мм;

- висотою 168 мм та глибиною 290 мм;
- висотою 168 мм та глибиною 260 мм;
- висотою 145 мм та глибиною 260 мм;
- висотою 145 мм та глибиною 290 мм;
- висотою 125 мм та глибиною 290 мм;
- висотою 100 мм та глибиною 330 мм.

Наведена глибина – це глибина саме горизонтальної частини сходинки.

Додатково кожна сходинка ще має навис 30 мм завширшки (рисунок 2.2).

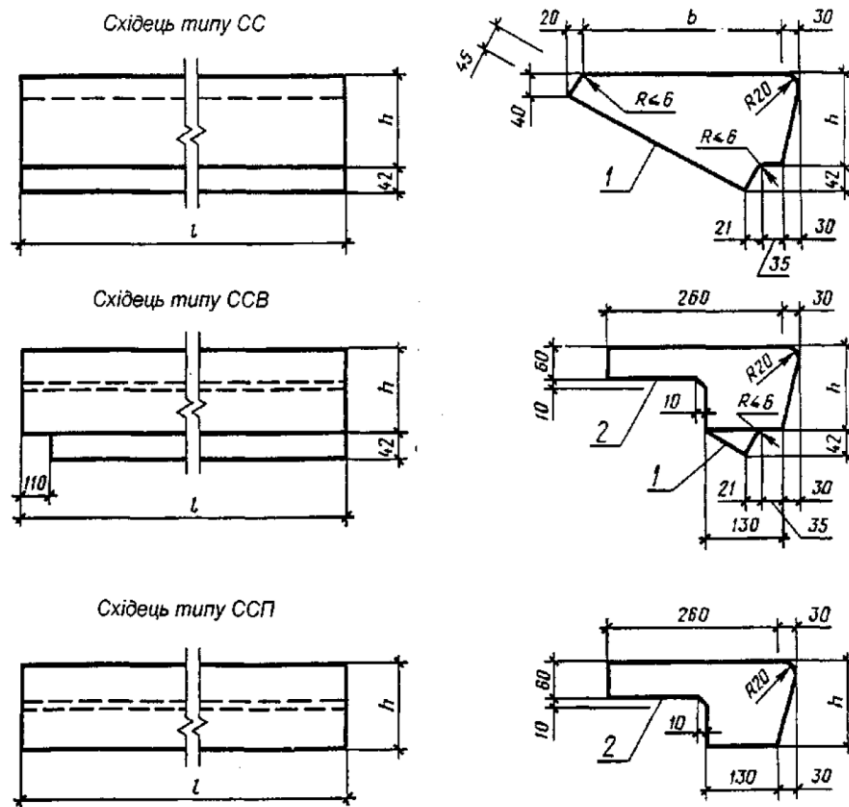


Рисунок 2.2 – Форма і розміри сходищ типів СС, ССВ, ССП

Вочевидь, що найгіршим випадком для крокуючої платформи є найбільш круті сходи. Отже приймаємо, що у випадку з найбільш крутими сходами крокуюча платформа має долати сходи до 168 мм заввишки з глибиною сходи 260 мм. У іншому випадку вона повинна долати сходи глибиною 330 мм.

2.1.3 Вибір максимального розміру та ваги вантажу

Стандартні розміри вантажних палет за європейською класифікацією EPAL наведені у таблиці 2.1 [32].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики підвидів європалет за класифікацією EPAL

Палета	Довжина (мм)	Ширина (мм)	Висота (мм)	Вага (кг)	Робоче навантаження (кг)
EPAL 1	1 200	800	144	25	1 500
EPAL 2	1 200	1 000	162	35	1 250
EPAL 3	1 200	1 000	144	30	1 500
EPAL 6 (напівпалета)	800	600	144	9,5	500
EPAL 7 (напівпалета)	800	600	163	9,5	500

Зрозуміло, що крокуюча платформа розрахована під палету довжиною 1200 мм не зможе розвернутися на майданчику 1200 мм завширшки. Отже цільовим розміром палети буде EPAL 6 чи EPAL 7 – 800 мм х 600 мм.

2.1.4 Вибір максимальної спорядженої маси

Згідно з пунктом 3.5 ДСТУ Б В.2.6-56:2008 «Конструкції будинків і споруд: східці залізобетонні та бетонні» залізобетонні східці призначені для застосування на сходах з розрахунковим короткочасним навантаженням (без урахування власної ваги) до 6 кПа (600 кг/м²). Платформа розрахована під перевезення палети розміром 800 мм х 600 мм з урахуванням додаткового місця потрібного під рушії, акумулятори і так інше, як раз займе приблизно 1 м² площі. Отже максимальна споряджена маса платформи з вантажем не повинна перевищувати 600 кг.

2.1.5 Остаточні вимоги до платформи:

Виходячи з матеріалів наведених у пп. 2.1.1 – 2.1.4 підсумуємо вимоги:

- платформа має перевозити так звані напівпалети – палети з розмірами 800 мм x 600 мм;
- платформа повинна долати сходи до 168 мм заввишки з глибиною сходи від 260 мм до 330 мм;
- платформа проходить по сходах 1050 мм завширшки та розвертатися на площадці 1200 мм завширшки;
- загальна споряджена маса платформи з вантажем не повинна перевищувати 600 кг.

Додатково, додаймо наступні вимоги які повинні полегшити життя операторам цього пристрою:

- платформа має в'їжджати під піддони, як звичайний навантажувач;
- вантаж повинен перевозитись у вертикальному положенні;
- платформа повинна бути стабільною завжди і навіть при втраті напруги на моторах вона повинна залишитися стабільною і вантаж не повинен впасти – платформа має мати змогу зупинитись у будь-якому положенні і бути непохитною;
- у межах одного проліту сходів розміри усіх сходів є однаковими.

2.2 Розробка принципової схеми руху пристрою

2.2.1 Вибір типу рушія

Згідно аналізу проведеному у розділі 1, усі сучасні серійні механізми для переміщень вантажів по сходах є гусеничними. Це зумовлено простою та відносною надійністю конструкції.

Але також з цього аналізу видно що усі ці механізми потребують допомоги за рахунок фізичної сили оператора на етапі переходу від руху по сходах до виїзду на горизонтальну поверхню.

Як зробити чисто гусеничний механізм який зможе самостійно виїжджати на горизонтальну поверхню – незрозуміло. Можливо зробити гібридний механізм, як це зроблено в Zonzini Domino Plasmoid Stabilized, де додатково до

гусениць є дві ноги, що «ловлять» передню частину платформи, коли вона піднімається над останнім сходом, і потім плавно опускає її на підлогу, але і там є іноді одна гусениця прослизав на ступені відносно гусениці з іншого боку, і тоді платформа намагається повернутися вліво чи вправо і лише фізична сила оператора допомагає втримати платформу прямо. А якщо платформа повернеться, що скоріш за все вона перекинеться.

Отже якщо наша ціль зробити процес підйому сходами абсолютно надійним без будь-якої можливості ковзання, з прицілом на те, щоб платформу можна було зробити автономною, треба використовувати ноги і робити платформу крокуючою.

2.2.2 Вибір кількості ніг

Розглянемо варіант з 2 ногами. Тримати баланс на 2 ногах дуже складно. А в момент виконання кроку так і зовсім балансує на одній нозі.

Розглянемо варіант з 4 ногами. Мінімально статична безпечна конфігурація – у будь який момент стояти як мінімум на 3 ногах [33]. Якщо обрати варіант з 4 ногами, щоб стояти у будь який момент на 3 ногах треба буде переставляти по 1 нозі за раз. Це небезпечно, бо платформа буде спиратись на дві ноги з однієї сторони та на 1 з іншої, що є несиметричним навантаженням.

Розглянемо варіант з 6 ногами, з яких одночасно будуть рухатись дві ноги, а 4 будуть стояти на місці. Така кількість ніг є найменшою кількістю ніг що забезпечить симетрію та рівномірне навантаження на сторони, та зробить так, що у будь-який момент часу платформа буде спиратись не менш ніж на 3 опори.

Варіанти з більшою кількістю ніг не дають значних переваг у порівнянні з варіантом з 6 ногами.

Отже обираємо 6 ніг.

2.2.3 Вибір місця розташування блоків ніг

Позиціонування ніг повинно бути таким, щоб платформа могла в'їхати під піддони, як звичайний навантажувач. Розроблювана крокуюча мобільна

платформа повинна рухатися по рівних поверхнях так само, як звичайний навантажувач на кількох невеликих колесах. Але коли зустрічаються сходи, ця крокуюча мобільна платформа повинна переходити в режим ходьби за командою оператора і переносити свій вантаж по сходах.

Якщо ноги будуть під вантажем, то ніяким чином неможливо зробити ноги такими маленькими, щоб вони помістились у 144 мм висоти європалети.

Отже ноги повинні знаходитись по бокам від вантажу, щоб крокуюча платформа могла «присісти» таким чином, щоб її вилка (така сама вилка, як у навантажувача) змогла заїхати під палету.

2.2.4 Вибір кінематичної схеми руху ніг мобільної платформи

Виходячи з вимог до крокуючої мобільної платформи ми можемо спростити конструкцію ніг завдяки тому, що ми розраховуємо, що підлога та ступені, по яким буде підійматися чи спускатися крокуюча платформа завжди будуть горизонтальні.

Отже нам не потрібна складна ступня яка буде пристосовуватися до рельєфу місцевості. Насправді, тут можна використати кінематичну схему схожу на паралелограм (рисунок 2.3) – протилежні сторони залишаються паралельними незалежно від кутів між прилеглими сторонами. Отже якщо верхні і нижні поверхні такої ноги можуть залишатися паралельними підлозі незважаючи на положення бокових сторін паралелограма.

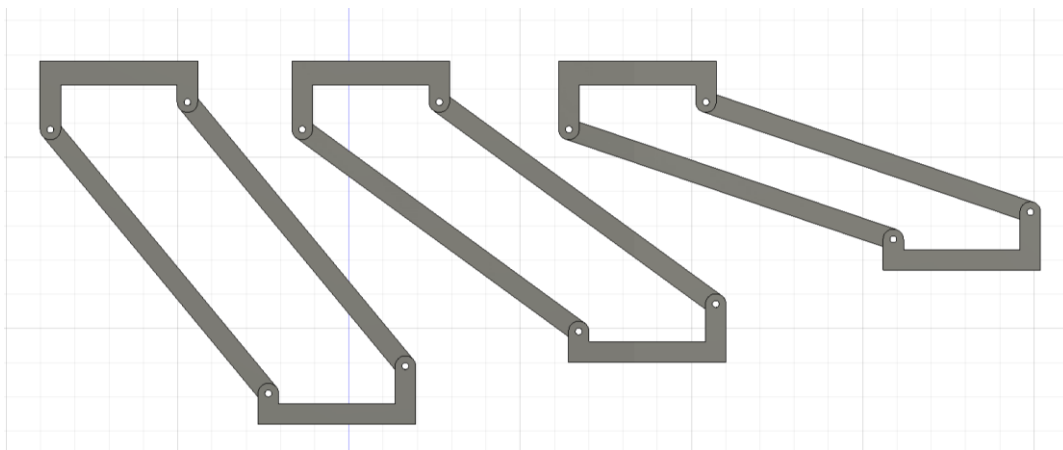


Рисунок 2.3 – Нога виконана за принципом паралелограма

Змінюючи кут між верхньою та боковими сторонами можна регулювати відстань від підлоги. Але при цьому буде виконуватись не лише вертикальне, але й горизонтальне переміщення стопи. Це інколи корисно, а інколи ні – наприклад у процесі вставання з коліс. Адже коли стопа переміщується по горизонталі, вона зміщується відносно центру тяжіння платформи та вантажу, що може привести до перекидання платформи.

Для того, щоб це нівелювати, а також для того, щоб переставляти пару ніг, що знаходяться позаду на перед платформи введемо горизонтальний рух ноги уперед – назад.

Цей горизонтальний рух виконує одночасно дві функції:

- переміщення однієї пари ніг, що не мають навантаження з крайнього заднього положення до крайнього переднього;
- переміщення корпусу платформи та вантажу відносно пар ніг, що мають навантаження з метою переносу центру мас та зняття навантаження з крайньої задньої пари ніг.

Отже, схема руху розроблюваної крокуючої платформи має наступний вигляд:

- платформа стоїть одразу на усіх 6 ногах (рисунок 2.4);
- платформа переносе вагу на передні 4 ноги відриває задні ноги від підлоги (рисунок 2.5);
- платформа складає задні ноги у максимально верхнє положення і продвигає їх уперед (рисунок 2.6);
- платформа опускає тепер вже передні ноги на підлогу і знову стоїть на усіх 6 ногах (рисунок 2.7).

Після цього цикл повторюється знову і знову, аж поки платформа не дійде до верхньої ступені.

Після цього платформа крок за кроком виходить на горизонтальну підлогу і «сідає» на колеса для того щоб продовжити рух, або щоб повернути платформу для переміщення наступним маршем сходів.

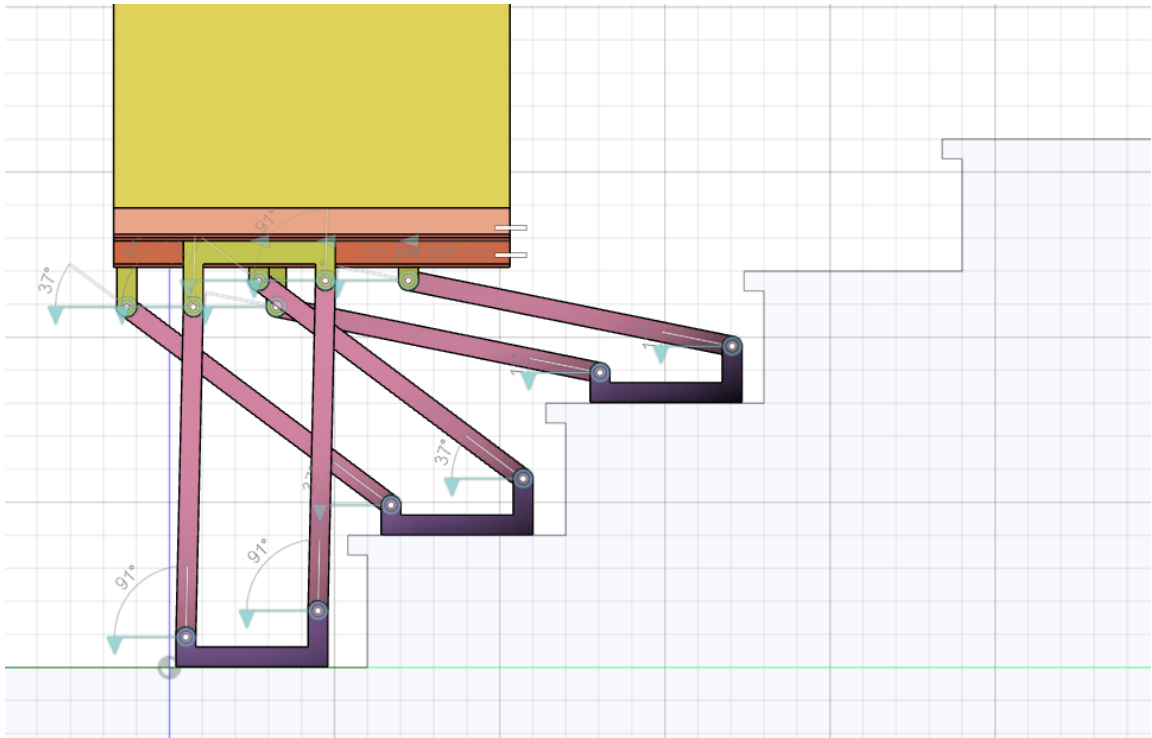


Рисунок 2.4 – Платформа стоїть одразу на усіх 6 ногах

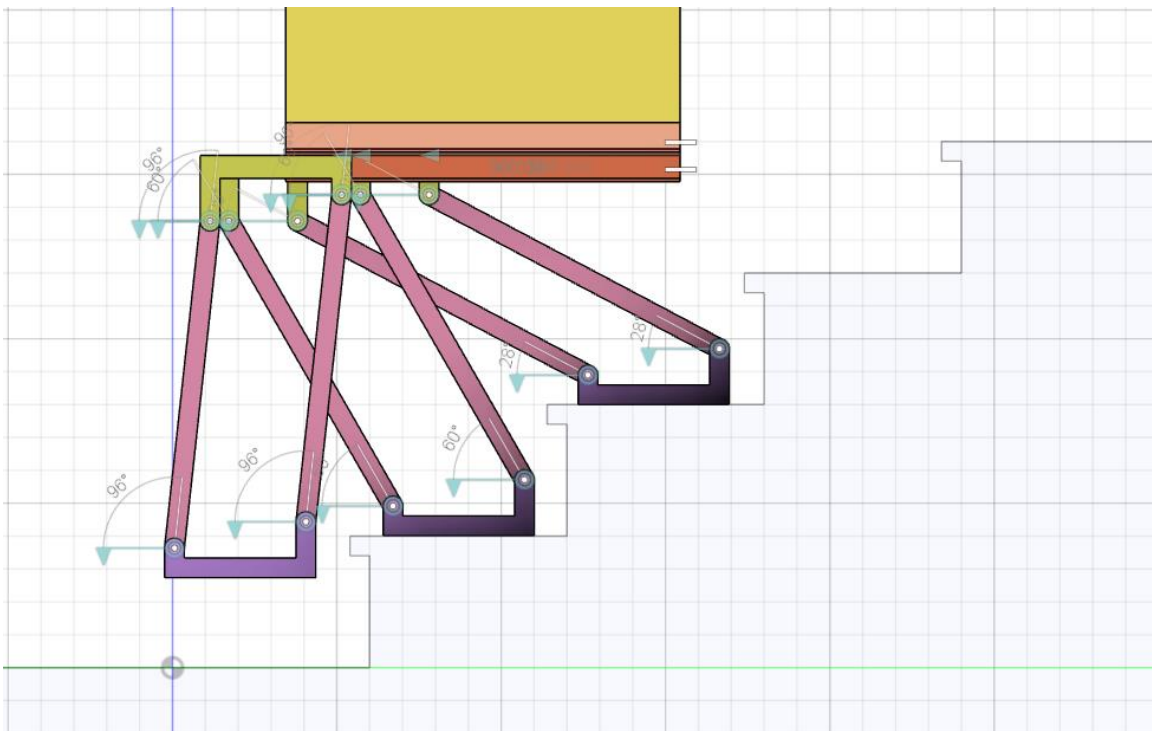


Рисунок 2.5 – Платформа переносе вагу на передні 4 ноги відриває задні ноги від підлоги

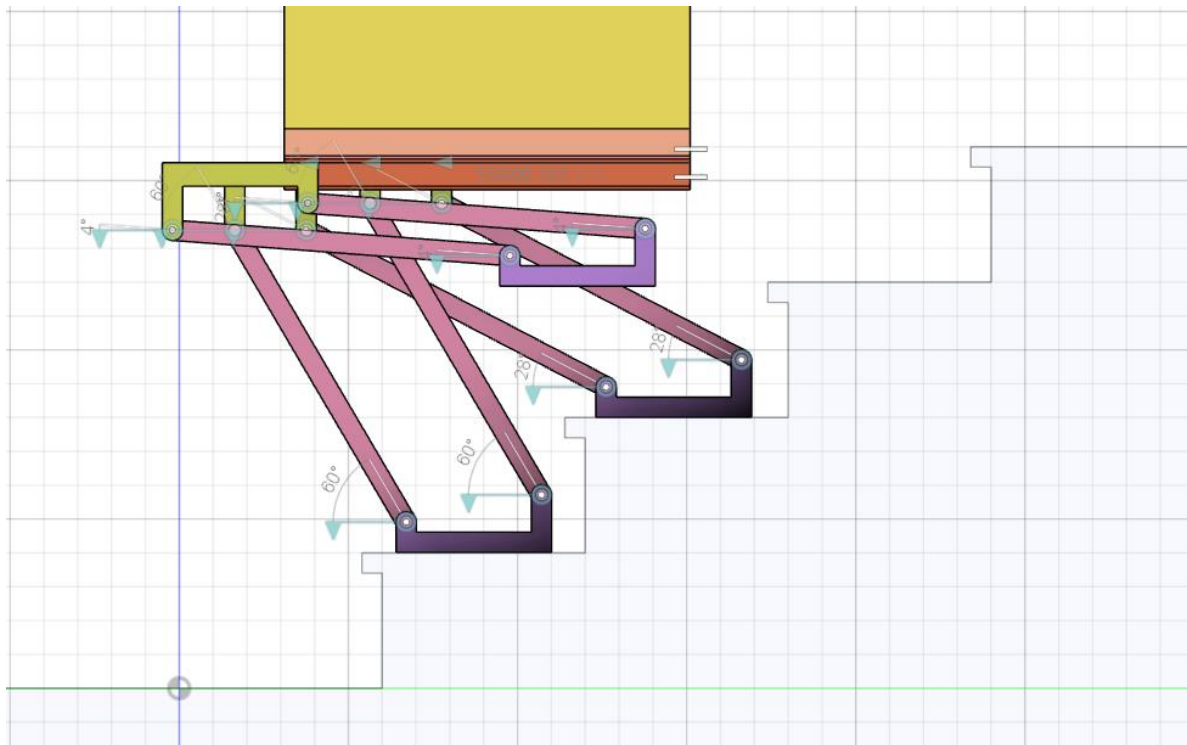


Рисунок 2.6 – Платформа складає задні ноги у максимально верхнє положення і продвигає їх уперед

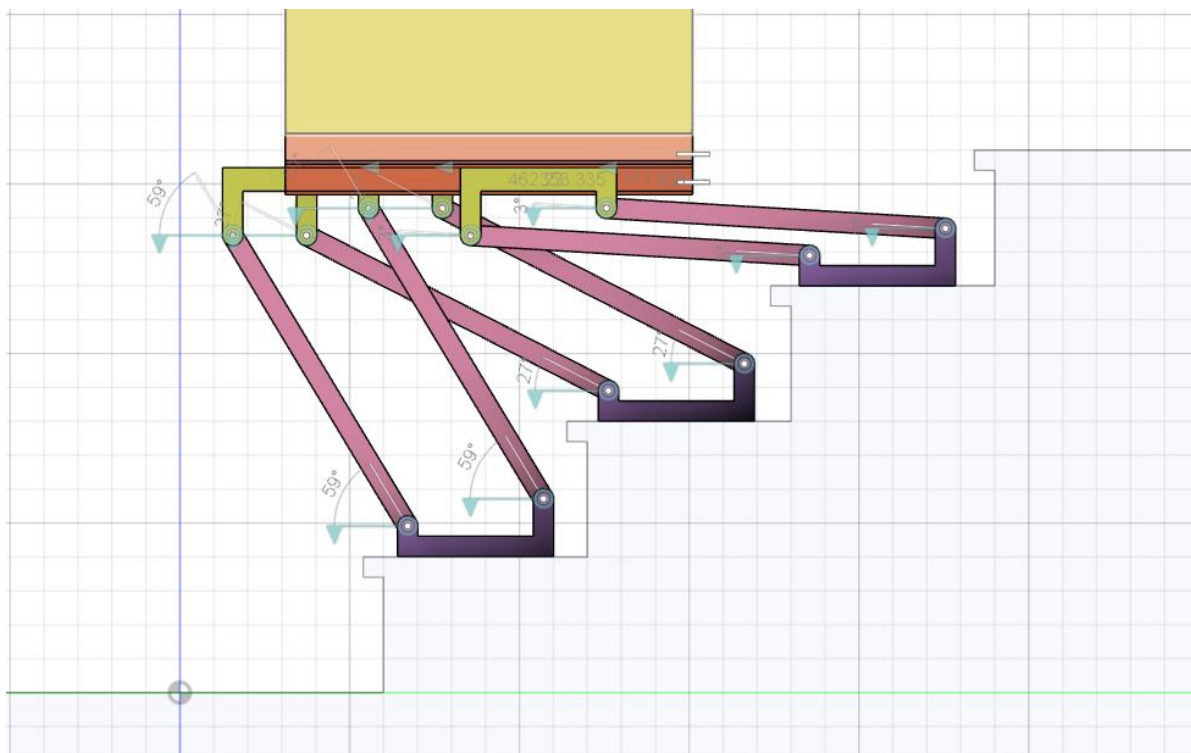


Рисунок 2.7 – Платформа опускає тепер вже передні ноги на підлогу і знову стоїть на усіх 6 ногах

При такій кінематичній схемі нога повинна складатися з наступних деталей:

- рейка;
- слайдер;
- передня гомілка;
- задня гомілка;
- ступня.

По рейці уперед та назад рухається слайдер. До слайдера кріпляться 2 «гомілки» – передня та задня. До гомілок кріпиться ступня. Додатково потрібні засоби механізації, які повинні приводити цю конструкцію у рух.

2.3 Вибір типу засобів механізації

Для того, щоб привести платформу у рух, потрібно, щоб слайдер їздив уперед назад по рейці, а ступня піднімалась та опускалась.

Так як слайдер повинен виходити за межі рейки у крайніх точках свого руху, то єдиним можливим засобом привести слайдер у рух є зубчаста рейка з зубчастим колесом, що буде приводитись у рух електромотором.

Рухати ступню вгору та вниз можна за допомогою:

- пневмоциліндра;
- гідроциліндра;
- електричного актуатора.

Єдиний реальний варіант – це електричний актуатор, бо система на базі пневматики чи гідравлики потребують доволі складної пневмо чи гідро системи що повинна знаходитись під постійним тиском. А потім цей тиск потрібно за допомогою гнучких трубок довести до пневмоциліндра чи гідроциліндра який знаходиться на рухомому слайдері. Крім того, що пневмосистема, що гідросистема – це додаткова вага, це низька надійність і потреба у додатковому обслуговуванні.

2.4 Обчислення вимог до параметрів кроку ніг крокуючої платформи

Виходячи з вимог щодо глибини сходинок які повинна долати платформа, під час підйому сходами, кожна пара ніг повинна переносити ступню на 3 сходинки за один шаг, тобто на $330 \cdot 3 = 990$ мм. При цьому ступня повинна підніматись також на висоту трьох сходинок, тобто на $168 \cdot 3 = 504$ мм (рисунок 2.8). Додаймо 16 мм до цієї висоти тому що нога повинна проходити над сходинкою під час руху і потім опускатися на неї зверху, а не ковзати по бетонній поверхні сходинки і отримаємо 520 мм.

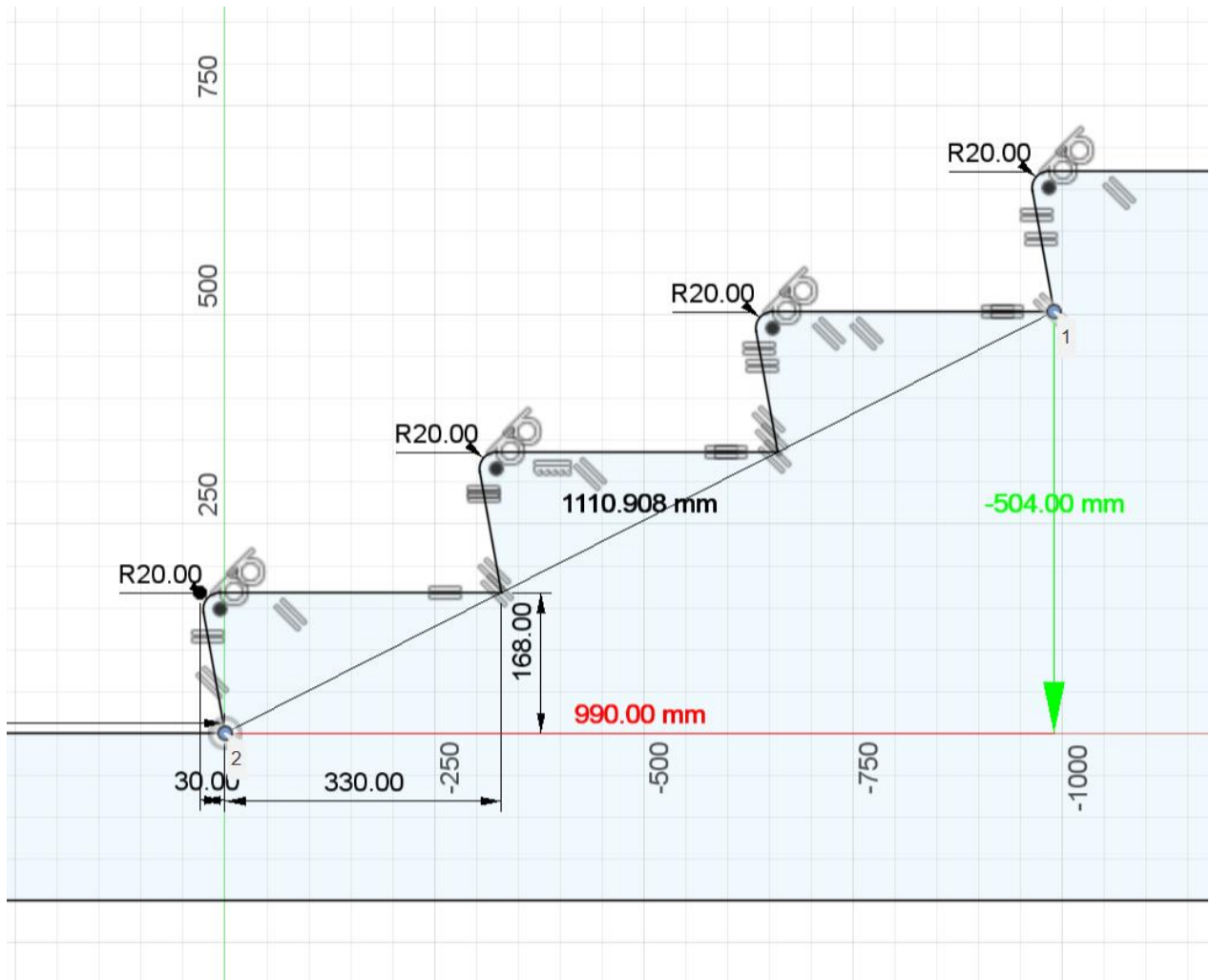


Рисунок 2.8 – Обчислення параметрів кроку ноги платформи

Отже, кожна нога повинна робити крок довжиною 990 мм, та висотою 520 мм.

У будь-який момент часу розроблювана платформа повинна спиратись як мінімум на 4 ноги, отже можна відштовхуватись від того, що кожна окрема нога повинна витримувати $600 / 4 = 150$ кг навантаження.

2.5 Розробка кінематики процесу вставання та сідання

Так як крокуюча мобільна платформа рухається по рівному полу за допомогою коліс а сходами за допомогою ніг, платформі треба якимось чином перейти від руху за допомогою коліс до руху за допомогою ніг перед тим рухатись сходами і потім від руху за допомогою ніг до руху за допомогою коліс. Отже, рух платформи сходами можна розділити на три умовних етапи:

- вставання;
- рух сходами за допомогою ніг;
- сідання.

Для того, щоб платформа встала на ноги, ноги потрібно розмістити так, як зображено на рисунках 2.9 та 2.10.

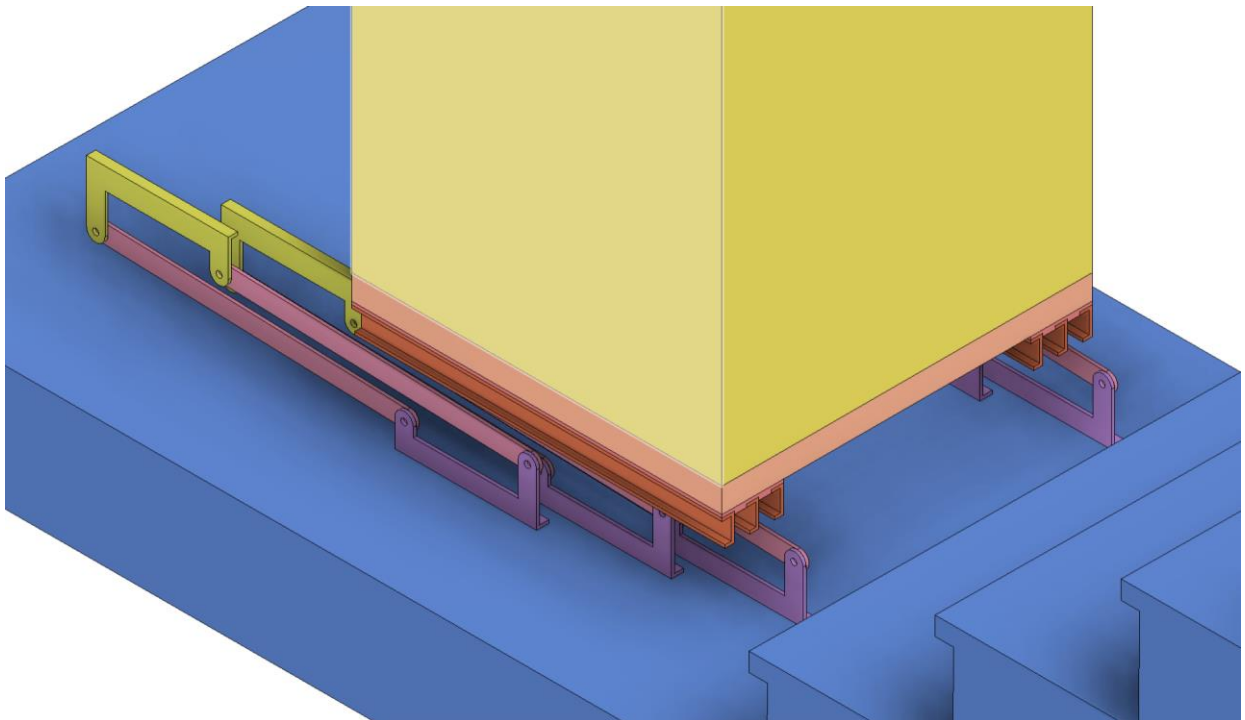


Рисунок 2.9 – Положення ніг для вставання

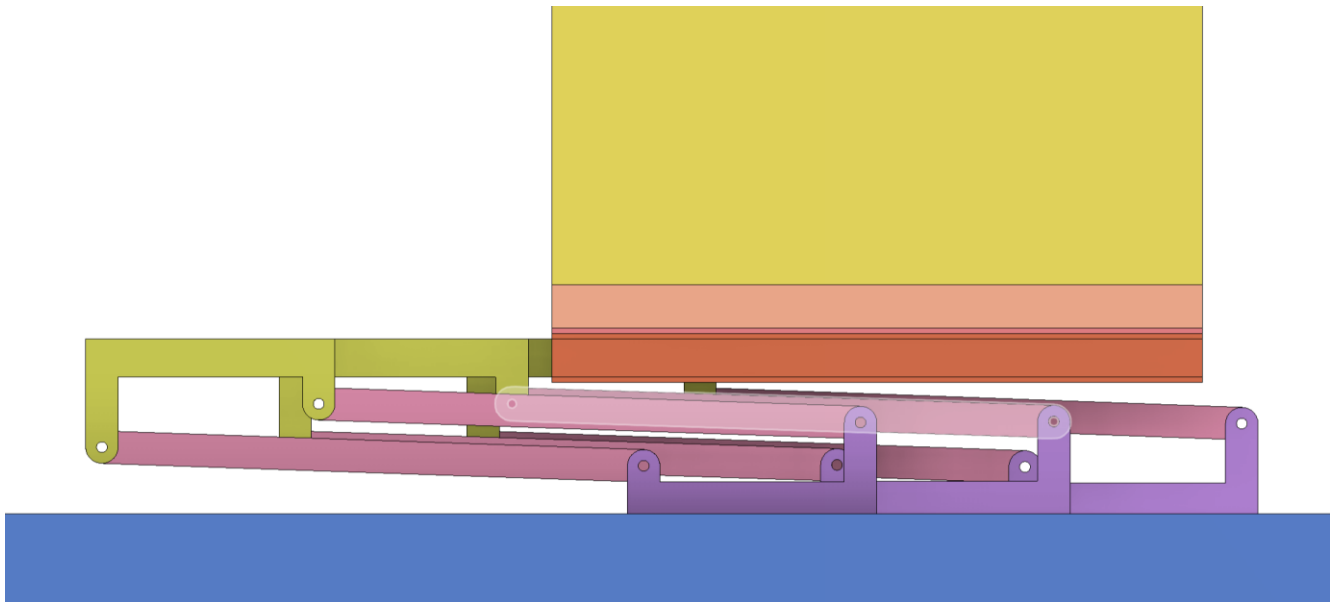


Рисунок 2.10 – Положення ніг для вставання

Як бачимо для того, щоб ступні ніг була під центром тяжіння, слайдеру доводиться виїжджати далеко назад за платформу. Це є проблемою яку доведеться вирішувати на наступних етапах проектування або збільшенням довжини слайдеру, або зменшенням довжини гомілок.

Після того, як ноги прийняли положення зображене на рисунках 2.9 та 2.10 усі 6 ніг починають розпрямлятися одночасно піднімаючи платформу з вантажем догори. При цьому слайдери усіх ніг повинні одночасно рухатися уперед, щоб зберегти центр тяжіння платформи між передніми та задніми ногами.

Після підйому сходами, коли усі 6 ніг стоять на горизонтальному майданчику, процес сідання проходить так само, але у зворотному напрямку.

2.6 Вибір принципової схеми кріплення ноги та актуатора

Існує безліч варіантів взаємного кріплення ніг та актуатора.

Можливий варіант, коли гомілки та актуатор закріпленні безпосередньо на слайдері, що рухається рейкою – тоді їх вісі обертання будуть знаходитися на одній висоті.

Також можливий варіант, коли гомілки та актуатор закріплені на додаткових конструкціях, щоб їх вісі обертання знаходились на різних висотах;

Крім того, актуатор може кріпитися як до передньої так і до задньої гомілки і може кріпитися до гомілки у різних місцях:

- актуатор може кріпитися до нижньої частини гомілки;
- актуатор може кріпитися до середини гомілки;
- актуатор може кріпитися до верхньої частини гомілки.

Для проведення ескізного проектування ноги крокуючої платформи нам треба знати приблизну довжину актуатора у повністю складеному та повністю розкладеному положеннях.

Після пошуку в інтернеті, було винайдено, що електричні актуатори можуть мати довжину у повністю складеному вигляді що дорівнює довжині штока актуатора плюс 110 мм [34].

Проведемо ескізне проектування ноги крокуючої платформи для обох варіантів взаємного кріплення «гомілок» та актуатора.

Спершу розглянемо варіант, коли гомілки та актуатор закріплені безпосередньо на слайдері, що рухається рейкою.

Для цього варіанту розглянемо різні варіанти кріплення актуатора по висоті гомілки:

- нижньої частини гомілки;
- середини гомілки;
- верхньої частини гомілки.

Актуатор будемо кріпити до задньої гомілки, бо таким чином збільшується місце для актуатора у крайньому верхньому положенні.

Якщо актуатор кріпиться до нижньої частини гомілки то у максимально верхньому положенні, ступня актуатора не може піднятися до потрібних нам 520 мм (рисунки 2.11 та 2.12).

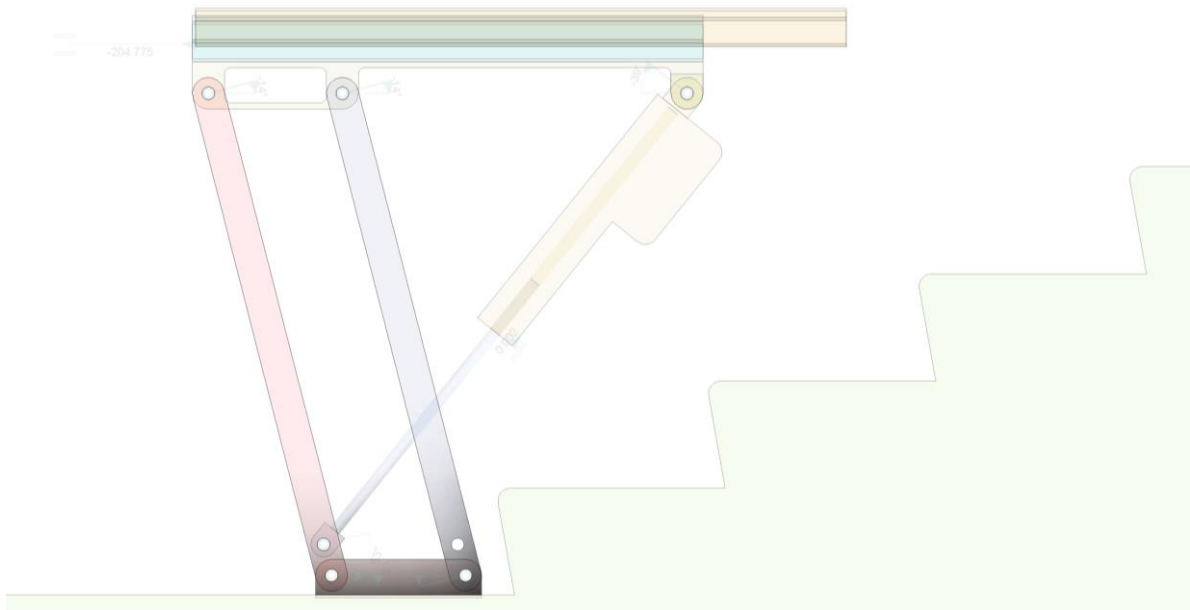


Рисунок 2.11 – Актуатор з кріпленням до нижньої частини «гомівки» у нижньому положенні

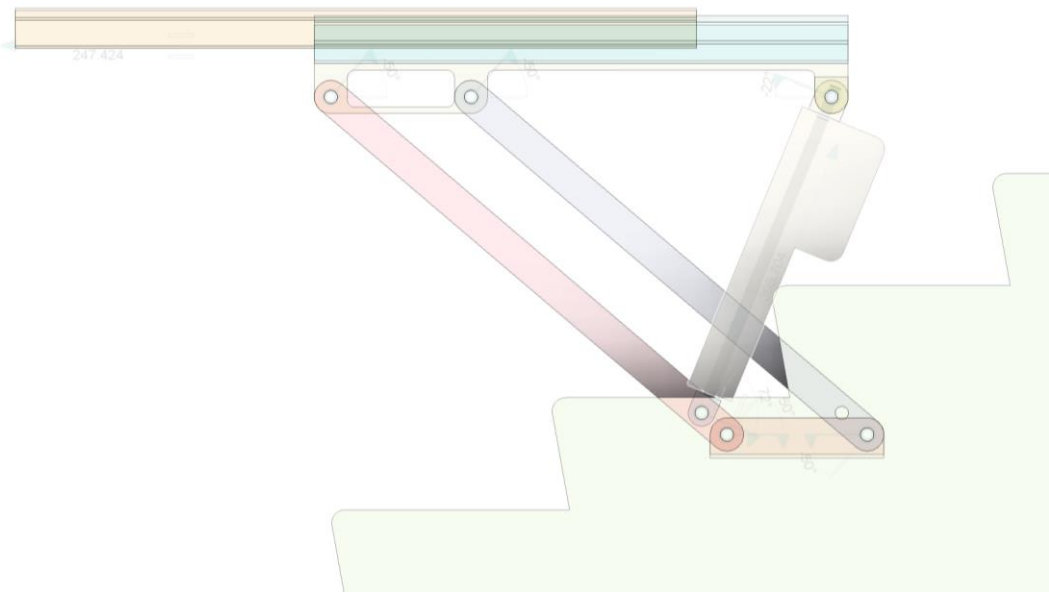


Рисунок 2.12 – Актуатор з кріпленням до нижньої частини «гомівки» у верхньому положенні

Якщо актуатор кріпиться до середньої частини гомівки то у максимально верхньому положенні, ступня актуатора також не може піднятися до потрібних нам 520 мм (рисунок 2.13).

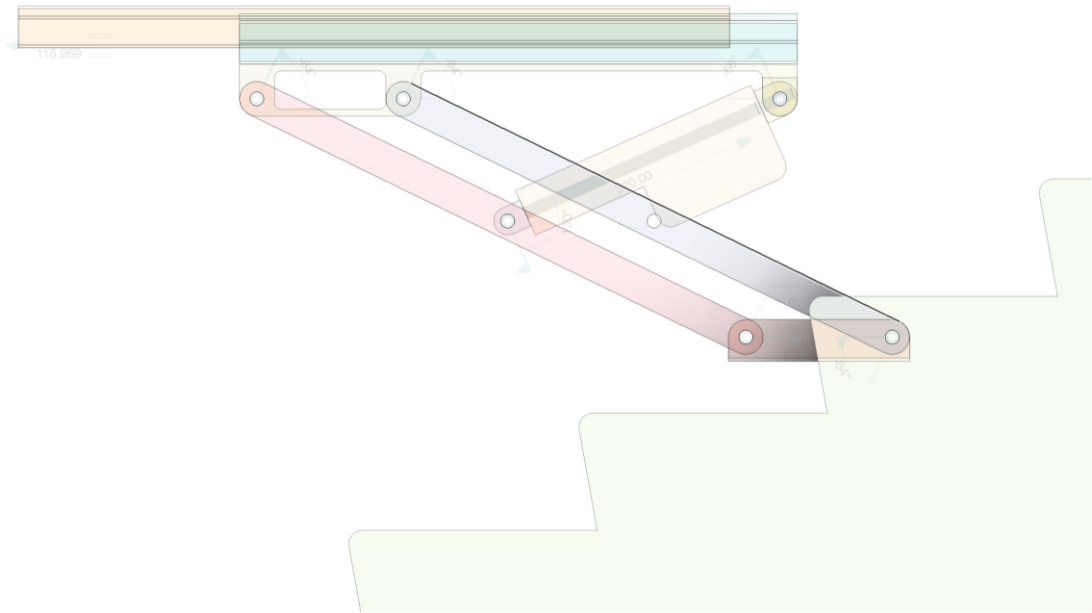


Рисунок 2.13 – Актуатор з кріпленням до середньої частини «гомілки» у верхньому положенні

Максимально верхня точка де може кріпитися актуатор до «гомілки» знаходиться не дуже далеко від середини актуатора (рисунок 2.14). При такому кріпленні актуатора, висота підняття стопи обмежена вже не характеристиками актуатора, а тим, що гомілки стикаються одна з другою.

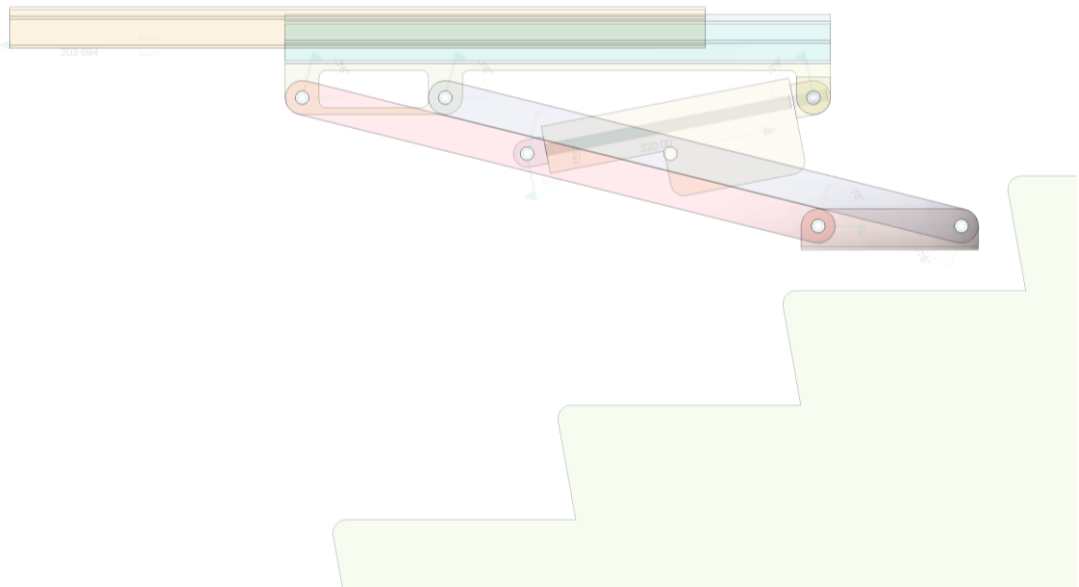


Рисунок 2.14 – Максимально верхнє кріплення актуатора до «гомілки» у верхньому положенні

Отже виходить, що оптимальне положення точки кріплення актуатора знаходиться десь між серединою «гомілки» та максимально верхньою точкою кріплення актуатора на «гомілці».

Тепер розглянемо варіант, коли «гомілки» закріплені на додаткових конструкціях, щоб їх вісі обертання знаходились на різних висотах з віссю обертання актуатора (рисунок 2.15).

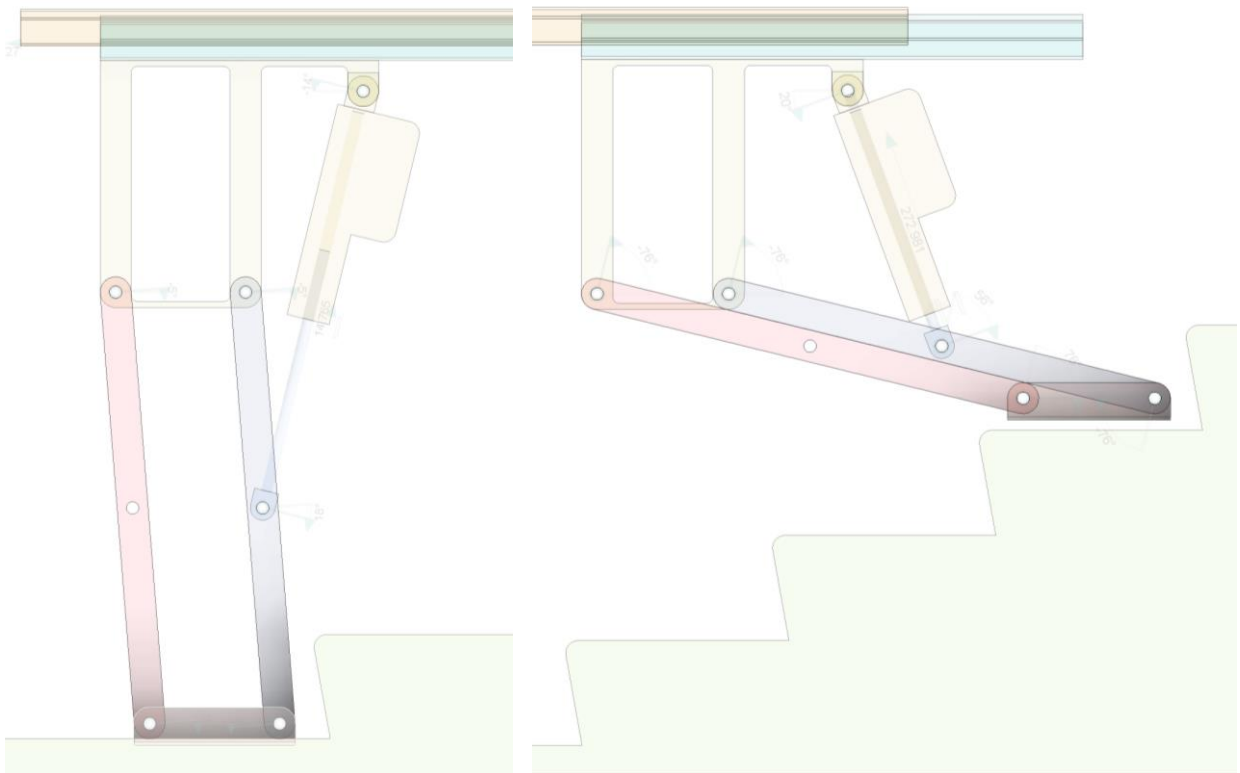


Рисунок 2.15 – Нога з гомілками, що закріплені на додаткових конструкціях

Актуатор будемо кріпити на цей раз до передньої гомілки, адже тепер нам не важлива кількість місця під актуатор у верхньому положенні, адже ми завжди можемо просто збільшити висоту додаткової конструкції на якій закріплено «гомілки». До того ж, якщо кріпити актуатор до задньої «гомілки» то додаткова конструкція на якій закріплені «гомілки» може заважати актуатору.

При такому положенні точок кріплення «гомілок» доведеться збільшити відстань від підлоги до рейок, по яким їздить слайдер, що негативно впливає на загальну стабільність конструкції.

Але так як довжина «гомілок» зменшується, то при вставанні та сиданні не доведеться висувати слайдер так далеко, як у варіанті без додаткової конструкції.

Знову ж таки розглянемо кріплення актуатора біля стопи, посередині гомілки та у верхній частині гомілки.

Якщо кріпити актуатор біля стопи, то актуатор повинен мати велику довжину, щоб у повністю відкритому положенні, стопа доставала до підлоги.

Якщо кріпити актуатор у верхній частині гомілки, то так як уся конструкція являє собою важель 3 роду і плече від точки кріплення «гомілки» до точки кріплення актуатора є набагато меншим за плече від точки кріплення актуатора до стопи, то актуатору доведеться витримувати неабиякі навантаження.

Варіант з кріпленням актуатора до середини «гомілки» виглядає найкращим з варіантів.

Отже, підсумовуючи, з розглянутих шести варіантів кріплення «гомілок» до слайдеру був обраний варіант з кріпленням «гомілок» до додаткової конструкції та кріплення актуатора до середини «гомілки».

2.7 Доопрацювання платформи

Для того, щоб «гомілки» могли ставати паралельно підлозі можна рознести точки кріплення передньої та задньої гомілок по висоті (рисунок 2.16).

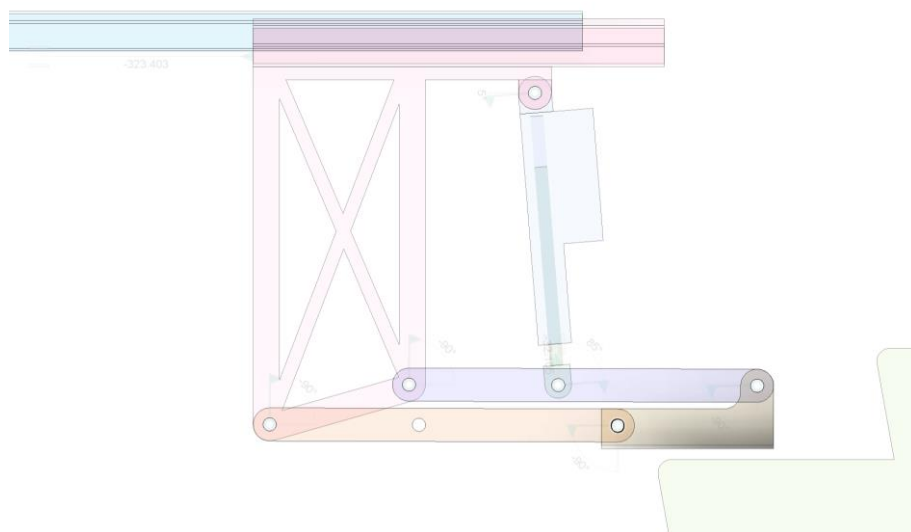


Рисунок 2.16 – Доопрацьована ступня

Зубчаста рейка, яка закріплена на верхній частині слайдера приводиться у рух зубчастим коліщатком яке повинно бути розташоване так, щоб воно доставало до слайдера як у крайньому передньому, так і у крайньому задньому положенні. З цією метою збільшуємо розмір слайдера (рисунок 2.17).

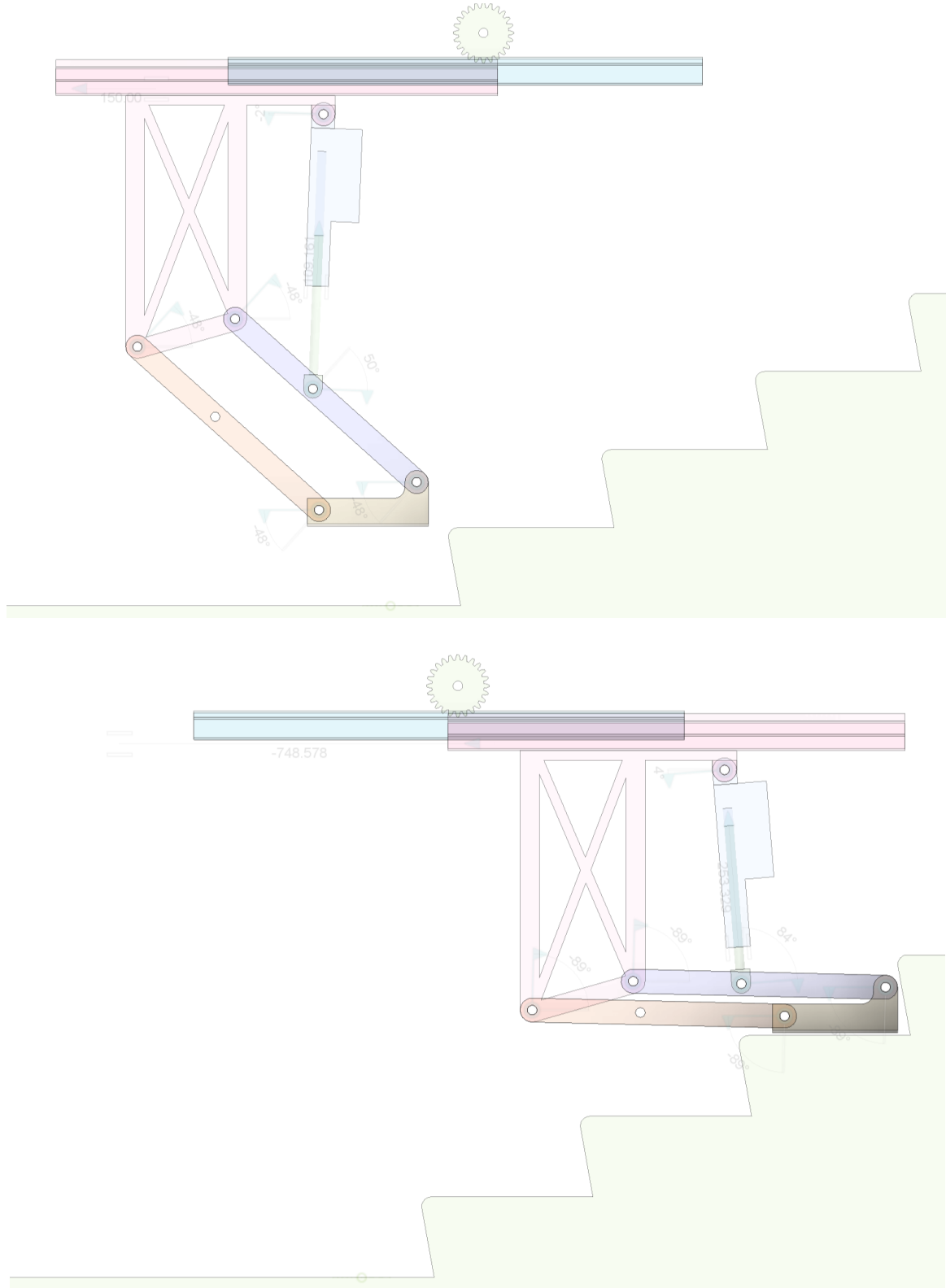


Рисунок 2.17 – Збільшений слайдер

Для того, щоб збільшити довжину опори при процесі вставання і щоб не доводилось висувати слайдер далеко назад, збільшимо ступню (рисунок 2.18).

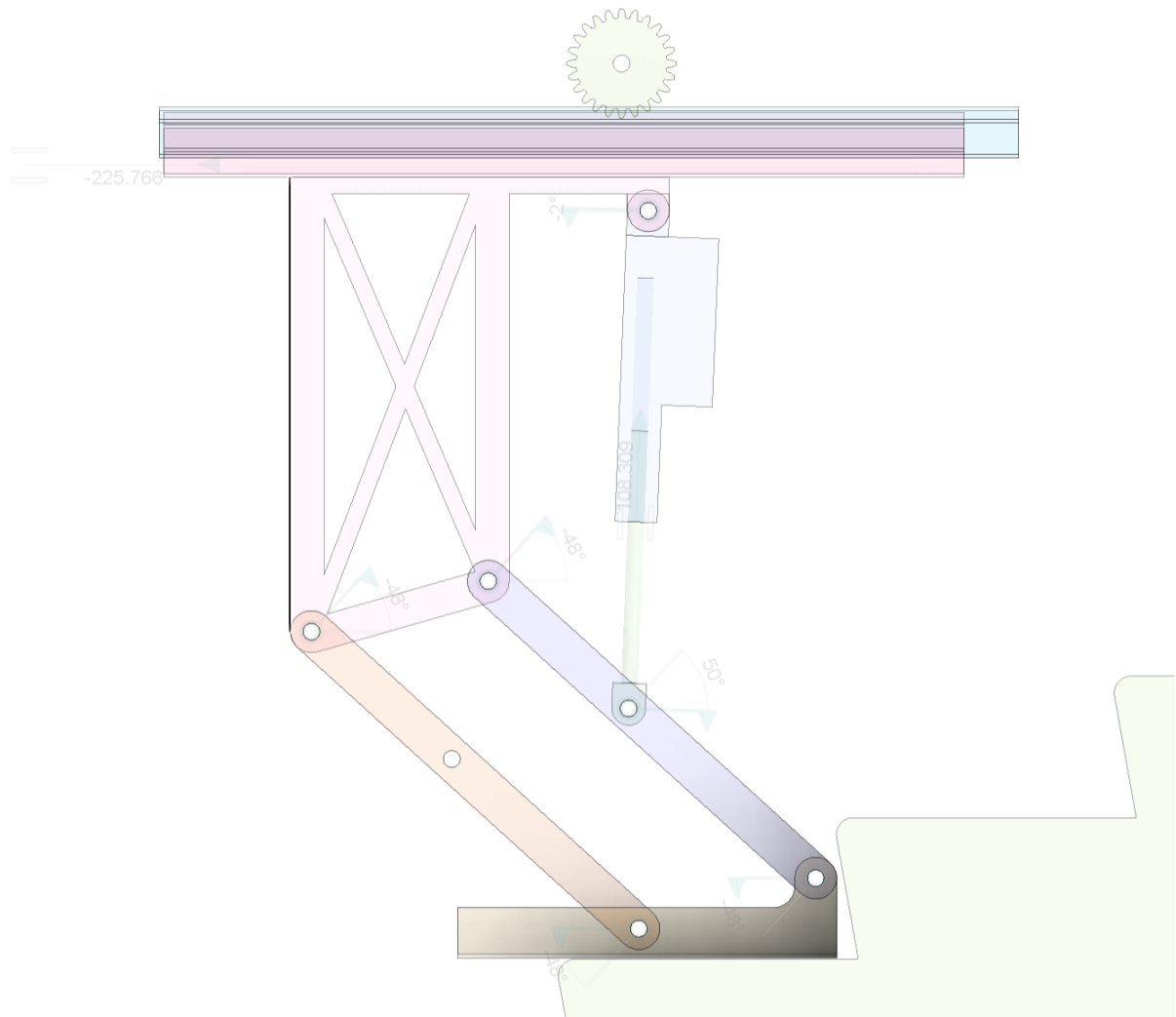


Рисунок 2.18 – Збільшена ступня

2.8 Розрахунок місця кріплення актуатора до слайдера

Розглянемо декілька можливих місць кріплення актуатора до слайдера починаючи від кріплення на самому краю слайдера (рисунок 2.19) і до кріплення настільки близько до допоміжної конструкції до якої кріпляться гомілки наскільки дозволяє кінематика (рисунок 2.20).

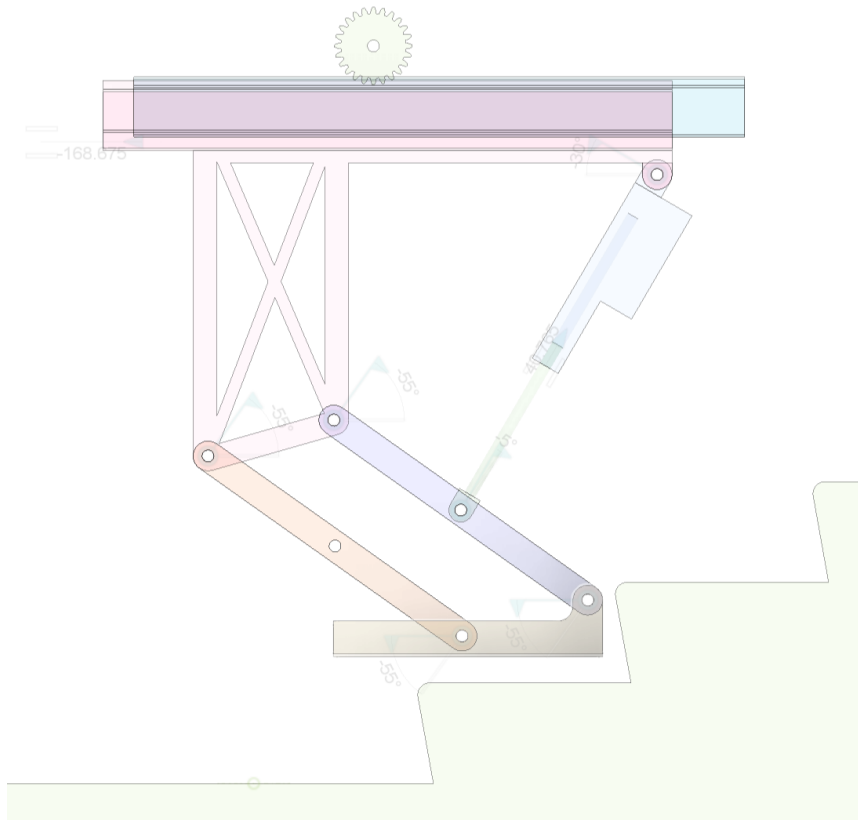


Рисунок 2.19 – Максимальне можливе місце кріплення актуатора

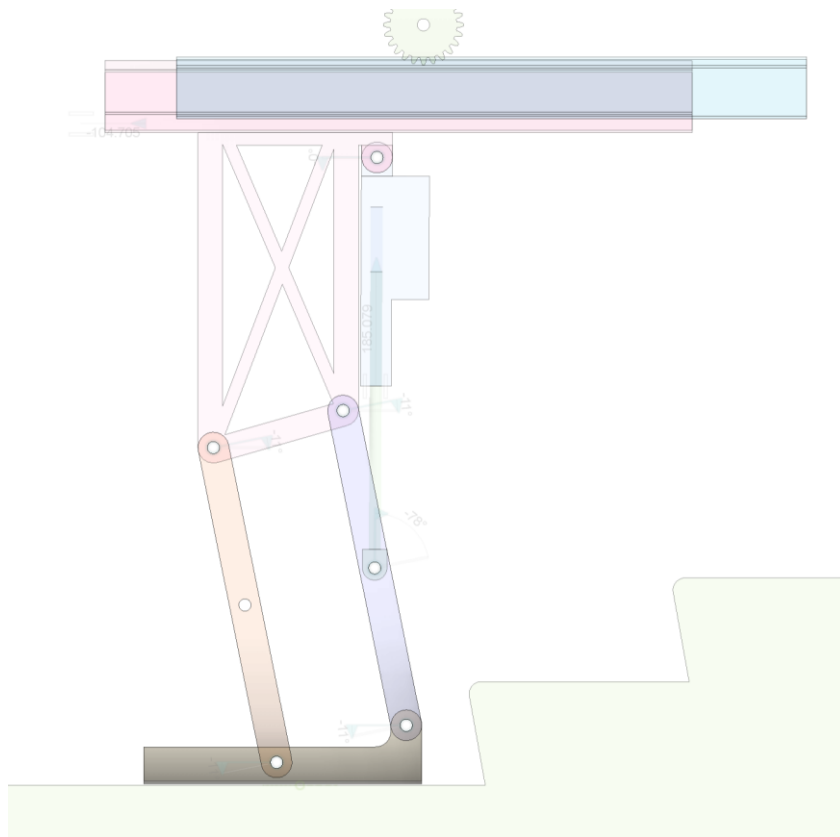


Рисунок 2.20 – Мінімальне можливе місце кріплення актуатора

Збудуємо таблицю залежності навантаження що повинен витримувати актуатор від мінімального та максимального робочих кутів актуатора. У свою чергу робочі кути актуатора залежать від місця кріплення актуатора до слайдера.

Для того, щоб обчислити навантаження, що повинен витримувати актуатор, згадаймо, що обрана кінематична схема є важелем 3 роду

Щоб врахувати як відстані, так і кути в сценарії важеля третього класу, використаємо принципи векторних сил та крутного моменту. Загальний принцип полягає в тому, що сума крутних моментів повинна дорівнювати нулю, щоб важіль був в рівновазі.

Крутний момент τ через силу визначається за формулою:

$$\tau = L \cdot F \cdot \sin(\theta), \quad (2.1)$$

де L – відстань від точки опори до точки, де прикладається сила;

F – величина сили;

θ – кут між напрямом сили та важелем.

Для важеля третього класу, потрібно врахувати дві сили: прикладену силу F та навантаження W . Кожна створює свій власний крутний момент, і для рівноваги вони повинні бути збалансовані. Отже, ми маємо:

$$L2 \cdot F \cdot \sin(\varphi) = L1 \cdot W \cdot \sin(\theta), \quad (2.2)$$

де W – навантаження;

$L1$ – відстань від точки опори до точки, де діє вага;

θ – кут між напрямом навантаження та важелем;

F – прикладена сила;

$L2$ – відстань від точки опори до точки, де діє прикладена сила;

φ – кут між напрямом прикладеної сили та важелем.

Перегрупуємо це рівняння, щоб знайти величину прикладеної сили:

$$F = \frac{(L1 \cdot W \cdot \sin(\theta))}{(L2 \cdot \sin(\varphi))}, \quad (2.3)$$

де W – навантаження на одну кінцівку – 150 кгс;

$L1$ – довжина гомілки, у нашому випадку, 520 мм;

$L2$ – відстань від точки кріплення гомілки до точки кріплення актуатора, у нашому випадку 260 мм;

θ – кут між вектором прикладення сили від актуатора та «гомілкою»;

φ – кут між «гомілкою» та вектором сили тяжіння.

Розрахуємо навантаження на актуатор при мінімально можливій відстані від допоміжної конструкції до точки кріплення актуатора у 30 мм.

При нижньому положенні ноги кут θ дорівнює 11 градусам, а кут φ – 10 градусам.

$$F = (0,52 \cdot 150 \cdot \sin(11^\circ)) / (0,26 \cdot \sin(10^\circ)) = 273 \text{ кгс}. \quad (2.4)$$

При верхньому положенні ноги кут θ дорівнює 89 градусам, а кут φ – 63 градусам.

$$F = (0,52 \cdot 150 \cdot \sin(89^\circ)) / (0,26 \cdot \sin(63^\circ)) = 337 \text{ кгс}. \quad (2.5)$$

Отже при мінімально можливій відстані від допоміжної конструкції до точки кріплення актуатора актуатор повинен видавати 273 кгс у нижньому положенні, та 337 кгс у верхньому.

Проведемо аналогічні розрахунки для інших можливих точок кріплення актуатора з шагом у 50 мм (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Залежність навантаження на акuator від міста кріплення актуатора до слайдеру

Відстань від допоміжної конструкції, мм	нижнє положення ноги			верхнє положення ноги		
	Кут φ , градуси	Кут θ , градуси	Навантаження F , кгс	Кут φ , градуси	Кут θ , градуси	Навантаження F , кгс
30	11	10	273	63	89	337
50	13	10	232	66	89	328
100	17	10	178	72	89	315
150	21	10	145	78	89	307
200	25	10	123	85	89	301
250	29	10	107	88	89	300
300	33	10	96	81	89	304
350	36	10	89	74	89	312
400	40	10	81	69	89	321
450	43	10	76	61	89	343
500	46	10	72	57	89	358
515	47	10	71	57	89	358

З результатів розрахунку наведених у таблиці 2.2 видно, що при відстані від допоміжної конструкції 250 мм, навантаження при верхньому положенні ноги найменше – 300 кгс. Навантаження при нижньому положенні ноги при цій відстані від допоміжної конструкції є меншим за 300 кгс, отже є сенс використати саме цю величину у конструкції крокуючої платформи.

2.9 Висновки до розділу 2

В розділі 2 було розроблено вимоги до платформи для на базі діючих нормативних документів що стосуються будівництва сходових у будівлях.

На базі цих вимог було обрано тип рушія – крокуюча платформа, та розроблено кінематичну схему руху цієї крокуючої мобільної платформи для переміщення вантажів сходами.

Проаналізовано усі структурні елементи даної схеми та визначені їх функціональні завдання.

Проведено розрахунок найкращого місця кріплення актуатора.

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ

3.1 Розробка структурної схеми крокуючої платформи

Для спрощення та здешевлення, планується, що у режимі горизонтального пересування платформа не буде мати електричного приводу, бо вирішення проблеми горизонтального пересування робота по рівній поверхні є тривіальною задачею і не несе в собі наукової новизни. Тож у режимі горизонтально пересування, платформа буде пересуватися за рахунок фізичної сили оператора.

У режимі пересування сходами платформа буде переміщуватися сама, без допомоги (фізичної) оператора, але за командами оператора. У цьому режимі, головним керуючим елементом буде мікроконтролер, що отримує команди від оператора, та віддає команди на драйвери моторів, що будуть видавати струм від блока живлення на мотори, що рухають платформу.

Є два варіанти системи керування, які можна використати для цієї платформи.

Спочатку, для спрощення, можна зробити простий варіант. Цей варіант не передбачає додаткових систем комп'ютерного зору. Для отримання інформації про сходи якими платформа буде рухатися буде використовуватися зір оператора. Перед початком сходження, оператор доштовхує платформу впритул до першої сходинки. Після цього він рулеткою виміряє довжину та висоту сходів і введе ці данні у програму. Також він введе кількість сходів. Таким чином платформа отримає усі необхідні данні щоб пересунутись на введене число сходів. Зрозуміло, що таким чином можна пересуватись лише по прямим сходам.

Складний варіант передбачає систему комп'ютерного зору. Ця система комп'ютерного зору може складатися з Time of flight камери (на кшталт Azure Kinect) та лазерних далекомірів що будуть вимірювати відстань до сходів. Як мінімум, можна спробувати лише з Time of flight камерою, або лише з лазерними

датчики відстані, якщо дані від однієї системи будуть достатньо надійні. Данні від усіх цих датчиків будуть враховуватись керуючою програмою для самостійного визначення параметрів сходів.

Працювати крокуюча платформа буде від акумулятора. Акумулятор повинен бути великої місткості та здатний віддавати великий струм. Контролеру потрібен струм напругою 5 В, а моторам та актуаторам потрібен струм у 24 В. Тож має сенс використати акумулятор розрахований на таку ж напругу, як і мотори. А струм напругою 5 В можна отримати зі струму вищої напруги за допомогою DC-DC перетворювача.

Виходячи з вищесказаного, розробимо структурну схему крокуючої платформи (рисунок 3.1).

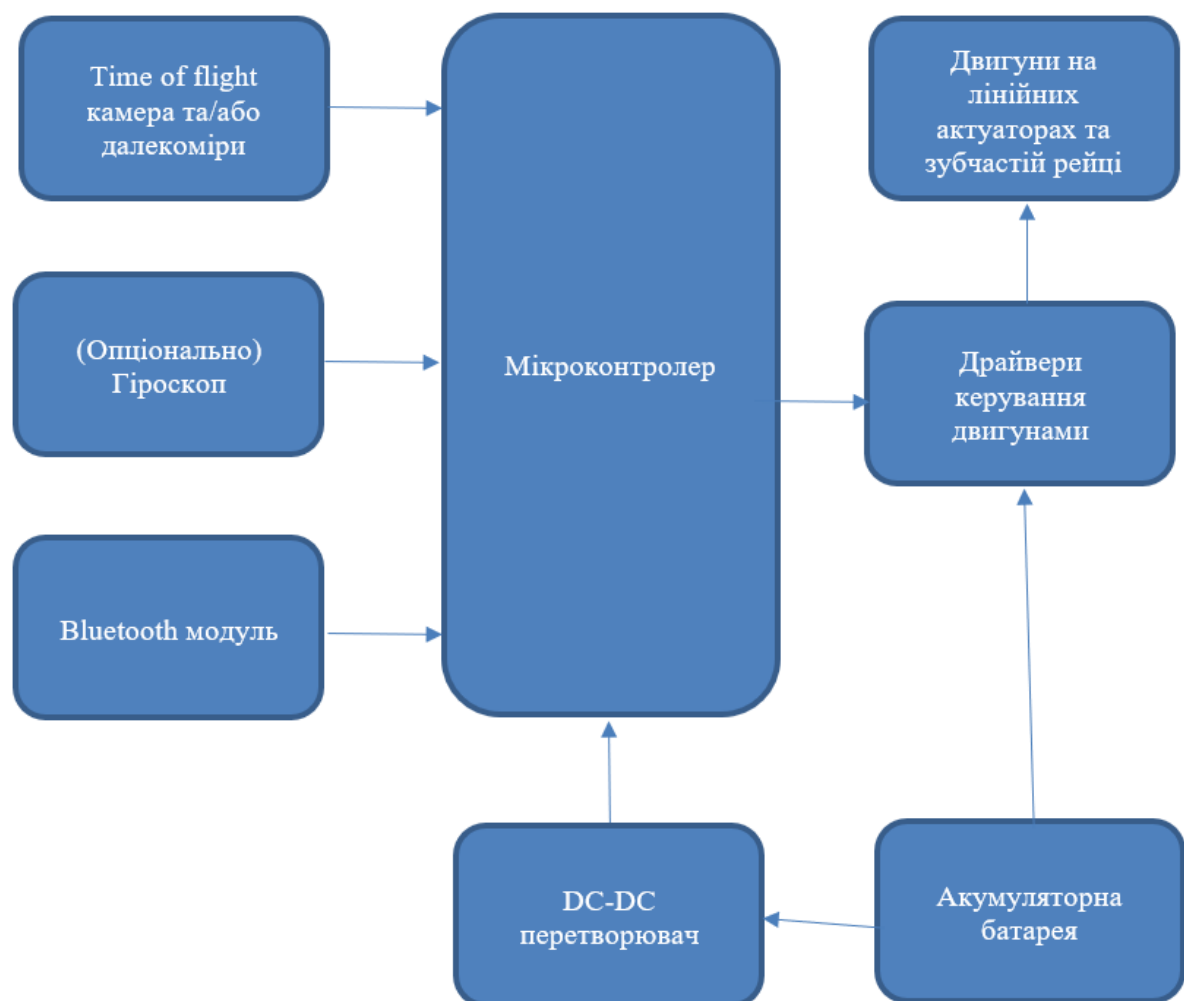


Рисунок 3.1 – Структурна схема крокуючої мобільної платформи

3.2 Вибір елементної бази

3.2.1 Вибір мікроконтролера та BlueTooth-модуля

Для крокуючої платформи обрано мікроконтролер Bluno від DFRobot (DFR0267). Цей мікроконтролер поєднує у собі Arduino Uno та модуль BlueTooth 4.0 (BLE). Також виробник розробив ПО для IOS та Android, для зв'язку з пристроєм. ПО має відкритий код, тому при бажанні його можна модернізувати під свої потреби. Bluno містить в собі BlueTooth чіп TI CC2540 та контролер з прошивкою Arduino Uno. Плата повністю сумісна з шилдами для Arduino Uno.

3.2.2 Вибір драйверів моторів

Платформа повинна переміщувати досить важкі вантажі, тож мотори на актуаторах також повинні бути потужними. Тому для того, щоб їх запитати потрібні драйвери розраховані на великий струм. Такими драйверами є BTS7960, вони розраховані на максимальний струм до 43 А короткочасно, та до 10 А довгостроково. Особливістю цієї плати є необхідність під'єднання двох PWM сигналів одночасно якщо треба мати не тільки рух уперед, а й реверс.

3.2.3 Вибір пристрою для керування 12 моторами одночасно

Крокуюча платформа має 6 ніг. Кожна нога потребує 1 лінійний актуатор та один мотор для пересування ноги взад-вперед уздовж корпусу за допомогою зубчатої рейки отже загалом для керування платформою потрібно керувати 12 моторами через драйвер мотору BTS7960, кожен з яких потребує двох PWM сигналів для руху уперед та назад. Отже нам потрібно загалом 24 PWM сигнали. Для вирішення цієї задачі обрано два 16 каналних 12-bit PWM/Servo контролера PCA9685 з інтерфейсом I2C від Adafruit. Одна така плата дозволяє керувати 16 окремими моторами через PWM. Цей пристрій є як у вигляді окремої плати, так і у вигляді шилда для Arduino Uno, тож його можна буде легко поєднати з Bluno, оскільки Bluno є Arduino – сумісним.

3.2.4 Вибір моторів для зубчастої рейки

Було знайдено мотор CNXCI XC50PG50S з планетарним редуктором. Обрано модифікацію цього мотора, що має 50 обертів на хвилину та обертальний момент 4,3 Н·м.

3.2.5 Вибір актуаторів

Актуатор для підйому та опускання ступні повинен мати довжину стоку 300 мм, значить довжина у закритому положенні повинна бути 410 мм, а у відкритому 710 мм. Також актуатор повинен витримувати навантаження не менше ніж 300 кгс (2942 Н). Керуючись цими умовами було обрано актуатори TiMOTION TA2P (рисунок 3.2). Вони витримують до 3500 Н навантаження при штовханні штоку, та 2000 Н коли тягнуть шток.

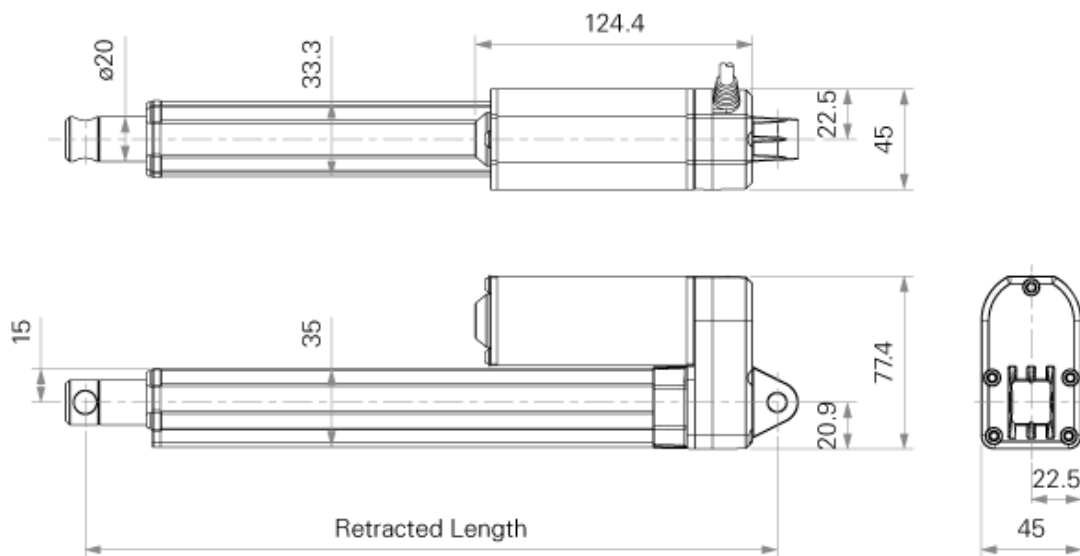


Рисунок 3.2 – Актуатор Timotion TA-2P

3.2.6 Вибір лазерних датчиків відстані

Для того, щоб розуміти положення ніг відносно корпусу використаємо лазерні датчики відстані. Було обрано лазерний датчик відстані VL53L0X-V2 940 нм від Adafruit.

3.2.7 Вибір пристрою для одночасного під'єднання 12 лазерних датчиків відстані

Цих датчиків повинно бути 12, вони підключаються за допомогою інтерфейсу I2C, але вони не мають способу кодування адреси на самій платі датчика. Тож потрібна додаткова плата, яка дозволить коректно адресувати кожен датчик у інтерфейсі I2C. Такою платою було обрано I2C комутатор 8-канальний на TCA9548A. Але оскільки датчиків 12, то нам треба буде 2 таких комутатора.

3.2.8 Вибір акумулятора 24 В

Номінальний струм моторів 4,3 А, а лінійних актуаторів 2,3 А. Моторів 6 і актуаторів 6, тож максимальний сумарний струм 39,6 А. Напруга живлення 24 В. Виходячи з цього обрано акумулятор LiFePO4-24V 24 А 610 Вт/год – BMS 40 А від Quantum Energy.


3.2.9 Вибір понижуючого DC-DC перетворювача

Для живлення контролера та сенсорів потрібна напруга 5 В. Щоб її отримати використаємо перетворювач LM2596.

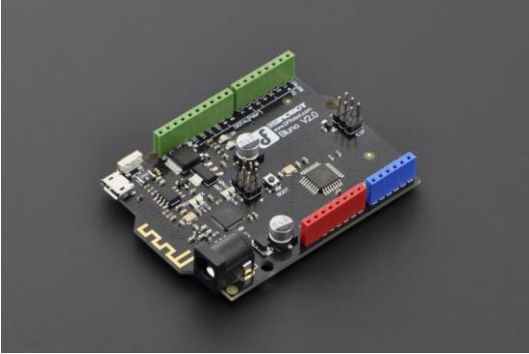

3.3 Технічні характеристики компонентів

Технічні характеристики обраних елементів представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики елементів крокуючої платформи

Назва та зображення пристрою	Технічні характеристики
<p>Мотор CNXCI XC50PG50S</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – напруга: 24 В постійного струму; – швидкість обертання – 50 об/мін; – номінальний струм – 4,3 А; – обертальний момент – 5,3 Н·м.

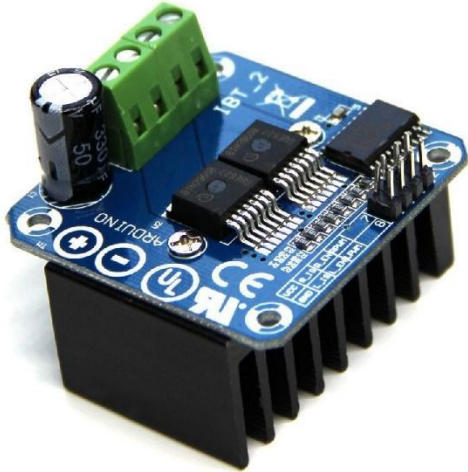

Продовження таблиці 3.1

<p>Bluno від DFRobot (DFR0267)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – чіп BlueTooth: TI CC2540; – бездротове програмування через BLE; – підтримка BlueTooth HID; – підтримка AT команд для конфігурації BLE; – підтримка прозорою зв'язку через послідовний інтерфейс; – проста процедура оновлення прошивки BLE; – живлення: 7 В – 12 В (як і у Uno) – мікроконтролер: Atmega328; – бутлоадер: Arduino Uno (відключіть будь-які BLE пристрої перед заливкою скетчу); – розміри: 60 мм x 53 мм; – вага: 30 г.
<p>Лазерний датчик відстані VL53L0X-V2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – діапазон вимірювання відстані: від 10 мм до 2000 мм; – напруга живлення: 2,6 В – 5 В; – протокол підключення: I2C; – довжина хвилі випромінювача: 940 нм; – струм споживання: 20 мА; – діапазон робочих температур: від -20 до +70 °С.


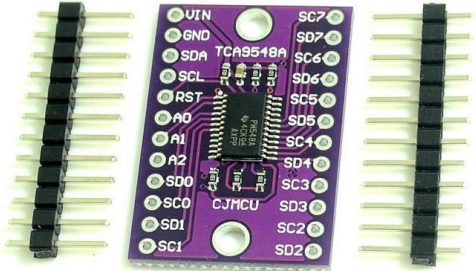
Продовження таблиці 3.1

Назва та зображення пристрою	Технічні характеристики
<p data-bbox="199 286 730 454">16-канальний 12-bit PWM/Servo шилд з I2C інтерфейсом від Adafruit</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="762 293 1433 394">– управління по шині I2C всього двома сигнальними проводами; <li data-bbox="762 421 1433 589">– конструкція у формфакторі Arduino, що дозволяє просто підключити шилд до контролера; <li data-bbox="762 616 1433 784">– на шилді є 100 контактних майданчиків для зручного макетування; <li data-bbox="762 810 1433 911">– вибір перемичкою на платі напруги живлення керуючого контролера; <li data-bbox="762 938 1433 1106">– можливість каскадування до 62 пристроїв з отриманням 992 ШІМ виходів; <li data-bbox="762 1133 1433 1234">– живлення від 3,3 В з можливістю підключення до 5 В пристроїв; <li data-bbox="762 1261 1433 1361">– можливість підключення 6 В сервоприводів; <li data-bbox="762 1388 1433 1438">– 6-розрядна I2C адреса; <li data-bbox="762 1464 1433 1514">– регульована частота ШІМ до 1,6 кГц; <li data-bbox="762 1541 1433 1641">– 12-бітове управління шпаруватістю (скважністю) по кожному з каналів; <li data-bbox="762 1668 1433 1769">– окремий вхід джерела живлення сервоприводів або світлодіодів; <li data-bbox="762 1796 1433 1897">– захист входу живлення від переполюсовки.

Продовження таблиці 3.1

Назва та зображення пристрою	Технічні характеристики
<p data-bbox="199 286 619 324">Драйвер мотору BTS7960</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="762 293 1433 394">– напруга живлення двигуна: від 5,5 В до 27,5 В постійного струму; <li data-bbox="762 421 1433 521">– напруга живлення логіки: 5 В постійного струму; <li data-bbox="762 548 1433 649">– максимально допустимі струм мотора: 43 А (короткочасно); <li data-bbox="762 676 1433 777">– максимально допустимі струм мотора: 10 А (довготривало); <li data-bbox="762 804 1433 904">– максимальна частота ШІМ на керуючих виводах: 25 кГц; <li data-bbox="762 931 1433 1032">– напруга логічних рівнів на керуючих виводах: 3,3 В або 5 В.
<p data-bbox="199 1070 730 1171">Лінійний актуатор TiMOTION TA2P</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="762 1077 1433 1178">– напруга: 12 В / 24 В / 48В постійного струму; <li data-bbox="762 1205 1106 1243">– потужність 55 Вт; <li data-bbox="762 1270 1257 1308">– номінальний струм – 2,3 А; <li data-bbox="762 1335 1302 1373">– максимальне зусилля: 3500 Н; <li data-bbox="762 1400 1433 1438">– швидкість без навантаження: 56 мм/с; <li data-bbox="762 1464 1433 1503">– швидкість з навантаженням: 2,4 мм/с; <li data-bbox="762 1529 1158 1568">– хід: 20 мм – 1000 мм; <li data-bbox="762 1594 1361 1632">– довжина установки: хід + 108 мм; <li data-bbox="762 1659 1118 1697">– клас захисту: IP66; <li data-bbox="762 1724 1433 1906">– є можливість замовити актуатор з кількома варіантами датчику зворотного зв'язку.

Продовження таблиці 3.1

Назва та зображення пристрою	Технічні характеристики
<p data-bbox="199 286 730 454">Акумулятор LiFePO₄-24V 24 А 610 Вт/год – BMS 40 А від Quantum Energy</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="762 293 1428 394">– номінальна напруга: 24 В (min – 20 В, max – 29,2 В); <li data-bbox="762 421 1337 461">– ємність: 4P S8 24 А / 610 Вт/год; <li data-bbox="762 488 1428 589">– максимальний струм розряду імпульсу 100мс: 120 А; <li data-bbox="762 616 1294 656">– робочий струм розряду: 72 А; <li data-bbox="762 683 1150 723">– струм зарядки: 12 А; <li data-bbox="762 750 1350 790">– сип заряджання стандарт: CC/CV <li data-bbox="762 817 1428 918">– температурний діапазон заряджання: від 0 °С до +45 °С <li data-bbox="762 945 1428 1046">– температурний діапазон розряду: від -30 °С до +55 °С <li data-bbox="762 1072 1002 1113">– вага: 4,7 кг; <li data-bbox="762 1140 1310 1180">– розміри: 265 мм x 135 мм x 80.
<p data-bbox="199 1211 730 1312">I2C комутатор 8-канальний на TCA9548A</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="762 1218 1398 1258">– мікросхема комутатора: TCA9548A; <li data-bbox="762 1285 1134 1326">– кількість каналів: 8; <li data-bbox="762 1352 1428 1453">– кількість можливих адрес комутатора: 8; <li data-bbox="762 1480 1428 1581">– діапазон адрес комутатора: 0x70 – 0x77; <li data-bbox="762 1608 1358 1648">– напруга живлення: 1,65 В – 5,5 В; <li data-bbox="762 1675 1428 1776">– напруга логічних сигналів по кожному з каналів: 1,65 В – 5,5 В; <li data-bbox="762 1803 1428 1904">– максимальний споживаний струм: 100 мА.

Продовження таблиці 3.1

Назва та зображення пристрою	Технічні характеристики
DC-DC перетворювач LM2596 	<ul style="list-style-type: none"> – вхідна напруга: 4,5 В – 40 В; – вихідна напруга: 3 В – 35 В; – вихідний струм: 2 А (3 А максимум при активному охолодженні); – ефективність перетворення: 92%; – споживання без навантаження: 6 мА; – мінімально можлива різниця між вхідною і вихідною напругою 1,5 В; – захист від короткого замикання: обмеження струму; – розміри: 44 мм x 22 мм x 15 мм.

3.4 Розрахунок кошторису проекту

Усі розрахункові дані для складення кошторису проекту наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок вартості комплектуючих виробів

Найменування	Кількість, шт.	Ціна за од., грн	Сума, грн
Плата Bluno від DFRobot (DFR0267)	1	622	622
16-канальний 12-bit PWM/Servo шилд з I2C інтерфейсом від Adafruit	2	787	1574

Продовження таблиці 3.2

Найменування	Кількість, шт.	Ціна за од., грн	Сума, грн
Драйвер мотору BTS7960	12	279	3348
Мотор 50PG50S	6	2207	13242
Актуатор TiMOTION TA2P	6	11944	71664
Лазерний датчик відстані VL53L0X-V2	12	129	1548
I2C комутатор 8- канальний на TCA9548A для підключення датчиків	2	59	118
Батарея 24V	1	14525	14525
DC-DC перетворювач LM2596	1	39	39
Разом			104484

3.5 Висновки до розділу 3

У розділі 3 було розроблено структурну схему крокуючої мобільної платформи для переміщення вантажів сходами.

Проведено вибір основних компонентів крокуючої мобільної платформи, описано їх конструктивні та функціональні особливості та наведено їх технічні характеристики.

Проведені попередні розрахунки кошторису для купівлі цих компонентів для даної крокуючої платформи і можна сказати, що вартість крокуючого варіанта мобільної платформи для переміщення вантажів сходами цілком порівнянна з вартістю гусеничних варіантів мобільної платформи для переміщення вантажів сходами.

4 РОЗРОБЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ КРОКУЮЧОЇ МОБІЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ СХОДАМИ

4.1 Розробка комп'ютерної моделі

Зовнішній вигляд розробленої крокуюча платформа представлено на рисунках 4.1 – 4.2.

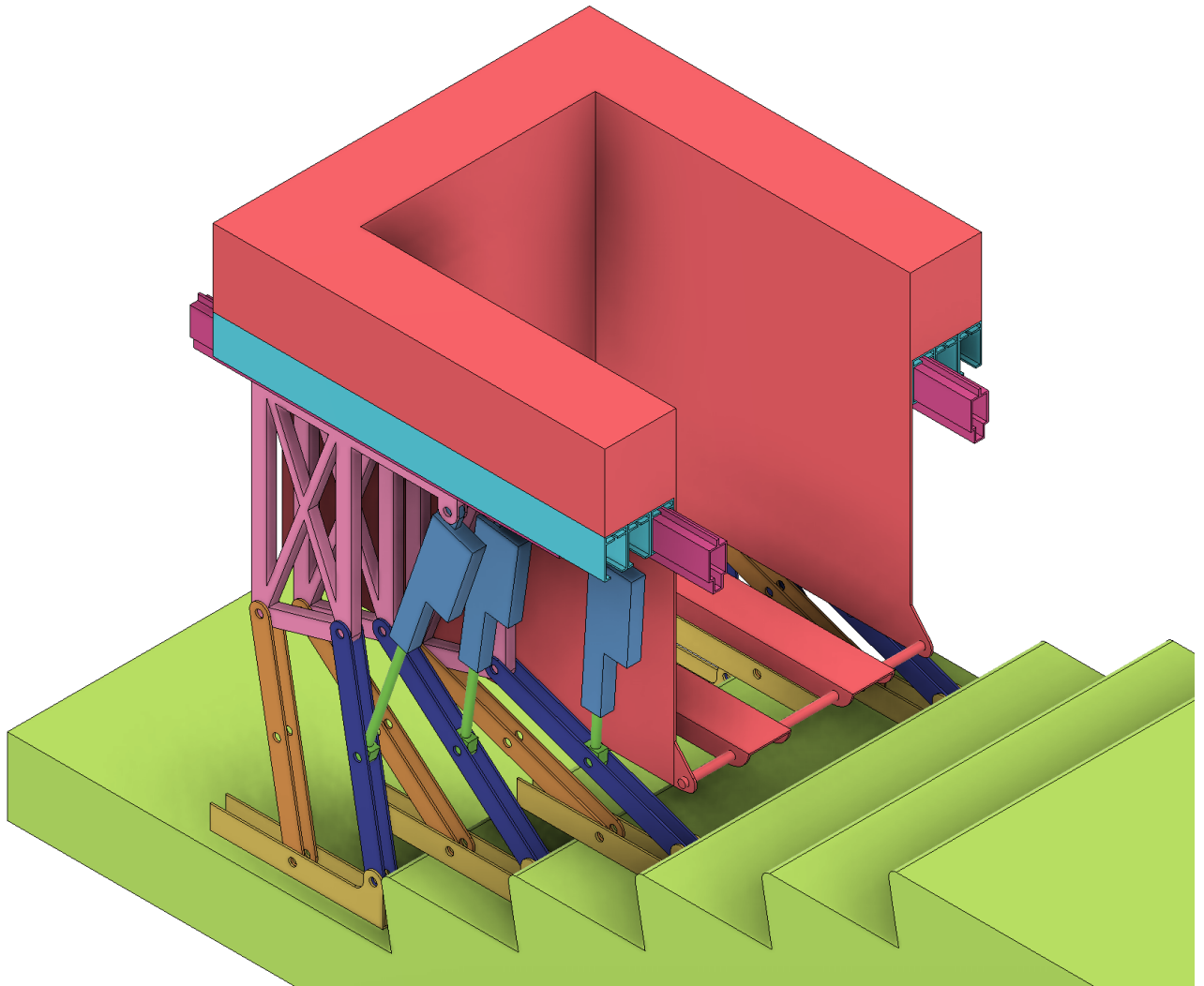


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд платформи

Вантажне місце всередині платформи має габарити 820 мм x 610 мм під напівпалету розміром 800 мм x 600 мм.

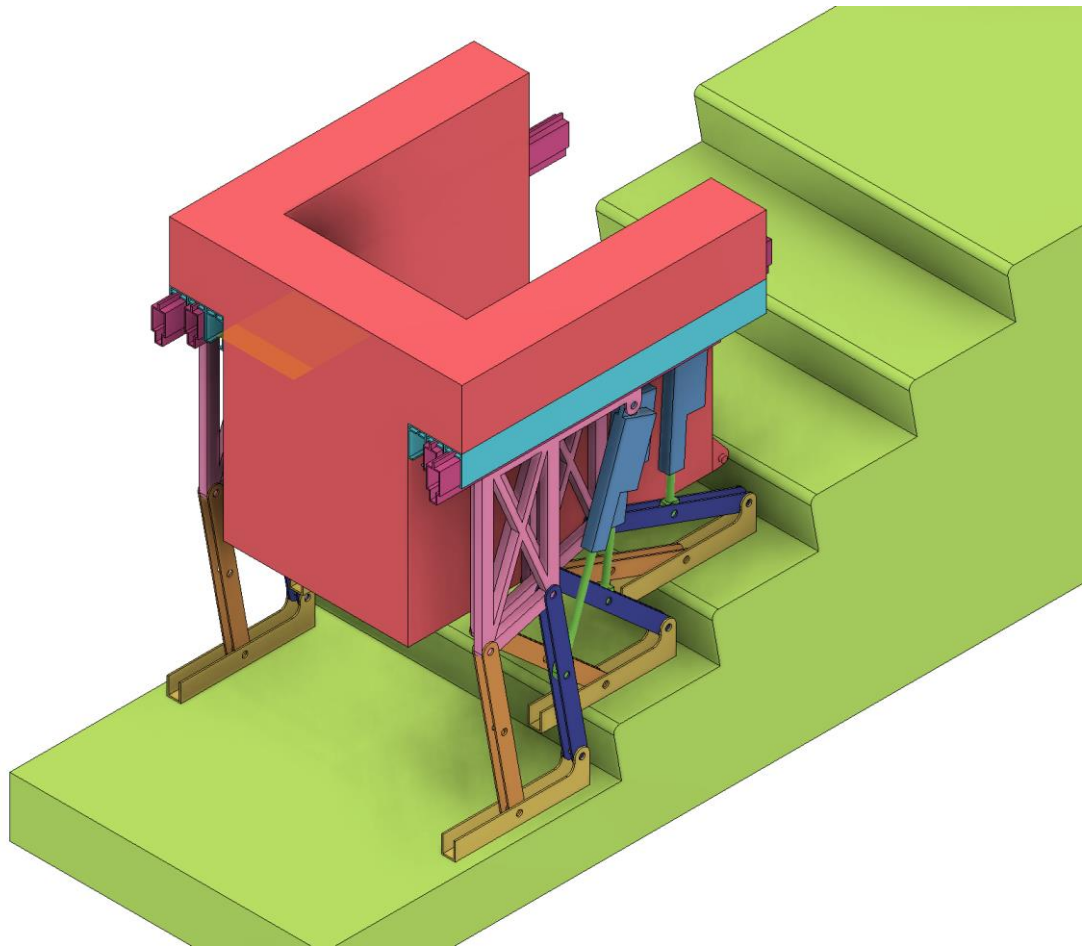


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд крокуючої платформи

Блоки з кінцівками розташовано по боках вантажної платформи. Кожен блок з ногою має ширину 60 мм. Таких блоків 6, таким чином загальна ширина платформи 980 мм.

Позаду вантажного відсіка знаходиться відсік з акумуляторами 200 мм завтовшки. У нижній частині платформи знаходиться так звана «вилка» як у вилочного навантажувача довжиною 900 мм. Таким чином загальна довжина платформи складає 1100 мм.

У передній частині «вилки» є круглі отвори, які дозволять з'єднувати передню частину «вилки» з стінками платформи для додаткової жорсткості конструкції під навантаженням.

Розробку комп'ютерної моделі виконано у CAD/CAM/CAE IDE Autodesk Fusion 360.

4.2 Розробка електричної схеми

Розроблену схему підключення структурних елементів представлено на рисунках 4.3 – 4.5.

До платформи Vuno під'єднуються усі структурні елементи модуля.

До аналогових виходів мікроконтролера під'єднані дві плати PCA9685. Зображено саме варіант на платі, але можна обрати також варіант на шілді. Дві такі плати дозволяють отримати 32 окремих PWM сигнала. Нам потрібно 24 сигнали, через те, що драйвер мотору BTS7960 потребує одночасно 2 окремих PWM сигнали якщо треба щоб мотор працював як вперед, так і у реверсі.

На схемі умовно зображені лише один драйвер мотору BTS7960 та один мотор, щоб не переускладнювати схему однотипними елементами.

Для того, щоб адресувати одночасно дві плати PCA9685, на одній з плат доведеться замкнути за допомогою паяльника два контакти, даючи цій платі таким чином інший адресний простір на шині I2C.

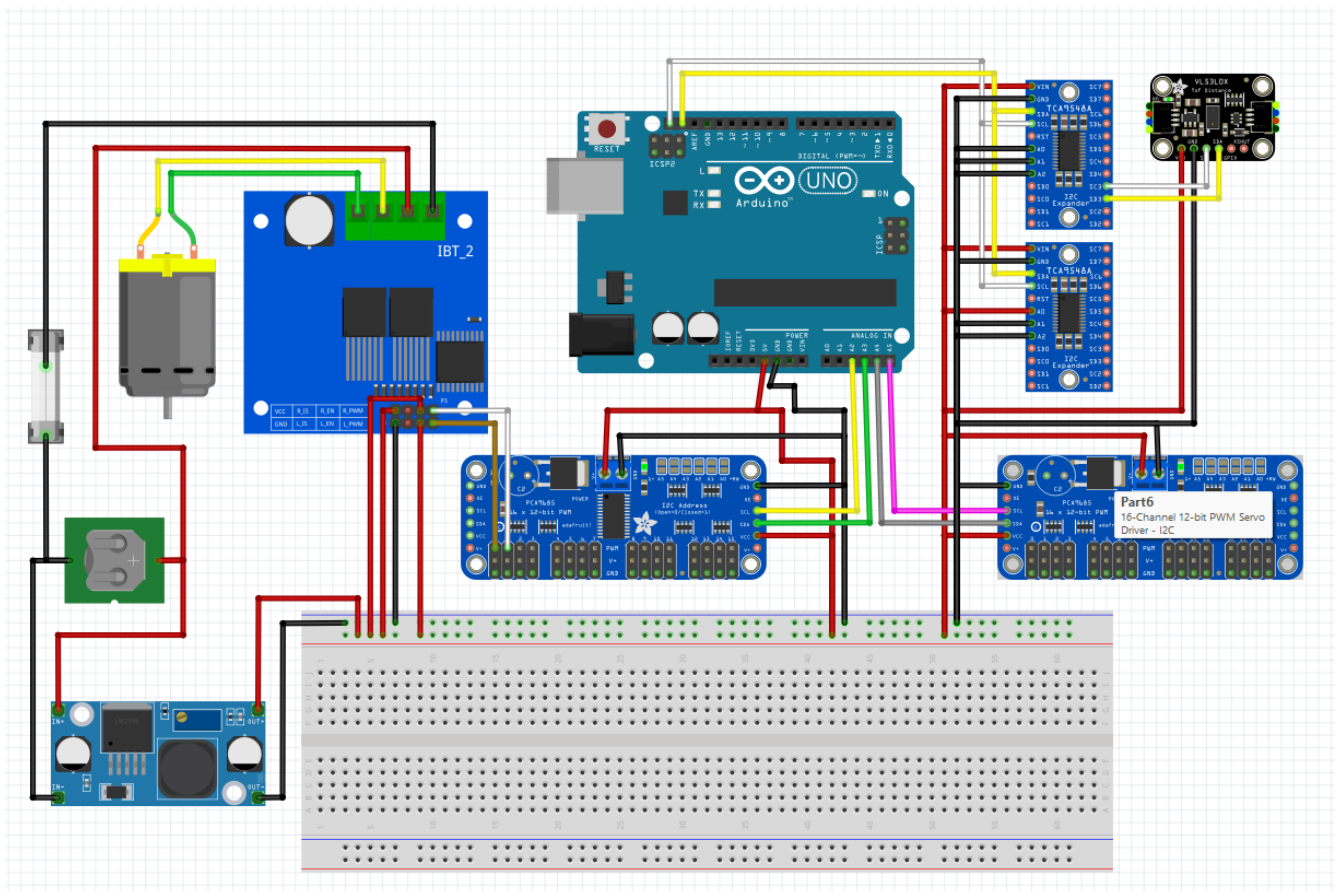


Рисунок 4.3 – Схема підключення елементів крокуючої платформи

До контактів SDA та SCL мікроконтролера підключено послідовно два I2C комутатора 8-каналних на TCA9548A. Щоб дати їм різний адресний простір, до контактів A1, A2 та A3 на TCA9548A підключено три GND для першої плати та один +5 В та два GND для другої плати. Знову ж таки, на схемі умовно зображено лише один лазерний датчик відстані VL53L0X-V2, але їх насправді 12.

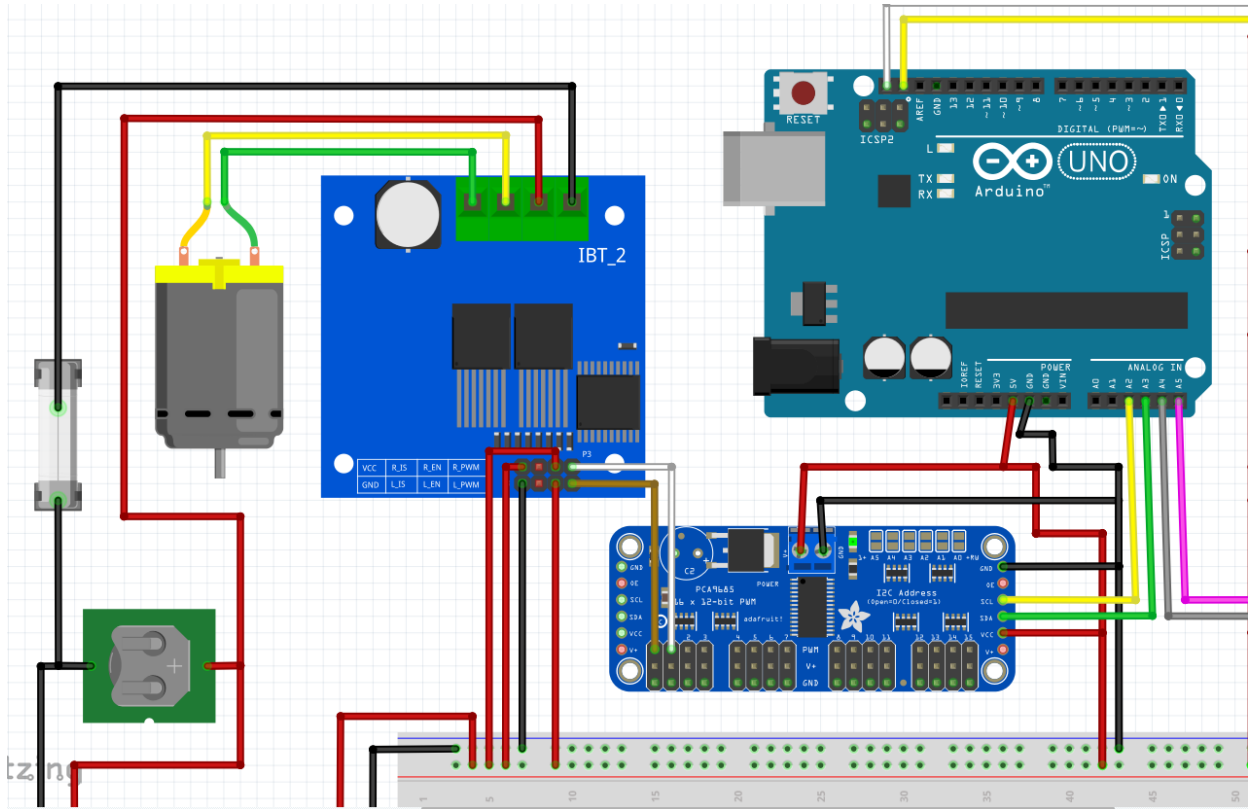


Рисунок 4.4 – Схема підключення моторів крокуючої платформи

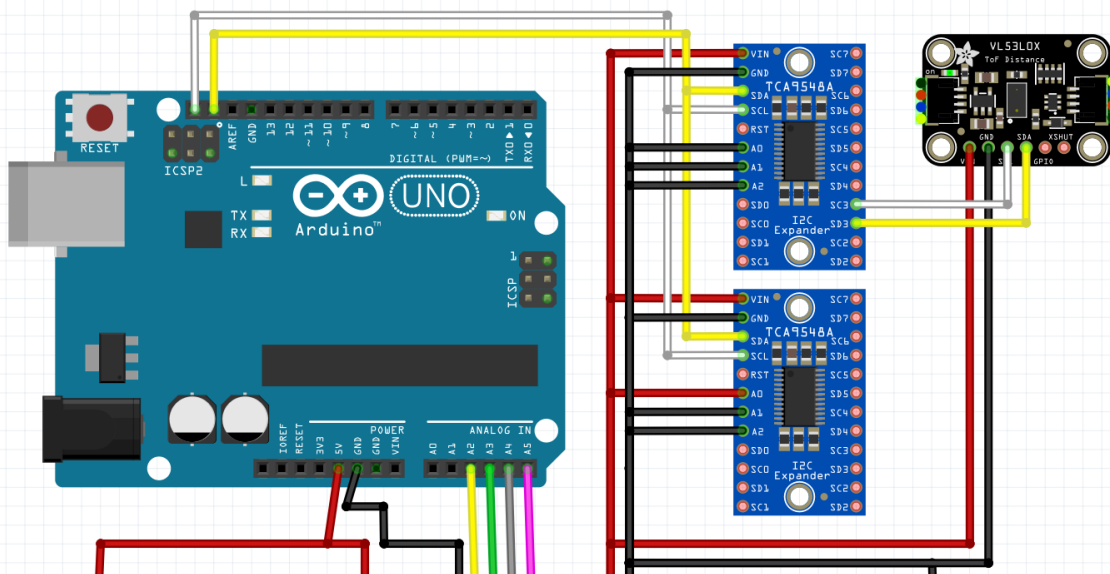


Рисунок 4.5 – Схема підключення датчиків відстані крокуючої платформи

4.3 Розробка блок-схеми алгоритму роботи

Розроблено принциповий алгоритм роботи крокуючої мобільної платформи для переміщення вантажів сходами на базі рекомендацій представлених у літературі [35, 36, 37]. Він представлений на рисунках 4.6 – 4.8.

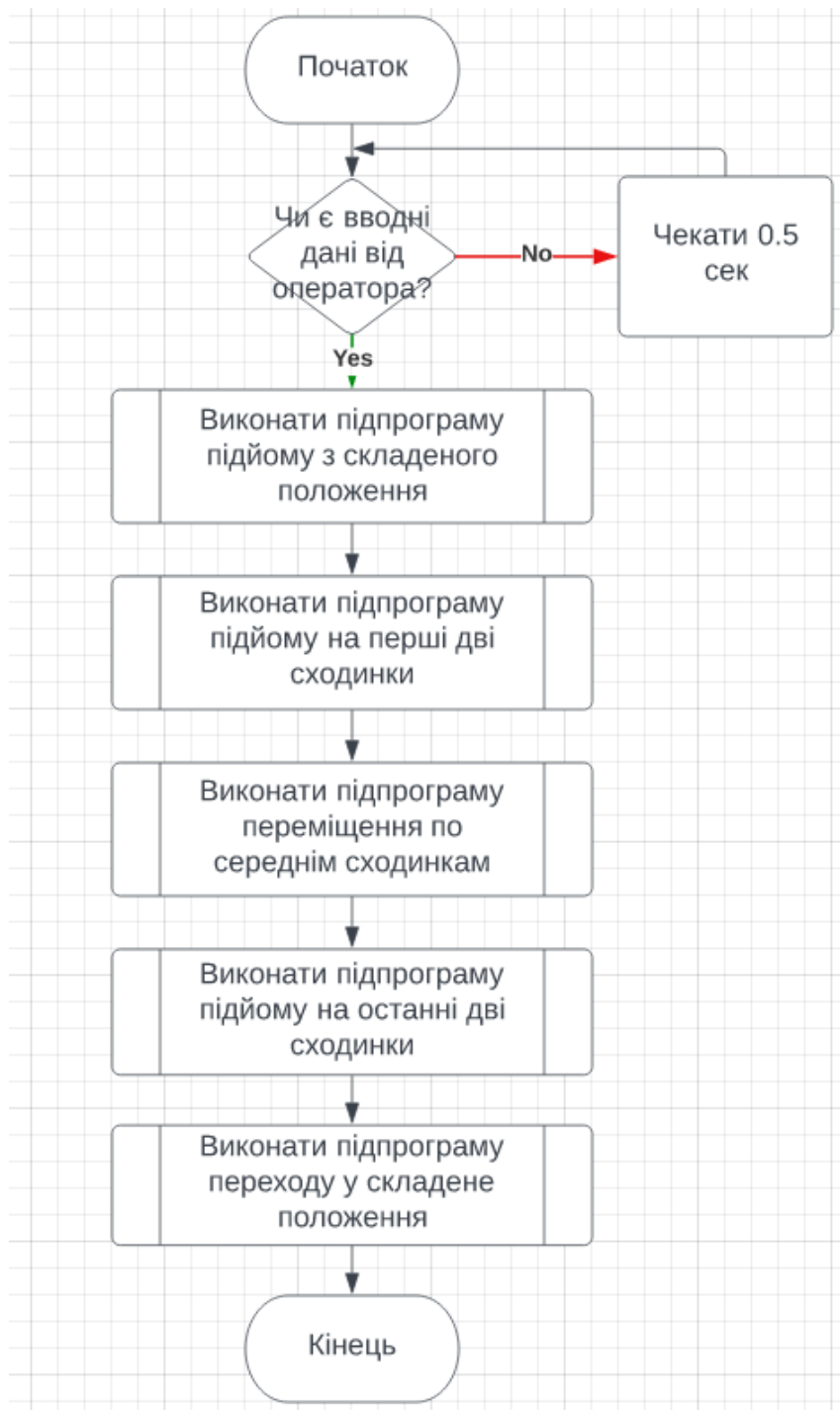


Рисунок 4.6 – Алгоритм роботи крокуючої мобільної платформи



Рисунок 4.7 – Підпрограма переміщення пари ніг крокуючої платформи

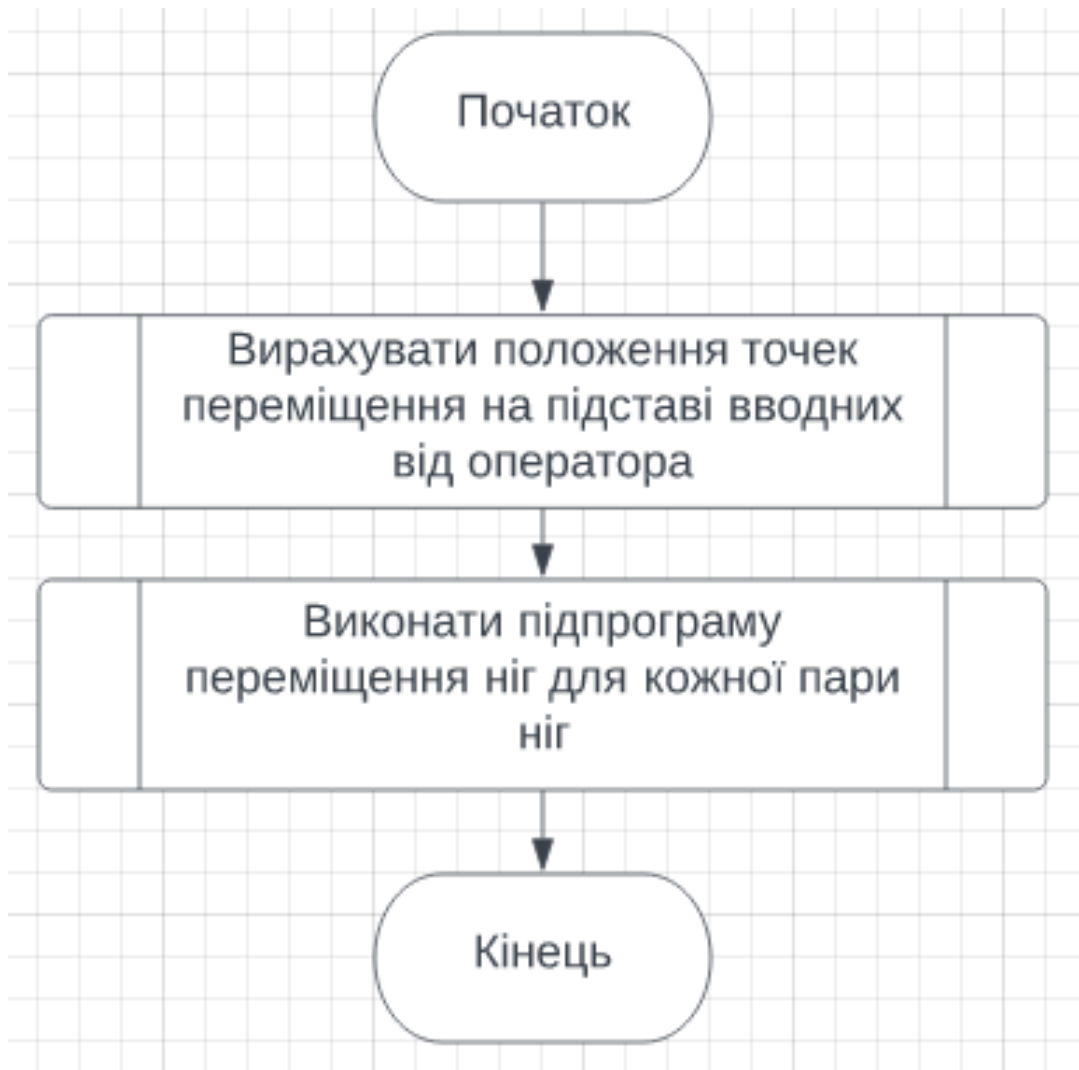


Рисунок 4.8 – Підпрограма переміщення крокуючої платформи

4.4 Експериментальні дослідження з розробленою моделлю

Використовуючи розроблено комп'ютерну модель перевіримо чи є розроблювана крокуюча платформа стабільною на усіх етапах пересування сходами та чи дозволяє розроблена кінематика руху ніг платформи пересуватися сходами ніде не проходячи «скрізь» сходи.

Для перевірки стабільності визначимо центр тяжіння платформи з вантажем, та перевіримо де знаходиться центр тяжіння відносно тих ніг платформи на які вона спирається у різні моменти процесу пересування сходами (рисунок 4.9) та під час вставання або сидання (рисунок 4.10).

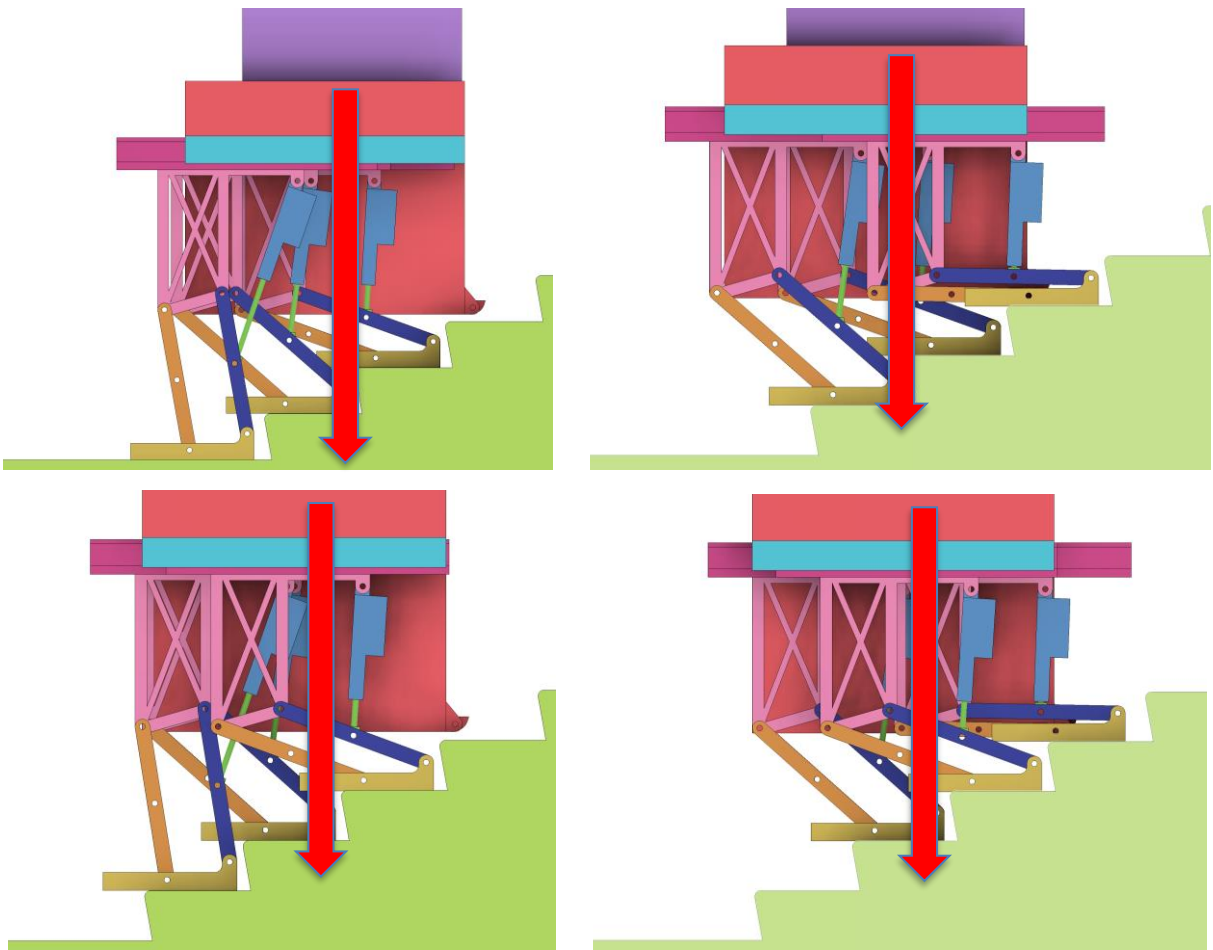


Рисунок 4.9 – Положення центра тяжіння платформи з вантажем під час пересування сходами

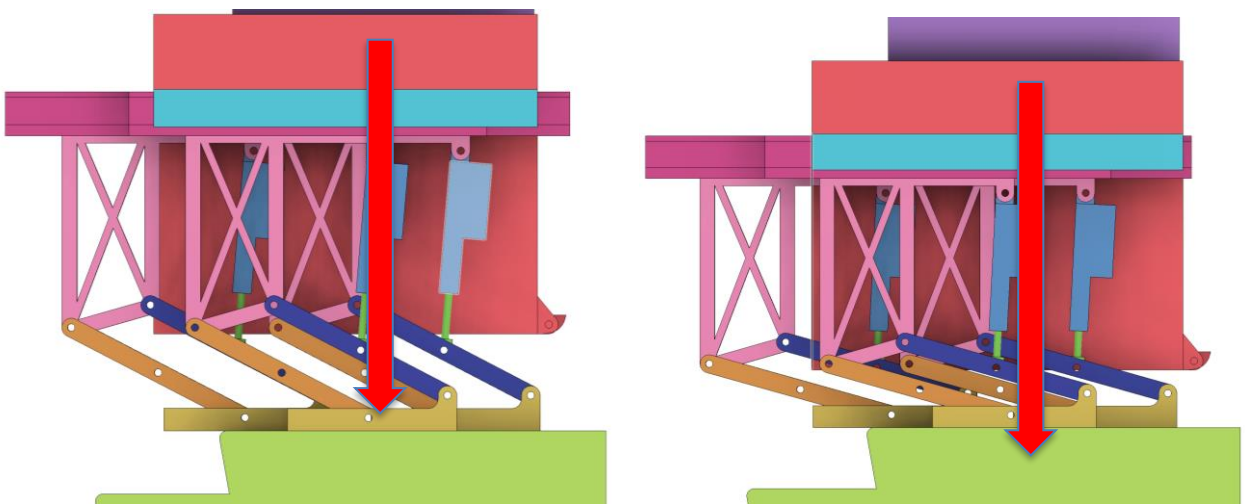


Рисунок 4.10 – Положення центра тяжіння платформи з вантажем під час вставання чи сидання

Таким чином, комп'ютерна модель підтверджує, що розроблена крокуюча платформа є стабільною на усіх етапах пересування сходами.

Для перевірки кінематики руху скористаємось інструментом «Motion Study» пакету Fusion 360 і змодельємо увесь процес руху крокуючої мобільної платформи (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Вивчення кінематики руху ніг мобільної крокуючої платформи за допомогою інструмента «Motion Study» пакету Fusion 360

Покадрове вивчення руху ніг платформи довело, що розроблена кінематика руху ніг дійсно дозволяє платформі пересуватися сходами ніде за них не чіпляючись.

4.5 Висновки до розділу 4

У розділі 4 було розроблено компоновку та побудовано комп'ютерну модель крокуючої мобільної платформи для переміщення вантажів сходами у CAD/CAM/CAE середовищі Autodesk Fusion 360 та подано її у вигляді 3D моделі.

Також було розроблено принциповий алгоритм роботи крокуючої мобільної платформи та подано його у вигляді блок-схем.

Використовуючи розроблену 3D модель, було експериментально доведено, що розроблена крокуюча платформа є стабільною на усіх етапах пересування сходами та що розроблена кінематика руху ніг дійсно дозволяє пересуватись сходами.

ВИСНОВКИ

Запропонована крокуюча мобільна платформи для переміщення вантажів по сходах являє собою комплекс функціонально об'єднаних технічних засобів і програмного забезпечення, що вирішують проблему переміщення важких вантажів по сходах не покладаючись на фізичну сил оператора.

Згідно поставленої задачі, було проведено огляд та аналіз сучасного стану проблеми переміщення вантажів сходами.

Було обрано тип рушія та розроблено кінематичну схему руху крокуючої мобільної платформи для переміщення вантажів сходами. Проаналізовано усі структурні елементи даної схеми та визначені їх функціональні завдання. Проведено розрахунок найкращого місця кріплення актуатора.

Розроблена структурна схема цієї платформи. Проведено вибір основних компонентів крокуючої мобільної платформи, описано їх конструктивні та функціональні особливості та наведено їх технічні характеристики. Проведені попередні розрахунки кошторису для купівлі цих компонентів для даної крокуючої платформи.

Розроблено та побудовано комп'ютерну модель крокуючої мобільної платформи для переміщення вантажів сходами у CAD/CAM/CAE середовищі Autodesk Fusion 360 та подано її у вигляді 3D моделі. Використовуючи розроблену 3D модель, було експериментально доведено, що розроблена крокуюча платформа є стабільною на усіх етапах пересування сходами та що розроблена кінематика руху ніг дійсно дозволяє пересуватись сходами.

Недоліками розробленого механізму для пересування сходами є порівняна низька швидкість пересування сходами – 4 сходинки за хвилину проти 10 – 12 сходинок за хвилину у більшості існуючих механізмів для переміщення вантажів сходами, що виготовляються серійно.

Головною перевагою перед існуючими механізмами для переміщення вантажів сходами, що виготовляються серійно є стабільність у будь-якій момент

пересування сходами, адже платформа завжди спирається не менш ніж на 4 опори і центр тяжіння усього механізму завжди знаходиться між цими 4 опорами.

Розроблена модель крокуючої платформи для пересування вантажів сходами може стати основою для розробки автономного робота для переміщення вантажів сходами або можна продовжити її розробку саме як вантажної платформи що полегшує роботу людини лише при переміщенні сходами, а в інший час працює як звичайний навантажувач для піддонів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 30 с.
2. Методичні вказівки до підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” освітньо-професійних програм: “Автоматизоване управління технологічними процесами”, “Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва”, “Комп’ютеризовані та роботехнічні системи” / упоряд. : І.Ш. Невлюдов, Р.В. Артюх, В.В. Безкоровайний, Н.П. Демська, В.В. Євсєєв, О.І. Филипченко, О. М. Цимбал. Харків : ХНУРЕ, 2021. 55 с.
3. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”: довід. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. К.: Київ-56, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. 320 с.
4. Положення про протидію академічному плагиату в ХНУРЕ // Сайт nure.ua. URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf (дата звернення : 16.10.2022).
5. Цешевський В.В. Огляд сучасних конструктивних схем роботів для переміщення сходами. ADED-2023 випуск 2. М-во освіти і науки України; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки.– Харків: [Електронне видання], 2023.
6. Roh, S. G., Choi, H. R., and Cho, K. J. (2014). Omni-directional mobile base OK-II with three pairs of articulated tracks for stair climbing. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 12(3), 576-584.
7. Murphy, R. R. (2014). *Disaster Robotics*. MIT Press.
8. Lawn, M.J.; Sakai, T.; Kuroiwa, M.; Ishimatsu, T. Development and practical application of a stairclimbing wheelchair in Nagasaki. *Int. J. Hum. Friendly Welf. Robot. Syst.* 2001, 2, 33–39.

9. Power wheelchair Scewo BRO // Сайт Scewo. URL: <https://www.scewo.com/en/product/> (дата звернення: 15.10.2023).
10. Raibert, M. (1986). Legged Robots. *Communications of the ACM*, 29(6), 499-514.
11. Hirose, S., and Ogawa, K. (2007). Honda humanoid robots development. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1850), 11-19.
12. Sugahara, Y.; Ohta, A.; Hashimoto, K.; Sunazuka, H.; Kawase, M.; Tanaka, C.; Lim, H.-o.; Takanishi, A. Walking up and down stairs carrying a human by a biped locomotor with parallel mechanism. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Edmonton, AB, Canada, 2–6 August 2005; pp. 1489–1494.
13. Bang, Y.-b.; Lee, C.-h.; Yoo, J.-h.; Lee, K.-m.; Kim, I.-s. Two-legged stair-climbing wheelchair and its stair dimension measurement using distance sensors. In *Proceedings of the 11th International Conference on Control, Automation and Systems*, Gyeonggi-do, Korea, 26–29 October 2011; pp. 1788–1791.
14. Introduction of MOBINN // Сайт RcLab. URL: <https://rclab.kookmin.ac.kr/project1/mobinn> (дата звернення: 21.10.2023).
15. Hand truck // Сайт Google Patents. URL: <https://patents.google.com/patent/US2400824A/en> (дата звернення: 27.10.2023).
16. Powered invalid chair and handle control therefor // Сайт Google Patents. URL: <https://patents.google.com/patent/US2742973A/en> (дата звернення: 27.10.2023).
17. Shino, M.; Tomokuni, N.; Murata, G.; Segawa, M. Wheeled inverted pendulum type robotic wheelchair with integrated control of seat slider and rotary link between wheels for climbing stairs. In *Proceedings of the IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts*, Evanston, IL, USA, 11–13 September 2014; pp. 121–126.
18. iBOT // Сайт Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/IBOT> (дата звернення: 29.10.2023).

19. Yuan, J.; Hirose, S. Research on leg-wheel hybrid stair-climbing robot, Zero Carrier. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Shenyang, China, 22–26 August 2004; pp. 654–659.
20. Zhu, Y.; Fei, Y.; Xu, H. Stability analysis of a wheel-track-leg hybrid mobile robot. *J. Intell. Robot. Syst.* 2018, 91, 515–528.
21. Bruzzone, L.; Fanghella, P. Functional redesign of mantis 2.0, a hybrid leg-wheel robot for surveillance and inspection. *J. Intell. Robot. Syst.* 2016, 81, 215–230.
22. Hopping, rolling, balancing Ascento robot now available in Pro form // Сайт New Atlas. URL: <https://newatlas.com/robotics/ascento-pro-wheeled-legged-robot> (дата звернення: 30.10.2023).
23. Tao W, Xu J, Liu T. Electric-powered wheelchair with stair-climbing ability. *International Journal of Advanced Robotic Systems.* 2017;14(4).
24. Steprider Stair Climber // Сайт Hercules – Complete Lifting Solutions. URL: <https://lifting.hercules.com.au/product/steprider/> (дата звернення: 30.10.2023).
25. Stair Robot SR-1750 // Сайт AATA International. URL: <https://aata.nl/en/sr-1750/#Stair%20Robot%20Sr-1750%20Heavy%20Duty> (дата звернення: 30.10.2023).
26. Zonzini Domino Plasmoid Stabilized // Сайт Zonzini. URL: <https://www.zonzini.us/electric-stair-climbers-for-goods/stair-climbing-robot-domino-plasmoid> (дата звернення: 30.10.2023).
27. Wesco LiftKar HD Universal Frame Powered Stair Climbing Hand Truck // Сайт DigitalBuyer. URL: <https://www.digitalbuyer.com/wesco-universal-liftkar-hd-straight-frame-725-lb-load-stairclimbing-hand-truck.html> (дата звернення: 30.10.2023).
28. E-Z Climber 1300H™ Stair Climber // Сайт Absolute EZ-UP. URL: <https://absolute-zup.com/product/e-z-climber-1300-h-stair-climber/> (дата звернення: 30.10.2023).
29. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд – К.: ДП «КиївЗНДІЕП», 2018. – 64с.

30. СНиП 2.08.02-89 Общественные здания и сооружения – М.: ФГУП. ЦПП, 2006. – 38 с.
31. ДСТУ Б В.2.6-56:2008 Конструкції будинків і споруд: східці залізобетонні та бетонні, К.: Мінрегіонбуд України, 2009 – 41 с.
32. Європалета // Сайт Wikipedia. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%84%D0%B2%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%B0> (дата звернення: 10.11.2023).
33. Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв, С. П. Новоселов, Н. П. Демська ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.
34. TA2P Series // Сайт TiMOTION. URL: <https://www.timotion.com/en/products/linear-actuators/ta2p-series> (дата звернення: 11.11.2023).
35. Бронніков Артем Ігорович. Моделі та методи адаптивного візуального керування роботами : дис. ... канд. тех. наук : 05.13.07 / Бронніков Артем Ігорович. – Харків, 2021. – 222 с. – Бібліогр. : с. 93–113.
36. Tsymbal, O., Bronnikov, A., & Gudkov, Y. (2021). Genetic Algorithm Solution for Transfer Robot Operation. *International Journal of Computing*, 20(2), 246-253. (Scopus) <https://doi.org/10.47839/ijc.20.2.2172>.
37. Oleksandr Tsymbal, Artem Bronnikov, Paolo Mercorelli. Decision-making models for Robotic Warehouse // *Proceedings of 2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Virtual Meeting, June 24-26, P. 546-551.*