

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

Перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розробка роботизованої платформи-транспортера для автоматизації складських
приміщень (механічна частина)
(тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання,
групи АКТСІ -21-2

Денис КОПОТЬ

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник ст. викл. Нікітін Д.О.

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАР

_____ (підпис)

Ігор НЕВЛЮДОВ

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, Копоть Денис Дмитрович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"20" червня 2025 р.



Денис КОПОТЬ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики та комп'ютеризованих технологій
 Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 Тип програми Освітньо-професійна
 Освітня програма Системна інженерія
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

"20" червня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Копотю Денису Дмитровичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Розробка роботизованої платформи-транспортера для автоматизації складських приміщень (механічна частина)
 Затверджена наказом по університету від 19.05.2025 р. №391 Ст
- 2 Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 28.06.2025
- 3 Вихідні дані до роботи: Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU тактова частота 2.50GHz, NVIDIA GeForce GTX 1650 (4 GB), Intel(R) UHD Graphics (128 MB).
- 4 Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:
- 4.1 Вступ;
- 4.2 Провести аналіз існуючих рішень у сфері роботизованих транспортерів;
- 4.3 Визначити вимоги до конструкції механічної частини з урахуванням умов експлуатації;
- 4.4 Розробити конструкцію рами, колісної бази та приводу платформи;
- 4.5 Підготувати креслення, 3D-модель та рекомендації щодо виготовлення й експлуатації.;
- 4.6 Забезпечити можливість інтеграції сенсорів (LiDAR) та систем керування ;
- 4.7 Висновки;
- 4.8 Перелік посилань.

5 Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) 12 с. формату А4

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	Примітка
1	Аналіз предметної області, збір і вивчення літературних та патентних джерел	20.12.2024	Виконано
2	Формування технічних вимог і розробка концепції конструкції	15.01.2025	Виконано
3	Розробка конструкції механічної частини, кінематичної схеми та вибір компонентів	01.03.2025	Виконано
4	Моделювання конструкції, розрахунки міцності, стійкості та навантажень	10.04.2025	Виконано
5	Підготовка креслень, 3D-моделей, рекомендацій з виготовлення й експлуатації	24.05.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки, підготовка до захисту, рецензування	17.06.2025	Виконано

Дата видачі завдання 14.11.2024

Студент

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Копоть Д.Д.

(прізвище, ініціали)

ст. викл. Нікітін Д.О.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 28 рис., 2 дод., 16 джерел.

Дипломна робота присвячена розробці механічної частини роботизованої платформи транспортера, призначеної для автоматизації процесів транспортування вантажів у складських приміщеннях. Метою роботи є створення конструкції автономного транспортного засобу, що забезпечує підвищення ефективності складських операцій, зниження витрат на ручну працю та підвищення безпеки під час виконання логістичних завдань.

У роботі проаналізовано основні вимоги до конструкції транспортних роботів для складів, зокрема з урахуванням особливостей експлуатаційного середовища: обмежений простір, наявність стелажів, потреба у маневреності та стабільності руху. Проведено розробку кінематичної схеми платформи, підібрано оптимальні параметри шасі, тип приводу, а також конструктивні рішення для встановлення вантажної платформи, елементів кріплення та додаткового обладнання (сенсори, батареї, контролери).

Особливу увагу приділено питанням міцності та жорсткості конструкції, забезпеченню стійкості під час руху та зупинки, а також можливості модульного нарощування функціоналу транспортера. Виконано розрахунки навантажень на основні вузли, проведено комп'ютерне моделювання основних елементів конструкції для перевірки працездатності під навантаженням. Запропонована конструкція забезпечує можливість інтеграції у системи управління складом та сумісність з іншими видами складської техніки.

Дипломна робота містить опис розробленої конструкції, обґрунтування вибору матеріалів та технологій виготовлення основних деталей, результати моделювання та рекомендації щодо подальшого вдосконалення платформи.

Обсяг роботи - 65 сторінок, кількість рисунків - 28, кількість таблиць - 3, кількість джерел - 16.

ABSTRACT

Explanatory note: 68 pages, 28 figures, 2 appendices, 16 sources.

The thesis is devoted to the development of the mechanical part of the robotic conveyor platform, designed to automate the processes of transporting goods in warehouses. The purpose of the work is to create a design of an autonomous vehicle that ensures increased efficiency of warehouse operations, reduced costs for manual labor and increased safety when performing logistics tasks.

The work analyzes the main requirements for the design of transport robots for warehouses, in particular, taking into account the characteristics of the operating environment: limited space, the presence of racks, the need for maneuverability and stability of movement. The kinematic scheme of the platform has been developed, the optimal parameters of the chassis, the type of drive, as well as design solutions for installing the cargo platform, fastening elements and additional equipment (sensors, batteries, controllers) have been selected.

Special attention is paid to the issues of strength and rigidity of the structure, ensuring stability during movement and stopping, as well as the possibility of modular expansion of the conveyor functionality. Calculations of loads on the main nodes were performed, computer modeling of the main structural elements was carried out to check the operability under load. The proposed design provides the possibility of integration into warehouse management systems and compatibility with other types of warehouse equipment.

The thesis contains a description of the developed design, justification for the choice of materials and manufacturing technologies for the main parts, modeling results and recommendations for further improvement of the platform.

The volume of work is 68 pages, the number of figures is 28, the number of tables is 3, the number of sources is 16.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД СТРУКТУРИ РОБОТІВ ТРАНСПОРТЕРІВ	11
1.2 Недоліки використання АТЗ в автоматизації складів	12
1.3 Актуальні тенденції	14
1.4 Висновки до першого розділу	16
2 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕМИ.....	17
2.1 Які різновиди роботів транспортерів існують	18
2.2 Види системи по якій робот орієнтується по приміщенню	20
2.3 Основні елементи механічної частини системи.....	23
2.5 Умови експлуатації робота транспортера.....	26
2.6 Вимоги до механічної частини	26
2.7 Опис конструкції транспортера	27
2.8 Висновок до розділу 2.....	28
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МАКЕТУ	29
3.1 Розробка конструкції колісного робота транспортера	30
3.2 Деталі конструкції робота транспортера	31
3.3 Висновок до розділу 3.....	38
4 Аналіз САУ для крокового двигуна Nema14	39
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
6 Розроблення макету робота.....	44
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51
ДОДАТОК А	54

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AI - artificial intelligence (Штучний інтелект)

AGV - Automated Guided Vehicle;

AMR - Autonomous Mobile Robot;

DFD - data flow diagrams

RFID - Radio Frequency

Identification;

SLAM - Simultaneous Localization and Mapping;

LIDAR - Light Detection and Ranging;

WMS - Warehouse Management System;

АТЗ - Автоматизований транспортний засіб

ПІД - Пропорційно-інтегрально-

диференціальний;

САПР - Система автоматизованого проектування

ШІМ - Широтно-імпульсна модуляція;

ВСТУП

У сучасних умовах глобалізації, стрімкого розвитку електронної комерції та зростання обсягів логістичних операцій постає необхідність автоматизації складських процесів. Одним із перспективних напрямів є впровадження автономних роботизованих платформ-транспортів, що дозволяють підвищити ефективність використання складських площ, знизити трудові витрати, покращити швидкість і точність виконання операцій. Використання мобільних роботизованих систем сприяє підвищенню рівня безпеки праці та мінімізації помилок при переміщенні вантажів.

Роботизовані платформи-транспортери є ключовим елементом інтелектуальних складських систем. Вони здатні автономно переміщати вантажі між зонами зберігання, комплектації й відвантаження та інтегруються з сучасними системами управління складом (WMS). Створення таких платформ вимагає комплексного підходу, який поєднує знання в галузях механіки, електроніки, програмування та системного інжинірингу. Зокрема, механічна частина має забезпечувати міцність, надійність, компактність конструкції, стійкість до динамічних навантажень і високу маневреність в умовах обмежених просторових ресурсів.

Актуальність даної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності логістичних процесів, забезпечення стійкої роботи складських систем в умовах підвищених навантажень та потреби в автоматизації рутинних операцій. Впровадження роботизованих платформ дозволяє скоротити час обробки замовлень, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити точність виконання логістичних операцій. Робота над такими системами є важливим кроком у напрямку впровадження індустрії 4.0.

Метою дипломної роботи є розробка механічної частини автономної роботизованої платформи-транспортера для транспортування вантажів у складських приміщеннях. Робота передбачає аналіз предметної області, дослідження конструктивних особливостей аналогічних рішень, формування технічних вимог, розробку кінематичної схеми та вибір основних компонентів конструкції. Особливу увагу приділено вибору матеріалів, конфігурації рами та колісної бази, системи амортизації й приводу. Завданнями роботи є: аналіз існуючих технічних рішень, формування вимог до механічної частини платформи, розробка концепції конструкції та вибір матеріалів, розробка приводу й системи амортизації, моделювання навантажень і виконання розрахунків на міцність та стійкість конструкції, підготовка креслень, 3D-моделей і рекомендацій щодо виготовлення та експлуатації платформи. Також передбачено розробку рекомендацій щодо подальшої модернізації та адаптації конструкції під потреби конкретних складських комплексів.

Виконання цієї роботи сприятиме закріпленню теоретичних знань з конструювання мехатронних систем, розвитку практичних навичок у використанні сучасних САПР для моделювання та розрахунків, формуванню досвіду проектування складних технічних об'єктів для автоматизації складської логістики. Отримані результати можуть стати основою для подальших наукових досліджень і практичного впровадження розроблених рішень на сучасних підприємствах.

1 ОГЛЯД СТРУКТУРИ РОБОТІВ ТРАНСПОРТЕРІВ

1.1 Переваги використання АТЗ в автоматизації складських приміщень

Автономні транспортні засоби здатні працювати цілодобово без перерв, що значно підвищує продуктивність складу. Вони можуть виконувати рутинні завдання швидше та точніше за людину, що дозволяє зменшити час обробки замовлень.

Використання Автономних Транспортних Засобів (АТЗ) в автоматизації складів надає значну кількість переваг, що сприяють підвищенню продуктивності, зменшенню витрат та оптимізації логістичних процесів. Основні переваги включають:

АТЗ здатні працювати цілодобово без необхідності відпочинку або перерви, що значно збільшує час роботи складу. Це дозволяє оптимізувати час обробки та відвантаження товарів, зменшуючи загальний час виконання логістичних операцій.

Автономні системи не піддаються втомі або людським помилкам, що зменшує ймовірність помилок та аварій. Вони можуть точно виконувати програмовані команди і дотримуватися заданих маршрутів і процедур без зміни якості роботи через тривалі періоди роботи.

Використання АТЗ дозволяє знизити витрати на оплату праці, оскільки не потрібно постійно включати людський фактор для переміщення та обробки товарів. Це особливо важливо в умовах ростущих вимог до заробітної плати та складного планування робочого графіку.

АТЗ можуть оптимізувати використання простору на складі, оскільки вони можуть працювати з високим ступенем координації та точності. Вони здатні виконувати завдання з низькою помилкою і забезпечують ефективне використання доступного простору для зберігання товарів.

Автоматизовані системи не потребують тривалої підготовки до роботи, як люди. Вони можуть швидко переключатися між завданнями та маршрутами, що забезпечує миттєву реакцію на зміни в попиту або пріоритетах управління складом.

Впровадження АТЗ може значно знизити загальні витрати на логістичні операції, включаючи витрати на паливо, обслуговування техніки, амортизацію та витрати на управління персоналом.

Використання АТЗ дозволяє скоротити витрати на оплату праці, оскільки необхідність у великій кількості працівників зменшується. Також зменшуються витрати на навчання персоналу та управління людськими ресурсами.

АТЗ знижують ризик травматизму на складі, оскільки можуть працювати в умовах, небезпечних для людей. Вони оснащені датчиками та системами виявлення перешкод, що дозволяє уникати аварійних ситуацій.

Використання Автономних Транспортних Засобів (АТЗ) в автоматизації складів є ключовим чинником для підвищення ефективності, зменшення витрат та підвищення надійності операцій. Ці технології не лише полегшують управління складом, але й сприяють оптимізації всіх процесів, пов'язаних з логістикою та управлінням запасами.

1.2 Недоліки використання АТЗ в автоматизації складів

Хоча використання Автономних Транспортних Засобів (АТЗ) має безліч переваг, воно також пов'язане з певними недоліками і викликами, які варто враховувати при впровадженні таких систем на складах.

Впровадження АТЗ вимагає значних витрат на придбання самого обладнання, настройку систем управління та навігації, а також на навчання персоналу. Це може стати перешкодою для малих і середніх підприємств з обмеженими фінансовими ресурсами.

Одним з основних недоліків є висока вартість впровадження АТЗ, яка включає вартість самого обладнання, програмного забезпечення, встановлення та інтеграції з існуючими системами. Це може бути значним бар'єром для малих та середніх підприємств.

Інтеграція нових технологій з існуючими системами управління складом (наприклад, WMS) може бути складною і часом затратною задачею. Необхідно забезпечити сумісність інтерфейсів і даних між різними системами для забезпечення їх ефективної роботи в комплексі.

Інтеграція АТЗ з існуючими складськими системами може бути складною та вимагати значних зусиль з боку ІТ-відділу. Необхідно забезпечити сумісність різних систем та налаштувати їх взаємодію.

Автономні системи потребують регулярного технічного обслуговування та підтримки, що може збільшувати загальні витрати на експлуатацію. Ремонт та заміна компонентів також можуть вимагати спеціалізованої технічної підтримки.

Використання АТЗ на складах може підвищувати ризики стосовно кібербезпеки. Хакери можуть спробувати отримати доступ до систем управління АТЗ або втрутитися у їх роботу, що може призвести до потенційних втрат або витрат на заходи з кіберзахисту.

Автономні системи можуть виявляти обмеження у динамічних умовах роботи, таких як зміна маршрутів або непередбачувані перешкоди на складі. Вони можуть потребувати постійного моніторингу та можливих коригувань програм, щоб забезпечити ефективну роботу в умовах змін. *Потреба в постійному нагляді і управлінні*

Хоча АТЗ є автономними, вони все ще вимагають нагляду та управління з боку кваліфікованих операторів. Це потребує додаткових ресурсів і зусиль для координації роботи АТЗ з іншими складськими процесами. АТЗ найчастіше розраховані на виконання конкретних завдань та можуть мати обмеження в гнучкості. Наприклад, вони можуть бути менш ефективними в умовах, де часто змінюються розміщення товарів або маршрути. Впровадження Автономних Транспортних Засобів на складах має багато переваг, але водночас із цим пов'язані й певні недоліки. Вирішення цих питань потребує комплексного підходу та уважного аналізу, щоб забезпечити оптимальне використання технологій і підвищити ефективність складських операцій.

1.3 Актуальні тенденції

Сфера автоматизації складів з використанням Автономних Транспортних Засобів (АТЗ) швидко розвивається, відображаючи сучасні вимоги до логістичних процесів та індустріальної автоматизації. Ось деякі з найактуальніших тенденцій у цій сфері:

Застосування штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML) стає ключовим для оптимізації управління складами з використанням АТЗ. AI допомагає вирішувати завдання маршрутизації, оптимізації запасів, прогнозування попиту і підтримки прийняття рішень в реальному часі. ML використовується для аналізу великих обсягів даних, що дозволяє покращувати алгоритми навігації АТЗ та адаптувати їх до змінних умов роботи. Однією з ключових тенденцій є інтеграція АТЗ з системами штучного інтелекту (ШІ). Це дозволяє підвищити рівень автономності транспортних засобів, покращити їх здатність до самонавчання та адаптації до змінних умов. ШІ використовується для прогнозування попиту, оптимізації маршрутів та підвищення ефективності управління запасами.

Інтернет речей (IoT) відіграє важливу роль у зборі реального часу і аналізі даних з АТЗ та інфраструктури складу. Датчики IoT дозволяють стежити за місцезнаходженням товарів, умовами оточення, станом техніки і іншими параметрами, що впливають на ефективність складських операцій.

Роботизовані системи сортування знаходять широке застосування в сучасних складських системах. Вони дозволяють автоматично класифікувати товари за різними параметрами, що сприяє ефективній організації і зменшенню часу обробки замовлень.

За допомогою сучасних технологій зв'язку і IoT, оператори можуть здійснювати дистанційне управління та моніторинг роботи АТЗ. Це забезпечує оперативну реакцію на події на складі, швидше виявлення проблем та шляхи їх вирішення. З урахуванням зростаючої складності логістичних мереж і змінних умов роботи, розробники працюють над створенням АТЗ, які можуть адаптуватися до різних умов і ефективно працювати в динамічному середовищі

складу. Це включає вдосконалення систем навігації, сенсорних технологій і програмного забезпечення для більш точного і надійного функціонування.

Інтернет речей дозволяє створювати взаємопов'язані мережі пристроїв, які обмінюються інформацією в режимі реального часу. Це сприяє підвищенню прозорості та контролю за складськими процесами, забезпечує можливість оперативного реагування на зміни та оптимізації роботи складу.

Технології 5G забезпечують високошвидкісний та надійний зв'язок, що є критично важливим для роботи АТЗ. Вони дозволяють зменшити затримки в передачі даних, підвищити швидкість обробки інформації та забезпечити безперервну роботу систем моніторингу та контролю.

Актуальні тенденції у сфері автоматизації складів з використанням АТЗ показують напрямки розвитку, спрямовані на підвищення ефективності, зниження витрат і підвищення надійності логістичних процесів. Впровадження новітніх технологій і методів дозволяє підприємствам бути конкурентоспроможними і відповідати сучасним вимогам ринку.

1.4 Висновки до першого розділу

У цьому розділі було розглянуто переваги, недоліки та актуальні тенденції використання Автономних Транспортних Засобів (АТЗ) в автоматизації складських приміщень. Застосування АТЗ дозволяє суттєво підвищити продуктивність і ефективність роботи складу завдяки безперервній роботі без перерв і впливу людського фактора, зниженню витрат на оплату праці та підвищенню точності логістичних операцій. Водночас, впровадження таких систем супроводжується певними викликами, серед яких високі початкові витрати, складність інтеграції з існуючими системами та потреба у додатковому технічному обслуговуванні.

Аналіз сучасних тенденцій показав, що розвиток технологій штучного інтелекту, Інтернету речей (IoT), систем дистанційного моніторингу та технологій зв'язку (зокрема 5G) сприяє подальшому вдосконаленню автономних систем та підвищенню їх адаптивності до динамічних умов роботи складу. Таким чином, використання АТЗ є перспективним напрямом розвитку складської логістики, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність підприємств за рахунок впровадження сучасних автоматизованих рішень.

2 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕМИ

У сучасних умовах глобалізації та стрімкого розвитку електронної комерції ефективність складської логістики стає ключовим фактором успіху. Однією з найбільш інноваційних платформ у цій галузі є AliExpress, яка впроваджує складні багаторівневі системи управління логістикою. Під час проходження практики я досліджував організацію складських процесів, автоматизацію та оптимізацію доставки товарів.

Основні типи складських приміщень у логістичній системі сучасних складських приміщень

Система складського господарства таких включає кілька підтипів названих вище приміщень, кожне з яких виконує певну функцію:

1. Виробничі склади – розташовані поблизу заводів, призначені для тимчасового зберігання товарів перед відправленням;
2. Розподільчі центри (хаби) – великі логістичні вузли, де товари сортується за географічними напрямками;
3. Транзитні склади – використовуються для перевантаження між різними видами транспорту (автомобільним, залізничним, авіа);
4. Локальні фулфілмент-центри – розміщені в країнах-споживачах для прискорення доставки;
5. Автоматизовані склади – обладнані роботизованими системами, конвеєрами та інтелектуальним програмним забезпеченням.

Організація внутрішньоскладських процесів

Робота на складах базується на сучасних технологіях, що дозволяють обробляти мільйони замовлень щодня. Основними етапами є:

1) Приймання товару:

- сканування штрих-кодів, внесення даних у систему WMS (Warehouse Management System);

- визначення оптимального місця зберігання.

2) Зберігання:

- використання стелажних систем з автоматизованим доступом;
- застосування мобільних роботів для переміщення вантажів.

3) Комплектація замовлен:

- формування завдань для операторів або роботів-комплектувальників;
- використання голосових підказок для підвищення ефективності.

Пакування та маркування:

- автоматизоване пакування з урахуванням габаритів та ваги товару;
- нанесення транспортних етикеток з подальшим сортуванням за регіонами доставки.

Відвантаження:

- формування партій для передачі кур'єрським службам;
- оптимізація маршрутів доставки для мінімізації часу.

Автоматизація та інновації:

- AliExpress активно впроваджує передові технології для підвищення ефективності;
- Роботизовані склади (AGV-тележки, автономні вантажники);
- Штучний інтелект для прогнозування попиту та оптимізації запасів;
- Big Data аналітика для відстеження ланцюга поставок.

2.1 Які різновиди роботів транспортерів існують

Сучасні складські комплекси, такі як ті, що використовуються в AliExpress, Amazon або Rozetka, активно впроваджують роботизовані транспортні системи для автоматизації переміщення вантажів. Це дозволяє прискорити процеси, зменшити кількість помилок і знизити витрати на логістику.

2.1.2. Мобільні роботи-платформи (AGV/AMR)

AGV (Automated Guided Vehicle) - транспортні платформи, що пересуваються за заданим маршрутом (на магнітній стрічці, RFID-мітках або

провідниковій лінії).

Приклади:

- палетні візки – перевозять палети з товарами;
- контейнерні транспортери – для переміщення ящиків, коробок;
- переваги: Висока вантажопідйомність, стабільність.

Недоліки: Обмежена гнучкість (потрібна інфраструктура).

AMR (Autonomous Mobile Robot) – автономні роботи, які орієнтуються у просторі за допомогою лідара, камер та сенсорів.

Приклади:

Роботи-комплектувальники (наприклад, Geek+, Locus Robotics)

- самостійно знаходять товари на складі.

Транспортні AMR – перевозять кошики або контейнери між зонами.

Переваги: Гнучкість, можливість динамічно змінювати маршрут.

Недоліки: Вища вартість порівняно з AGV.

2.1.3. Роботи-маніпулятори

Використовуються для автоматичного підйому, переміщення та сортування вантажів.

Конвеєрні маніпулятори – автоматично переміщують коробки між стрічками.

Палетайзери/Депалетайзери – вантажать або розвантажують палети.

Роботи-сортувальники (наприклад, Kiva Systems) - розподіляють товари за напрямками.

2.1.4. Гібридні системи (комбінація платформ і маніпуляторів)

Роботи-штабелери - можуть як перевозити, так і складати палети.

Роботи з кран-балкою – використовуються у високостелажних складах.

2.1.5. Приклади застосування у складській логістиці

AliExpress використовує AMR від «Geek+» для швидкого комплектування

замовлень.

Amazon застосовує «Kiva robots» для переміщення стелажів.

DHL тестує палетні AGV для автоматизації великих складів.

2.2 Види системи по якій робот орієнтується по приміщенню

Сучасні склади все частіше впроваджують різноманітні системи навігації для автономних роботів, кожна з яких має свої унікальні характеристики та сфери застосування.

Магнітна стрічка - одна з найпростіших і найдоступніших систем (Рис. 2.1). Робот рухається по спеціальній стрічці, закладеній в підлогу на глибині 2-5 мм. Хоча система недорога і надійна, вона обмежує гнучкість маршрутів і ускладнює перепланування складу.

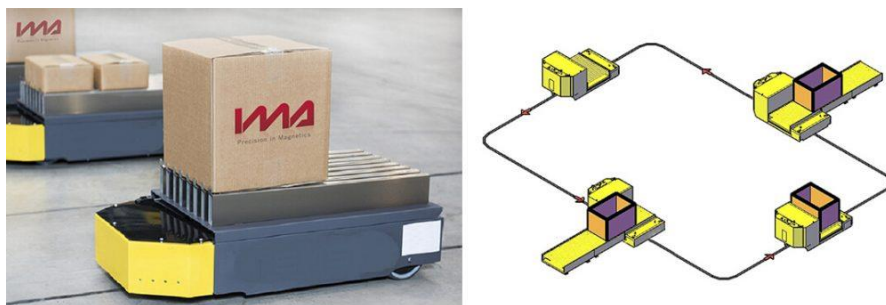


рисунок 2.1 - Приклад переміщення по стрічці

Провідникова лінія (Рис. 2.2) використовує електричний провідник, вмонтований у підлогу. Система відрізняється високою точністю (± 3 мм) і стабільністю, але, як і магнітна стрічка, вимагає попереднього монтажу інфраструктури.



Рисунок 2.2 - Переміщення по електричному провіднику

RFID-навігація (Рис. 2.3) передбачає розміщення спеціальних міток у підлозі, які зчитуються роботом. Це дозволяє створювати більш гнучкі маршрути, але вимагає значних початкових інвестицій у інфраструктуру.



Рисунок 2.3 - Приклад пересування по міткам

SLAM-технології (LIDAR) (Рис. 2.4) - це вже сучасні безмаркерні системи. Роботи самостійно будують карти приміщення за допомогою лазерних сканерів, що забезпечує повну автономність і адаптивність до змін. Однак такі системи значно дорожчі і вимагають потужних обчислювальних ресурсів



Рисунок 2.4 - LIDAR датчик

Візуальна навігація (Рис. 2.5) використовує камери для аналізу оточення. Вона не потребує додаткової інфраструктури, але залежить від якості освітлення і може бути чутливою до змін у середовищі



Рисунок 2.5 - Маніпулятор з камерою

Інерціальні системи, що базуються на гіроскопах і акселерометрах, часто використовуються як допоміжні. Вони незалежні від зовнішніх умов, але з часом накопичують похибку. (Рис. 2.6)

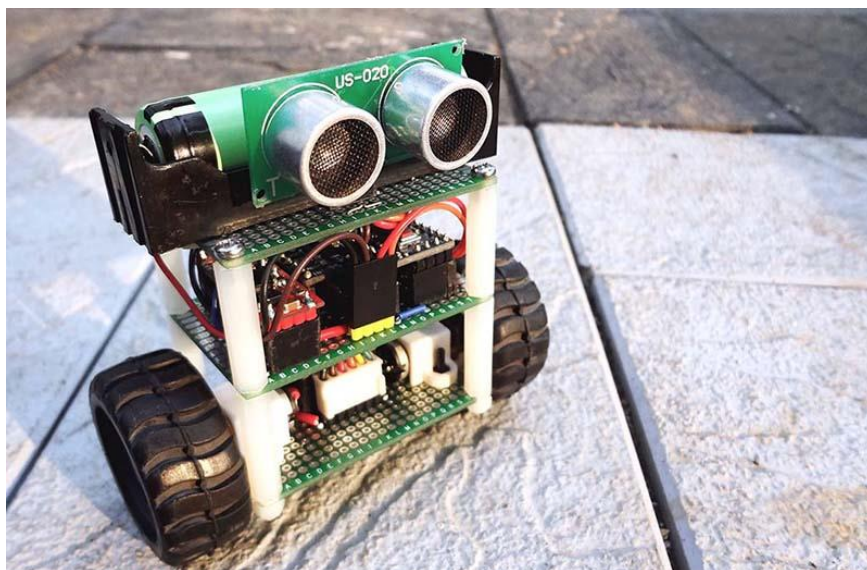


Рисунок 2.6 - Гіроскоп та акселерометр на прикладі

Найефективнішими вважаються гібридні системи, які поєднують переваги різних технологій. Наприклад, комбінація LIDAR і візуальної навігації

(Рис. 2.7) забезпечує і точність, і надійність. Такі рішення особливо корисні на великих складах зі складними логістичними потоками.



Рисунок 2.7 - Об'єднання LIDAR та камери

Вибір конкретної системи залежить від багатьох факторів: розмірів складу, бюджету, необхідної гнучкості маршрутів і планів щодо майбутнього розширення. Найпростіші рішення (як магнітна стрічка) досі популярні через низьку вартість, тоді як прогресивні технології (типу SLAM) стрімко розвиваються і стають доступнішими.

2.3 Основні елементи механічної частини системи

2.3.1 Рама платформи

Рама є основою конструкції та повинна забезпечувати стійкість, жорсткість і довговічність при щоденному використанні. Важливо, щоб вона витримувала значні навантаження (до 50 кг) без деформацій, а також мала можливість модульного монтажу інших елементів: приводів, коліс, контролерів.



Рисунок 2.8 - алюмінієвий профіль

2.4.2 Колісна база

Конструкція колісної бази визначає маневреність, стійкість і прохідність платформи. Для складських умов доцільно використати диференціальну конфігурацію — два ведучі колеса, розміщені симетрично по боках, і одне-два поворотні або фіксовані опорні колеса ззаду чи спереду. Такий варіант забезпечує обертання платформи на місці та точне позиціонування в обмеженому просторі.

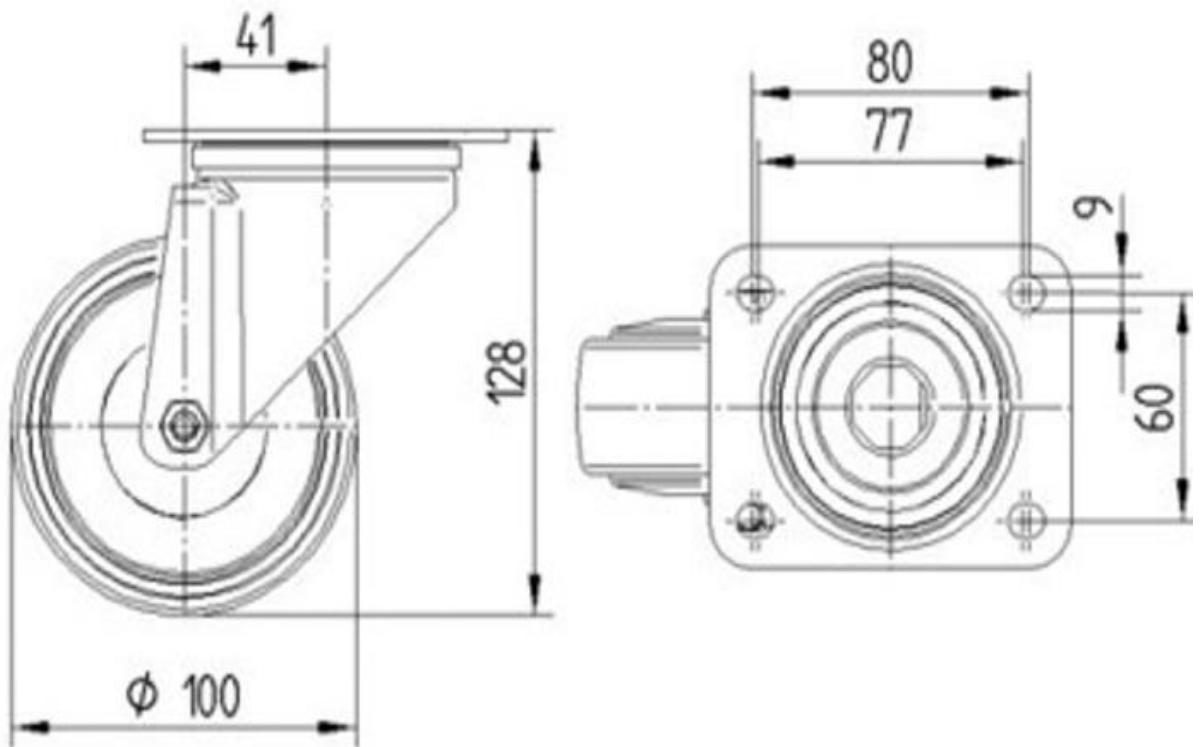


Рисунок 2.9 - колеса з поворотним механізмом

2.4.3 Приводна система

Для забезпечення руху платформи використовуються електродвигуни постійного струму з редукторами, що забезпечують достатній крутний момент і контрольовану швидкість. Управління здійснюється через драйвери двигунів, які підтримують ШІМ-сигнали для регулювання швидкості, а також реверс для зміни напрямку.



Рисунок 2.10 - двигун постійного струму

2.4.4 Кріплення вантажу

Робот має транспортувати невеликі контейнери, коробки або палети. Для цього використовуються:

- механічні фіксатори: затискачі, платформи з бортиками;
- підйомні механізми: наприклад, гвинтові домкрати чи лінійні актуатори для підйому вантажу.

Кріплення повинно бути надійним, адаптивним до різних типів вантажів і забезпечувати швидку фіксацію та відпускання без участі оператора.



Рисунок 2.11 - конвеєрна стрічка в промисловості

2.5 Умови експлуатації робота транспортера

Роботизована платформа буде працювати в типових складських приміщеннях, які мають такі характеристики:

- Поверхня — здебільшого гладка (бетон або наливна підлога), але можливі стики, перепади висоти, забруднення.
- Кліматичні умови - температура в межах +5...+40 °С, відсутність вологи або пилу в критичній кількості.
- Габаритні обмеження - ширина коридорів 1-1,5 м, наявність полиць, колон, вантажних зон.
- Експлуатаційне навантаження - до 100 кг, час роботи в автономному режимі - 4-8 годин.

Платформа повинна бути максимально компактною, енергоефективною та пристосованою до інтенсивної експлуатації.

2.6 Вимоги до механічної частини

1. Надійність - тривала безаварійна робота протягом мінімум 1000 годин.
2. Міцність конструкції - витримування динамічних навантажень і вібрацій.
3. Модульність - можливість заміни окремих вузлів (наприклад, моторів або коліс) без повного демонтажу.
4. Сервісопридатність - простий доступ до технічного обслуговування, мінімум спеціальних інструментів.
5. Інтеграція - можливість встановлення датчиків, камер, джерел живлення, контролерів.

2.7 Опис конструкції транспортера

№	Характеристики	Значення
1	Загальні розміри робота, мм	До 500 x 500
2	Датчики положення	LiDAR TFmini-S або RPLIDAR A1M8
3	Живлення	акумулятор 24 В
4	Максимальна вага перевезення вантажу, кг	До 50
5	Максимальні розміри вантажу, мм	450 x 450
6	Тип приводу	електропривід на бокові колеса
7	Тип підвіски	пружинна
8	Час автономної роботи, год	до 8 (залежно від навантаження)
9	Час заряджання, год	2–4
10	Навігація	SLAM / попередньо задані маршрути
11	Матеріал корпусу	алюмінієвий профіль + пластик

2.8 Висновок до розділу 2

У даному розділі було проведено аналіз актуальності теми впровадження автономних транспортних засобів (АТЗ) у сфері складської логістики та розглянуто основні типи роботів-транспортів, систем навігації й конструктивні особливості механічної частини платформи. Дослідження показало, що використання роботизованих транспортів є важливим елементом модернізації складських приміщень, оскільки вони дозволяють значно підвищити ефективність роботи складу, зменшити витрати на логістику та мінімізувати людський фактор.

Було проаналізовано різновиди складських роботів (AGV, AMR, роботи-маніпулятори, гібридні системи) та сучасні навігаційні технології (SLAM, RFID, магнітні стрічки, візуальна та інерціальна навігація). Встановлено, що найперспективнішими є гібридні системи навігації, які поєднують точність та адаптивність до динамічних умов складу.

Окремо розглянуто конструкцію транспортера, що складається з алюмінієвої рами, електроприводної колісної бази, пружинної підвіски та системи кріплення вантажу. Платформа характеризується високою надійністю, модульністю, енергоефективністю та здатністю працювати в умовах інтенсивної експлуатації. Отримані результати дослідження підкреслюють доцільність впровадження подібних технічних рішень для автоматизації складських процесів і підвищення конкурентоспроможності підприємств у сфері логістики.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МАКЕТУ

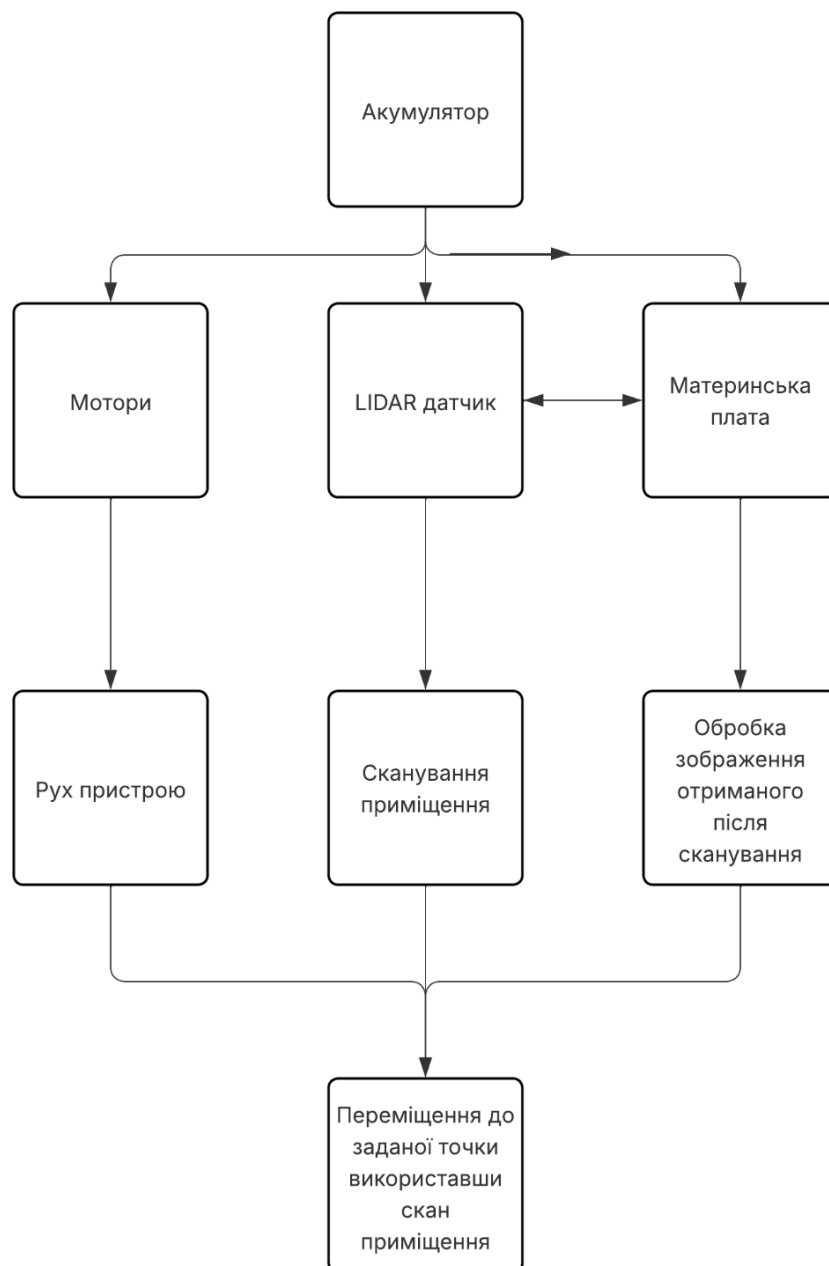
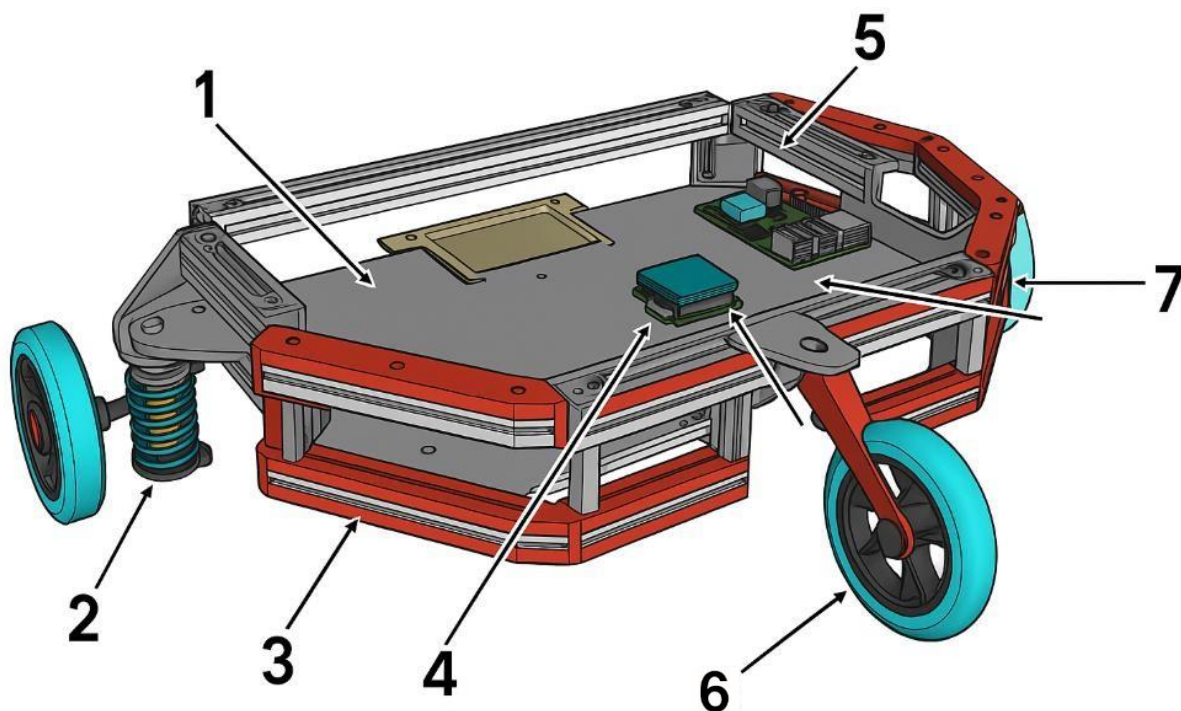


Рисунок 3.1 – схема послідовної роботи робота-транспортера

3.1 Розробка конструкції колісного робота-транспортера

На рисунку 3.2 зображено складуючі і місця розташування компонентів для керування роботом-транспортером



1 - місце для Літійового акумулятора; 2 - Циліндрична пружина; 3 - алюмінієвий профіль; 4 - 360-градусний лазерний лідар;

5 - Розміщення плати; 6 – Колесо; 7 – Двигун; Рисунок 3.2 – кінематична схема транспортера

3.2 Деталі конструкції робота транспортера

Загальна конструкція

Робот-транспортер являє собою автономну мобільну платформу на трьох колесах, призначену для перевезення вантажів у складських або лабораторних умовах. Основна ідея конструкції полягає у поєднанні потужної приводної частини, системи управління на основі одноплатного комп'ютера та інтелектуальної навігації за допомогою лазерного далекоміра.

Приводна частина Двигуни

У якості рушійної сили використано два безколекторних електродвигуни Racerstar 3660-2600KV (рис. 3.1), встановлених безпосередньо на задні колеса. Дані двигуни мають високу частоту обертання (2600 об/В) та значну потужність, що дозволяє платформі впевнено пересуватися з навантаженням до 50 кг. Вони розташовані симетрично на задній осі для забезпечення диференціального керування.



Рисунок 3.1 - безколекторний електродвигун

Підвіска

Для амортизації та плавного руху в конструкцію інтегровані циліндричні пружини $5 \times 32 \times 57,5-7.10$ (рис. 3.2), встановлені на кожному з задніх коліс. Це рішення дозволяє компенсувати нерівності поверхні та зменшує вібрації, що позитивно впливає на стабільність роботи електронних компонентів.



Рисунок 3.2 - циліндрична пружина

Колеса

Для руху використовуються колеса від самоката Deluxe діаметром 120 мм (рис. 3.3). Два таких колеса встановлено ззаду та з'єднано з двигунами, а одне — без приводу — закріплене спереду для стабілізації та підтримки



балансу. Переднє колесо вільно обертається й забезпечує опору конструкції під час поворотів.

Рисунок 3.3 - колесо

Електронна система управління

Обчислювальний модуль

У центрі системи керування знаходиться одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4 Model B (4GB) (рис. 3.4), який відповідає за обробку даних з датчиків, прийняття рішень і керування рухом. Завдяки чотириядерному процесору та достатньому об'єму оперативної пам'яті, ця модель забезпечує

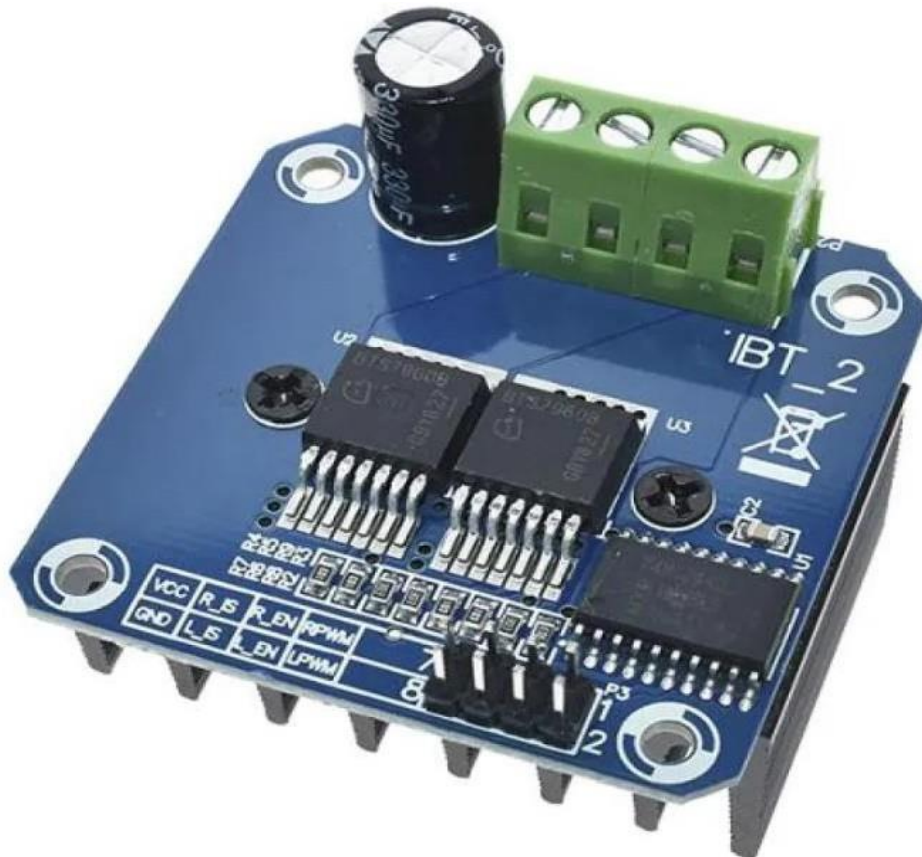


швидку реакцію та підтримку роботи в реальному часі.

Рисунок 3.4 - одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4 Model B

Драйвер двигунів

Для керування потужними безколекторними двигунами застосовується двоканальний драйвер BTS7960 (до 43 А) (рис. 3.5), який підключено до Raspberry Pi через Arduino. Драйвер забезпечує плавне регулювання швидкості та напрямку обертання кожного колеса. Arduino виконує роль проміжного мікроконтролера, який забезпечує ПД-регулювання та інтерфейс з



низькорівневими сигналами.

Рисунок 3.5 - двоканальний драйвер BTS7960

Живлення

Живлення всієї системи забезпечує літєвий акумулятор на 24 В, 10 А·год (рис. 3.6), який підключений до двигунів та електронних модулів через стабілізатори напруги. Заряду вистачає на кілька годин активної роботи, залежно від навантаження та режиму експлуатації.



Рисунок – 3.6 - літєвий акумулятор

Система навігації

Лідар

Для орієнтації у просторі застосовується лазерний далекомір типу LiDAR TFmini-S або RPLIDAR A1M8 (рис. 3.7). Обидва варіанти підтримують зчитування відстані до перешкод у радіусі 360°, що дозволяє платформі формувати карту навколишнього середовища. Лідар кріпиться у верхній частині конструкції для отримання максимального огляду.



Рисунок – 3.7 - RPLIDAR A1M8 360°

Корпус і монтаж

Усі елементи платформи змонтовані на жорсткій алюмінієвій рамі (рис. 3.8), що має вирізи для кріплення електроніки, акумулятора, двигунів і амортизаторів. Конструкція передбачає можливість швидкого демонтажу окремих частин для ремонту або модернізації. Додатково передбачено пластиковий або акриловий захист елементів живлення та електроніки.

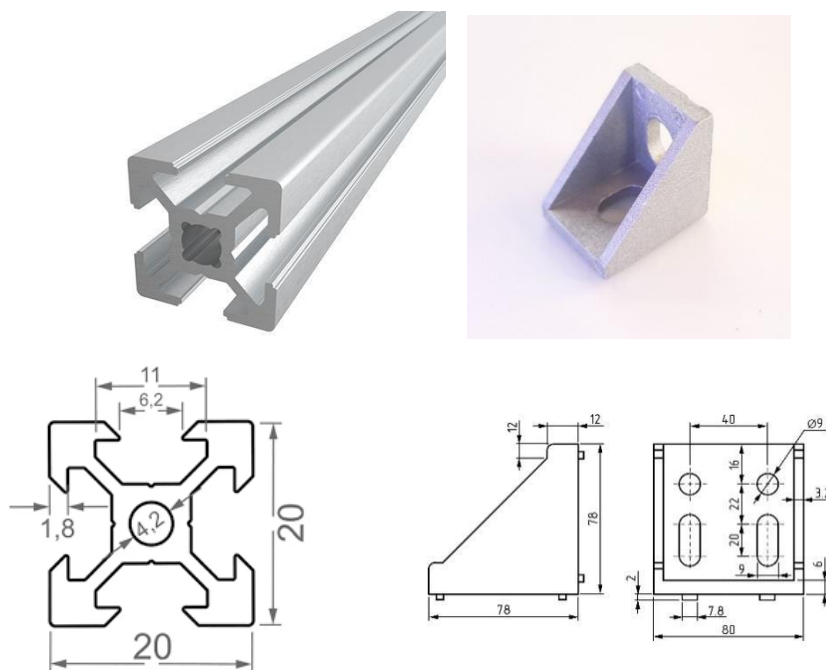


Рисунок 3.8 – приклад рами з алюмінію

3.3 Висновок до розділу 3

У даному розділі було представлено розробку конструкції макету роботизованого транспортера для автоматизації складських приміщень. В результаті виконано конструкторське опрацювання ключових вузлів та елементів платформи, визначено їхнє призначення, склад та основні характеристики.

Розглянуто конструктивні рішення колісної бази, підвіски та рами, які забезпечують достатню міцність, стійкість та маневреність платформи в умовах складських приміщень. Обґрунтовано вибір електродвигунів, елементів підвіски, коліс, акумуляторної батареї, а також системи управління на основі Raspberry Pi та Arduino з використанням драйверів BTS7960. Описано інтеграцію лазерного лідару для реалізації навігації та формування карти простору.

Розроблена конструкція є модульною, що полегшує технічне обслуговування та модернізацію, а також відповідає вимогам щодо компактності, енергоефективності й надійності для роботи в умовах складу. Запропоновані технічні рішення створюють основу для подальшого вдосконалення системи та впровадження у практичну експлуатацію.

4 Аналіз САУ для крокового двигуна Nema14

Згідно із технічним завданням заносимо початкові дані до таблиці 4.1.

Найменування	Позначення	Значення
Коефіцієнт підсилення ПП	$K_{ПП}$	500
Коефіцієнт підсилення драйвера	K_D	2.0
Стала часу драйвера	T_D	0.005 с
Коефіцієнт моменту двигуна	K_M	$0.0111 \text{ Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{А}}$
Стала електромеханічної системи	$T_e = \frac{L}{R}$	0.000567 с
Момент інерції ротора (оцінено)	J	$\approx 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Стала часу позиційного датчика	$T_{дат}$	0.02 с
Крок двигуна (без мікрошагу)	θ_k	1.8°

Таблиця 4.1 – Значення параметрів САУ

– K_M обчислено з номінального моменту при номінальному струмі:

$$K_M = \frac{0.5 \cdot 10^{-2}}{0.45} \approx 0.111 \text{ Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{А}}$$

Найменування	Позначення	Значення
Максимальний час встановлення	t_c	0.5 с
Допустиме перерегулювання	σ	$\leq 10 \%$
Статична похибка	$\varepsilon_{ст}$	$\leq 1 \%$

До табл. 4.2 заносимо вимоги, яким повинна задовольняти вихідна САУ.

Таблиця 4.2 – Вимоги, щодо якості процесу управління

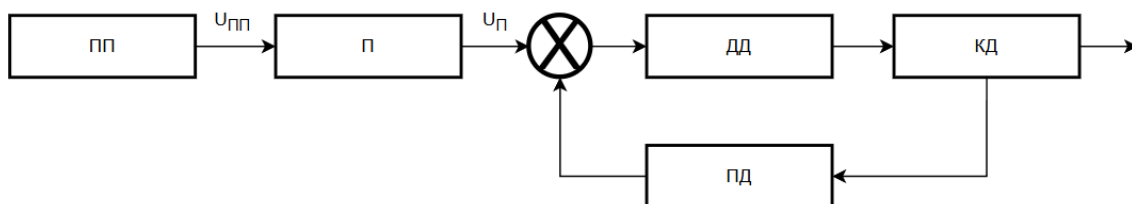


Рисунок 4.1 – Функціональна схема САУ

Лінійна неперервна САУ позиціонування крокового двигуна (КД) містить: КД як об'єкт регулювання, плату керування (ПП), підсилювач (П), позиційний датчик (ПД) і драйвер двигуна (ДД)

Лінійна неперервна САУ позиціонування крокового двигуна NEMA14 містить: кроковий двигун 36NM2004A4 як об'єкт регулювання, позиційний датчик (енкодер) у ланцюзі негативного зворотного зв'язку, елемент порівняння, підсилювач керування (П), драйвер двигуна (ДД) і плату керування як задавальний пристрій.

Формула елемента порівняння:

$$e(t) = \theta_{\text{зад}}(t) - \theta_{\text{вих}}(t) \quad (3.1)$$

де

$e(t)$ – сигнал помилки (різниця між бажаним і фактичним

положенням двигуна),

$\theta_{зад}(t)$ – задане значення кута повороту двигуна,

$\theta_{вих}(t)$ – фактичне значення кута повороту двигуна.

Формула підсилювача ПП:

$$U_{ПП}(s) = K_{ПП} \cdot E(s) \quad (3.2)$$

Де

$U_{ПП}(s)$ – вихідна напруга плати керування,

$K_{ПП}$ – коефіцієнт підсилення ПП,

$E(s)$ – сигнал помилки в образі Лапласа

Передавальна функція драйвера:

$$W_D(s) = \frac{K_D}{T_D s + 1} \quad (3.3)$$

Де

$W_D(s)$ – передавальна функція драйвера,

K_D – коефіцієнт підсилення драйвера,

$T_D s$ – стала часу драйвера

Передавальна функція крокового двигуна:

$$W_{двиг}(s) = \frac{K_M}{J s^2 + T_e s + K_M} \quad (3.4)$$

Де

$W_{двиг}(s)$ – передавальна функція виконавчого двигуна,

K_M – коефіцієнт моменту двигуна,

J – момент інерції ротора,

T_e – електрична стала часу двигуна,

s – комплексна змінна Лапласа

Формула позиційного датчика:

$$W_{дат}(s) = \frac{1}{T_{дат} s + 1} \quad (3.5)$$

Де

$W_{\text{дат}}(s)$ – передавальна функція позиційного датчика,

$T_{\text{дат}}$ – стала часу датчика,

s – комплексна змінна Лапласа

Передавальна функція всієї замкненої системи:

$$W_{\text{САУ}}(s) = \frac{K_{\text{ПП}} \cdot K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{М}}}{(T_{\text{Д}}s + 1)(Js^2 + T_e s + K_{\text{М}})(T_{\text{дат}}s + 1)} \quad (3.6)$$

Де

$W_{\text{САУ}}(s)$ – передавальна функція всієї системи автоматичного керування

$K_{\text{ПП}}$ – коефіцієнт підсилення ПП,

$K_{\text{Д}}$ – коефіцієнт підсилення драйвера,

$K_{\text{М}}$ – коефіцієнт моменту двигуна,

$T_{\text{Д}}s$ – стала часу драйвера,

J – момент інерції ротора,

T_e – електрична стала часу двигуна,

$T_{\text{дат}}$ – стала часу датчика,

s – комплексна змінна Лапласа

$$\begin{aligned} W_{\text{САУ}}(s) &= \frac{K_{\text{ПП}} \cdot K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{М}}}{(T_{\text{Д}}s + 1)(Js^2 + T_e s + K_{\text{М}})(T_{\text{дат}}s + 1)} \\ &= \frac{K_{\text{ПП}} \cdot K_{\text{Д}} \cdot 0.0111}{1.0 \cdot 10^{-7}s^2 + 5.66 \cdot 10^{-4}s + 0.0111} \end{aligned}$$

При $K_{\text{ПП}} = 100$,

$K_{\text{Д}} = 2$

Маємо:

$$W_{\text{САУ}}(s) = \frac{2.22}{1.0 \cdot 10^{-7}s^2 + 5.66 \cdot 10^{-4}s + 0.0111}$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

При розробці та експлуатації роботизованої платформи-транспортера важливо забезпечити дотримання вимог охорони праці з метою збереження здоров'я працівників та запобігання виникненню аварійних ситуацій. Проектування та використання роботизованих систем передбачає комплекс заходів для зниження виробничих ризиків.

Основні потенційні небезпеки під час роботи з платформою:

ураження електричним струмом через використання електродвигунів та систем живлення;

механічні травми при обслуговуванні рухомих частин (коліс, приводів, підйомних механізмів);

можливість наїзду платформи на працівників у разі помилок навігації або програмного забезпечення;

виникнення пожеж через коротке замикання або перегрів елементів живлення.

Для запобігання цим небезпекам передбачаються такі заходи:

застосування надійного захисту рухомих частин (екрани, кожухи);

обладнання платформи кнопками аварійної зупинки з легким доступом;

використання ізольованих провідників та наявність захисту від короткого замикання;

проведення інструктажів з охорони праці для всіх операторів і обслуговуючого персоналу;

оснащення платформи світловою та звуковою сигналізацією під час руху;

регулярне технічне обслуговування з перевіркою справності електроніки, приводів і кріплень;

використання засобів індивідуального захисту (рукавички, окуляри) під час обслуговування;

дотримання вимог пожежної безпеки під час заряджання акумуляторів (забезпечення вентиляції, наявність вогнегасників).

Усі роботи виконуються відповідно до нормативних документів у сфері охорони праці, зокрема ДСТУ з електробезпеки, механічної безпеки та пожежної безпеки, а також рекомендацій виробників обладнання.

Реалізація вищезазначених заходів дозволить мінімізувати професійні ризики та забезпечити безпечні умови праці під час розробки та експлуатації роботизованої платформи-транспортера.

6 Розроблення макету робота

У результаті виконаної роботи було розроблено механічну частину автономної мобільної платформи-транспортера для автоматизації складських процесів. Створена конструкція поєднує в собі компактність, модульність і високу надійність. На основі сучасних технологій 3D-моделювання та CAD-системи SketchUp було змодельовано макет платформи, який включає:

- Жорсткий алюмінієвий каркас, зібраний із профілів стандарту 30×30 мм для забезпечення міцності та зручності монтажу;
- Привідну систему на основі двох безколекторних електродвигунів з редукторами, що забезпечують високу силу тяги для перевезення вантажів до

- Підвіску з пружинними амортизаторами, яка дозволяє долати незначні нерівності поверхні та знижує вібрації;
- Систему навігації з використанням лазерного лідара для формування карти простору та забезпечення автономної роботи;
- Енергоефективне живлення на базі літієвої батареї 24 В, 10 А·год, що дозволяє платформі працювати кілька годин в автономному режимі;
- Електронну систему керування, яка базується на Raspberry Pi з додатковим контролем через Arduino для управління двигунами та обробки даних сенсорів.

Модель передбачає використання диференціального приводу, що забезпечує розворот на місці та високу маневреність у вузьких проходах складських приміщень. Конструкція розроблена з урахуванням можливості швидкого демонтажу вузлів для обслуговування та модернізації.

Розроблена роботизована платформа підтвердила доцільність застосування інноваційних рішень для складської логістики та продемонструвала перспективи подальшого розвитку у напрямку підвищення автономності та функціональної гнучкості систем. Виконана робота дозволила закріпити теоретичні знання з проектування мехатронних систем, розвинути навички роботи з САПР та 3D-моделюванням, а також здобути практичний досвід створення механічних конструкцій робототехнічних пристроїв.

У результаті виконаної роботи було розроблено механічну частину автономної мобільної платформи-транспортера для автоматизації складських процесів. Створена конструкція поєднує в собі компактність, модульність і високу надійність. На основі сучасних технологій 3D-моделювання та CAD-системи SketchUp було змодельовано макет платформи, який включає:

- Жорсткий алюмінієвий каркас, зібраний із профілів стандарту 30×30 мм для забезпечення міцності та зручності монтажу;

- Привідну систему на основі двох безколекторних електродвигунів з редукторами, що забезпечують високу силу тяги для перевезення вантажів до 50 кг;
- Підвіску з пружинними амортизаторами, яка дозволяє долати незначні нерівності поверхні та знижує вібрації;
- Систему навігації з використанням лазерного лідара для формування карти простору та забезпечення автономної роботи

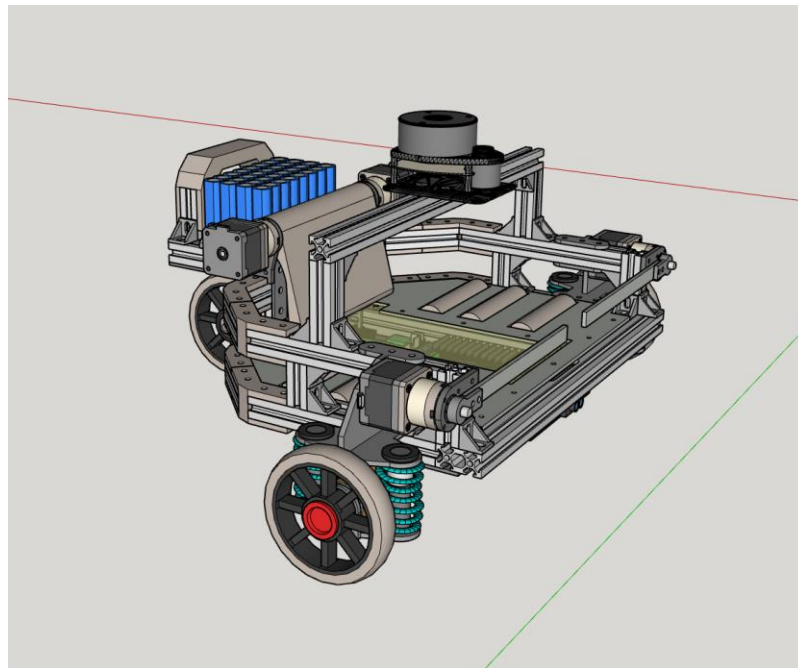


Рисунок 6.1 – вид під кутом

- Енергоефективне живлення на базі літєвої батареї 24 В, 10 А·год, що дозволяє платформі працювати кілька годин в автономному режимі;
- Електронну систему керування, яка базується на Raspberry Pi з додатковим контролем через Arduino для управління двигунами та обробки даних сенсорів.

Модель передбачає використання диференціального приводу, що забезпечує розворот на місці та високу маневреність у вузьких проходах складських приміщень. Конструкція розроблена з урахуванням можливості швидкого демонтажу вузлів для обслуговування та модернізації.

Розроблена роботизована платформа підтвердила доцільність застосування інноваційних рішень для складської логістики та продемонструвала перспективи подальшого розвитку у напрямку підвищення автономності та функціональної гнучкості систем. Виконана робота дозволила закріпити теоретичні знання з проектування мехатронних систем, розвинути навички роботи з САПР та 3D-моделюванням, а також здобути практичний досвід створення механічних конструкцій робототехнічних пристроїв.

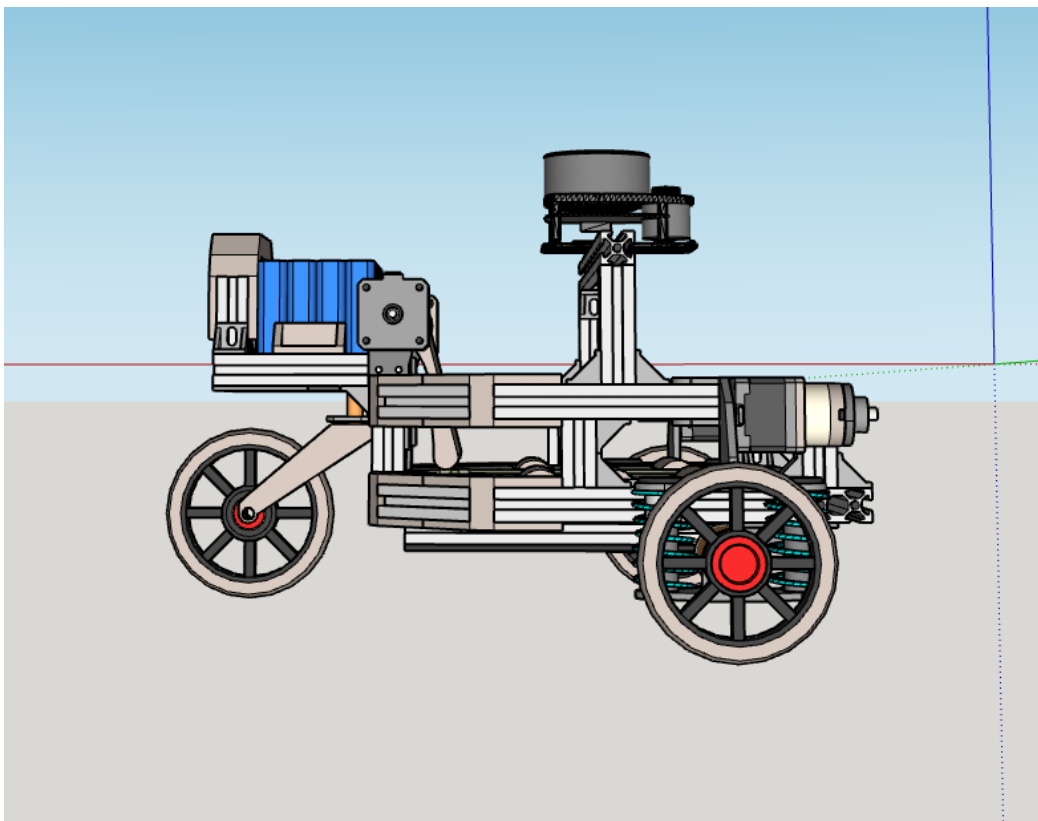


Рисунок 6.2 – вид збоку

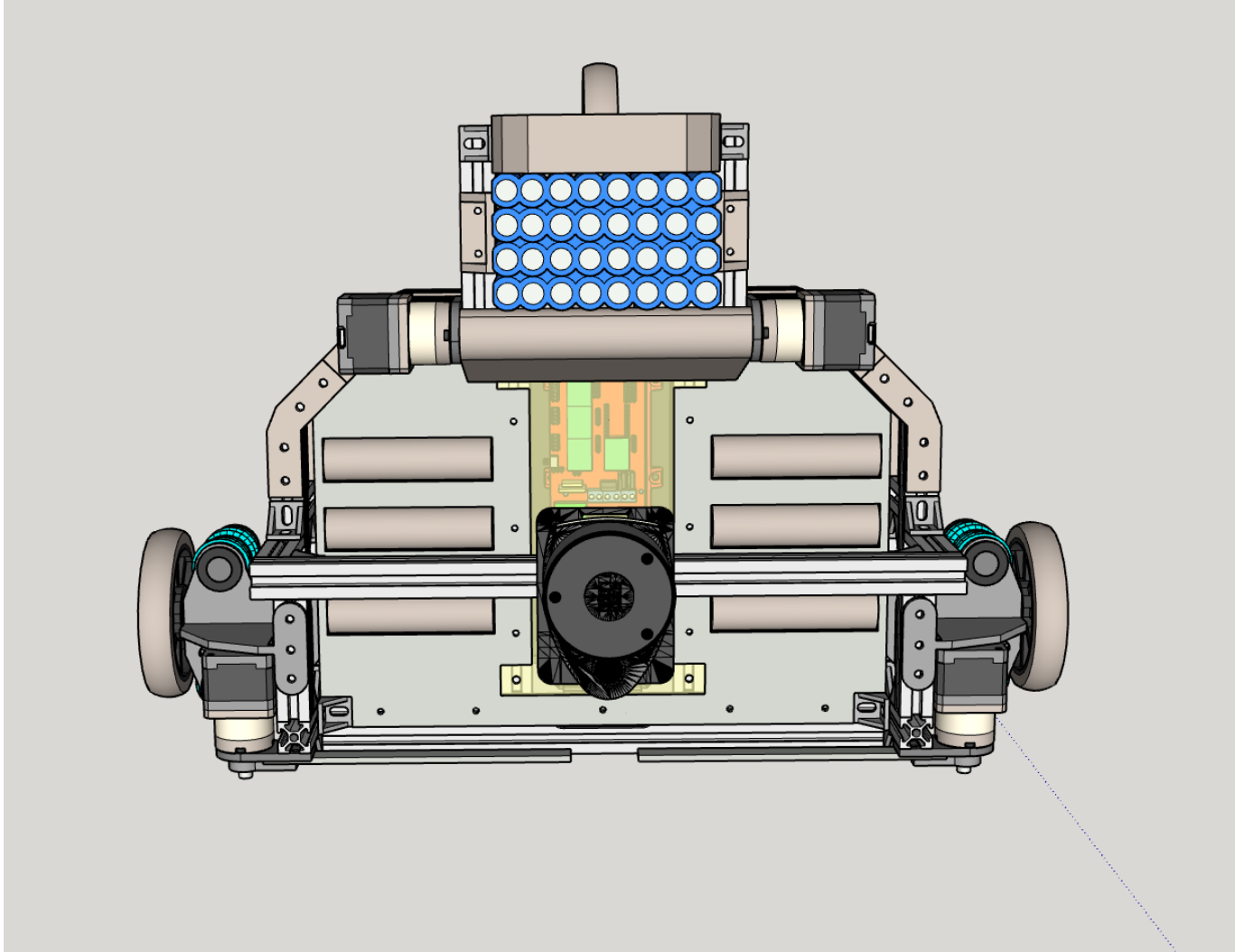


Рисунок 6.3 – вид сверху

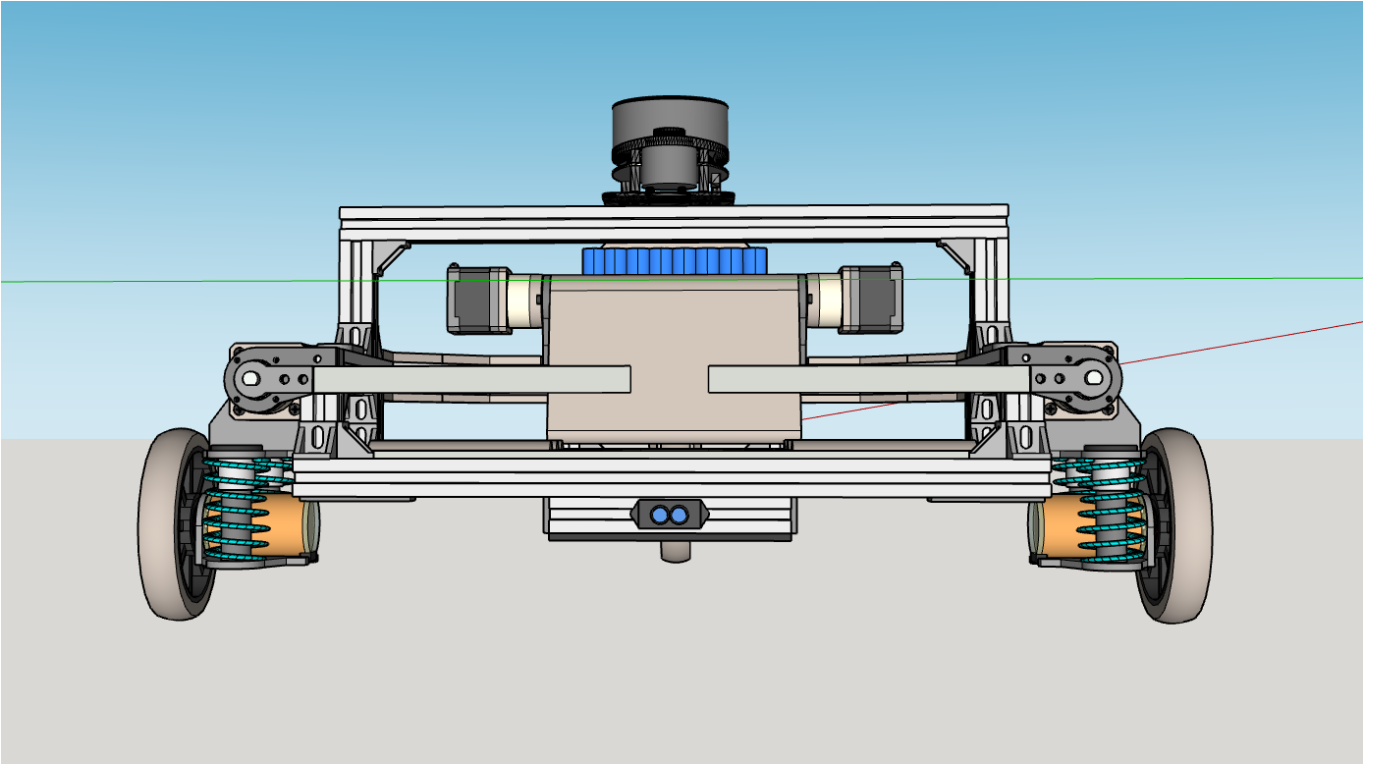


Рисунок 6.4 – вид спереду

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було проведено комплексне дослідження сучасних рішень у сфері автоматизації складських процесів, а також розроблено власну конструкцію роботизованої мобільної платформи-транспортера. Особливу увагу приділено аналізу предметної області, технічним вимогам до конструкції, вибору матеріалів, системи приводу, підвіски та навігації. Розроблена конструкція забезпечує компактність, надійність, маневреність та енергоефективність, що є ключовими параметрами для використання в умовах складських приміщень.

Механічна частина платформи базується на модульній алюмінієвій рамі та диференціальній колісній базі з безколекторними двигунами, що дозволяє досягти високої точності позиціонування та адаптивності до складських умов. Система управління та навігації реалізована із використанням сучасних сенсорів і одноплатного комп'ютера, що забезпечує інтеграцію з іншими складськими системами.

Виконана робота дозволила закріпити теоретичні знання та отримати практичний досвід у проектуванні, моделюванні та розробці мехатронних систем для автоматизації логістичних процесів. Результати дослідження можуть бути використані для подальшого вдосконалення конструкції та впровадження роботизованих платформ у виробничо-складські комплекси.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В.Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. 66 с.
3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.
4. Artem Shevchenko,, A generalised mathematical model of electricity consumption for electric drives in smart cities applications/ Artem Shevchenko, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov // Sustainable smart cities and communities: business and innovation solutions 2025: Proceedings of I st I International Conference, Kharkiv, April 21, 2025: Theses of Reports. – 2025. – pp. 62-64.
5. Харківський національний університет радіоелектроніки [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www.nure.ua) / URL: <https://nure.ua/department/kafedra-kompyuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>.
6. Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) [Електронний ресурс] /– Режим доступу: [www](http://www.tapr.nure.ua) / URL: <https://tapr.nure.ua>.

7. Kolupaieva, I., Nevliudov, I., Romashov, Y., Tiesheva, L., & Vértesy, L. (2024). Intelligent Automated Control in Accordance with Resource Efficiency Criteria toward

Circular Economy Transition. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1089 LNNS, pp. 133–141, https://doi.org/10.1007/978-3-031-67195-1_17.

8. Nevliudov, I., Omarov, M., Romashov, Y., Muradova, V., & Vzhesnievskiy, M. (2023). One approach to find optimal controls for discrete dynamic systems with numerical methods application. *Advanced Mathematical Models and Applications*, 8 (3), pp. 548–564.

9. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.

10. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.

11. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.

12. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.

13. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT

Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 8.

14. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.

15. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gurin, D., & Alkhalaileh, A. (2024). Data Fusion Research for Collaborative Robots-Manipulators within Industry 5.0. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 1(4), 125-137.

16. Yevsieiev, V., Alkhalaileh, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.