

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньо-професійної програми

«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»

на тему: «Автоматизована система керування роботом сортувальником»

Здобувача освіти групи СУ-01

Індіка М.К.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Михайло Індик

Керівник зав. кафедри КСУ, к.т.н. Петро ЛЕОНТЬЄВ

(підпис)

Консультант _____

(підпис)

Суми – 2024

Ном. поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ екз.	Примітки
			<u>Документація загальна</u>			
			<u>Застосована</u>			
1			Завдання кафедри	2		
			<u>Новорозроблена</u>			
2		ТЗ	Технічне завдання	4		
3			Анотація	2		
4	A4	СУ-01.6.151.01.ПЗ	Пояснювальна записка	65		
			<u>Документація конструкторська</u>			
			<u>Новорозроблена</u>			
5	A3	СУ-01.6.151.01.ДП.А2	Функціональна схема автоматизації	1		
6	A3	СУ-01.6.151.01.ДП.Е3	Схема електрична принципова	5		

					<i>СУ-01.6.151.01.ДП</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Відомість проекту</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					1	1
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра здобувачу вищої освіти

Індику Михайлу Костянтиновичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система керування роботом сортувальником затверджена наказом ректора СумДУ № 0312-VI від " 29 " березня 2024 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 31 " травня 2024 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові роботи, статті, публікації, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалом про подібні системи.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): конструктивно – технологічна характеристика об'єкту автоматизації, опис і способи керування роботом сортувальником, опис контурів контролю і керування, розробка функціональної схеми автоматизації, вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації, вибір МК та інтерфейсів, розробка принципової електричної схеми, економічний аналіз та розрахунок терміну окупності проекту.

5. Перелік графічних матеріалів: Функціональна схема автоматизації, Принципова електрична схема, 28 рисунків, 4 таблиці.

6. Календарний план виконання роботи:

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір літератури і першоджерел та аналіз подібних існуючих систем.	05.10.2023 – 01.03.2024
2	Конструктивно – технологічний аналіз об'єкту керування. Задачі автоматизації. Аналіз існуючих технічних рішень.	02.03.2024 – 20.03.2024
3	Опис контурів контролю та керування.	21.03.2024 – 28.03.2024
4	Розробка схем автоматизації.	29.03.2023 – 29.04.2024
5	Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації. Вибір МК та інтерфейсів.	30.04.2024 – 03.05.2024
6	Розробка електричної принципової схеми.	04.05.2024 – 21.05.2024
7	Розробка економічної частини проекту.	22.05.2024 – 28.05.2024
8	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації.	29.05.2024 – 31.05.2024

7. Дата видачі завдання " 15 " лютого 2024 р.

Керівник проекту:

_____ зав. кафедри КСУ, к.т.н.

(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

Петро ЛЕОНТЬСВ

(ім'я та прізвище)

Здобувач:

студент гр. СУ-01

(шифр групи)

(підпис)

Михайло Індик

(ім'я та прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

На проектування автоматизованої системи керування роботом
сортувальником

Розробник:

Студент гр. СУ-01

Індик М.К.

Погоджено:

зав. кафедри КСУ, к.т.н.

Леонтєв П.В.

1. *Назва і галузь застосування:* Автоматизована система керування роботом сортувальником; логістика і управління складськими приміщеннями.

2. *Підстави для проектування:* Наказ ректора Сумського державного університету № 0312-VI від " 29 " березня 2024 р.

3. *Мета і призначення проекту:* Розробка автоматизованої системи управління складським роботом, яка забезпечить високу ефективність, точність і безпеку виконання складських операцій. Проект спрямований на впровадження сучасних технологій автоматизації для оптимізації процесів зберігання і переміщення товарів, що дозволить знизити витрати на ручну працю, підвищити продуктивність і забезпечити високий рівень безпеки на складі.

4. *Джерела розробки:* Результати аналізу відомих систем керування роботом сортувальником:

U.S.D. Patent 974438S1, Warehouse Robot.

U.S. Patent 20170158430A1, Automatic warehouse system.

E.A. Patent 201692385A1, Робот для сортування складських контейнерів.

Filipova, O. Yu. Robot in warehouses: automation of warehouse work / O. Yu. Filipova, T. V. Gerasymchuk // Питання сучасної модернізації науки та освіти : зб. наук. ст. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ХНАДУ, 2023. – С. 116–119.

5. *Загальний опис об'єкта автоматизації:* Об'єктом автоматизації є складський робот, призначений для автоматизації процесів зберігання, сортування і переміщення товарів на складі.

Режим роботи за графіком, з щоденними технічними роботами та регулярним плановим технічним обслуговуванням. Передбачає автоматичний режим керування системою без операторного втручання.

6. *Основні частини системи:* Основними частинами автоматизованої системи керування роботом сортувальником є:

- *Механічна частина:*

1) Роботизована платформа з кроковими двигунами для точного позиціонування;

2) Шасі та рама, що забезпечують стабільність і міцність конструкції.

- *Електронна частина:*

1) Крокові двигуни з енкодерами для точного контролю руху;

2) Драйвери крокових двигунів для керування рухом;

3) Плата мікроконтролера для обробки сигналів і управління компонентами робота;

4) Одноплатний комп'ютер для високорівневого керування і обробки даних;

- 5) Давачі перешкод для запобігання зіткнень і забезпечення безпеки;
- 6) Акселерометр для вимірювання прискорення і орієнтації робота в просторі;
- 7) Камера для візуального розпізнавання об'єктів і контролю за процесом.

7. Умови експлуатації системи керування:

Робочий діапазон температур: від -10°C до +40°C; Зберігання: від -20°C до +60°C; Забезпечення охолодження та вентиляції для запобігання перегріву компонентів, особливо мікроконтролерів та одноплатного комп'ютера; Відносна вологість повітря: 20% - 80% без конденсації; Захист електронних компонентів від прямого впливу вологи та конденсації; Стабільне електроживлення з захистом від перепадів напруги та електричних перешкод; Стійкість до вібрацій та механічних ударів у межах, визначених виробником компонентів; Захист від фізичних пошкоджень та зносу; Регламентне технічне обслуговування для запобігання зносу механічних частин не частіше ніж один раз на місяць силами користувача; Регламентне технічне обслуговування фахівцями постачальника не частіше ніж один раз на квартал; Рекомендація використовувати систему в чистих та добре вентильованих приміщеннях; Інтеграція системи аварійного відключення у разі виявлення критичних помилок або збоїв; Стабільне підключення до мережі Wi-Fi для отримання і відправлення даних; Забезпечення сумісності з існуючими складськими системами управління; Система повинна працювати в умовах, де виключений вплив агресивних хімічних речовин та інших шкідливих факторів, які можуть вплинути на роботу електронних компонентів та механічних частин.

8. Функціональні та технічні вимоги: Система автоматизації складського робота повинна забезпечити наступні вимоги:

- Термін служби обладнання – не менше 5 років;
- Напрацювання до відмови – не менше 20000 годин;
- Завдання та контроль швидкості руху робота у діапазоні 0-2 м/с з точністю до 1%;
- Завдання та контроль вантажопідйомності у діапазоні до 50 кг з точністю до 0,5 кг;
- Клас захисту елементів системи не нижче IP54;
- Безпека робота – аварійна зупинка згідно з ISO 13850;
- Система навігації – забезпечення точного позиціонування з точністю до 1 см;
- Автономність роботи – безперервна робота протягом 10 годин на одному заряді акумулятора;
- Мережевий інтерфейс – підтримка Wi-Fi для отримання та передачі даних з серверу;
- Можливість дистанційного керування – через мережеві інтерфейси;

- Обхід перешкод – інтегровані датчики для виявлення та обходу перешкод на шляху руху;
- Робота в умовах – температура від -10°C до +40°C, вологість від 20% до 80% без конденсації;
- Сумісність з існуючими складськими системами – інтеграція з системами управління та обліку складу;

9. Стадії та етапи проектування:

№ етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір літератури і першоджерел та аналіз подібних існуючих систем.	05.10.2023 – 01.03.2024
2	Конструктивно – технологічний аналіз об'єкту керування. Задачі автоматизації. Аналіз існуючих технічних рішень.	02.03.2024 – 20.03.2024
3	Опис контурів контролю та керування.	21.03.2024 – 28.03.2024
4	Розробка схем автоматизації.	29.03.2023 – 29.04.2024
5	Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації. Вибір МК та інтерфейсів.	30.04.2024 – 03.05.2024
6	Розробка електричної принципової схеми.	04.05.2024 – 21.05.2024
7	Розробка економічної частини проекту.	22.05.2024 – 28.05.2024
8	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації.	29.05.2024 – 31.05.2024

10. Додатки:

Додаток А. СУ-01.6.151.01.ДП.А2 Функціональна схема автоматизації системи керування роботом сортувальником.

Додаток Б. СУ-01.6.151.01.ДП.Е3 Електрична принципова схема системи керування роботом сортувальником.

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Автоматизована система керування роботом сортувальником.

Автор: Індик Михайло Костянтинович; Сумський державний університет; 4 курс; Суми, 2024 р.

Керівник: Леонтєв Петро Володимирович; завідувач кафедри КСУ; кандидат технічних наук.

Робота містить вступ, п'ять розділів та висновки в основному тексті, загальним обсягом 65 сторінок, 28 рисунків, 27 джерел інформації.

Даний дипломний проект спрямований на створення і опис системи керування складським роботом для автоматизації складських процесів. Актуальність цієї теми обумовлена кількома основними причинами швидкого розвитку автоматизації в логістичній індустрії. По-перше, зростаюча потреба у підвищенні ефективності та швидкості обробки вантажів у великих складах і логістичних центрах. По-друге, необхідність зниження витрат на ручну працю і підвищення точності та безпеки виконання складських операцій.

У проекті розглянуті завдання, видані на проектування. У першому розділі представлено конструктивно-технологічний аналіз об'єкту керування – складського робота. Другий розділ присвячено опису контурів контролю та керування роботом. Третій розділ присвячено вибору та обґрунтуванню засобів автоматизації. У четвертому розділі розповідається про вибір мікроконтролерів та інтерфейсів. У п'ятому розділі описано розробку економічної частини проекту.

В ході проекту була розроблена система керування складським роботом, призначена для:

- підвищення надійності системи керування роботом;
- скорочення часу на обробку та переміщення товарів;
- забезпечення високої точності та швидкості переміщення вантажів (у діапазоні 0-2 м/с з точністю до 1%);

- забезпечення вантажопідйомності робота до 50 кг з точністю до 0,5 кг;
- автономної роботи протягом 10 годин на одному заряді акумулятора;
- сумісності з існуючими складськими системами для інтеграції з системами управління та обліку складу.
- підвищення безпеки складських операцій завдяки використанню сучасних датчиків та алгоритмів та ін.

Ключові слова: складський робот, автоматизація, система керування, логістика, вантажопідйомність, мікроконтролер, автономність, навігація, точність, інтеграція, Wi-Fi, безпека.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК
СЕКЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

«Автоматизована система керування роботом сортувальником»

Керівник проекту:

к.т.н., зав. кафедри КСУ

Леонт'єв П.В.

Здобувач:

Студент гр. СУ-01

Індик М.К.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ.....	6
1.1 Існуючі рішення. Огляд поточних ринкових рішень.....	6
1.2 Вимоги та специфікації системи.....	10
1.3 Метрики продуктивності та порівняльні характеристики	12
1.4 Механічні елементи дизайну.....	14
1.5 Основні технічні виклики при розробці стелажного робота.....	15
1.6 Запропоновані рішення та методології	16
РОЗДІЛ 2. ОПИС КОНТУРІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ.....	18
2.1 Структурна схема архітектури управління.....	21
2.2 Типи використовуваних давачів. Розташування давачів та обробка даних	21
2.3 Опис приводів. Алгоритми керування для точного руху.....	24
2.4 Збір та обробка даних у реальному часі.....	25
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	29
3.1 Критерії вибору засобів автоматизації.....	29
3.2 Порівняння різних технологій автоматизації.	31
3.3 Детальний опис вибраних засобів. Обґрунтування їх вибору на основі вимог проекту	32
3.4 Розгляд сумісності та масштабованості	42
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ МК ТА ІНТЕРФЕЙСІВ	44
4.1 Ключові фактори при виборі мікроконтролерів (МК).....	44
4.2 Огляд різних варіантів МК	46
4.3 Детальні технічні характеристики обраного МК. Переваги та сумісність з проектом ..	48
4.4 Комунікаційні протоколи та мережеві інтерфейси. Опис технічного процесу та алгоритму роботи	51
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	57
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63
Додаток А.....	66
Додаток Б.....	67

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Листів
Розроб.		Індик М. К.						
Перевір.		Леонтьєв П. В.					2	66
Реценз.						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
Н. Контр.								
Затвердив		Петро ЛЕОНТЬЄВ						

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ЕМІ – електромагнітні імпульси

МК – мікроконтролер

ОПК – одноплатний комп'ютер (міні-комп'ютер)

ОС – операційна система

ПЛК (PLC) – програмований логічний контролер

ЦАП – цифрово-аналоговий перетворювач

WMS – система автоматизованого складу

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					<i>3</i>	<i>65</i>
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

ВСТУП

У сучасному швидкозмінному світі логістики та управління ланцюжком поставок використання автоматизації стає надзвичайно важливим для складів, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними. Цей вступ ставить мету розумінню значення автоматизації складських приміщень, зосереджуючись на вирішальній ролі роботи у покращенні ефективності та безпеки в цих середовищах.

Робота в складських приміщеннях вимагає швидкої і точної обробки товару персоналом. За статистикою, деякі склади здатні обробляти більше ніж 10 000 одиниць товарів за день, і працівники в середньому долають від 12 до 20 кілометрів між полицями під час однієї зміни. В умовах такого високого темпу і фізичного навантаження, виконання необхідних вимог стає надзвичайно складним.

Постійне пересування між полицями, пошук потрібних товарів, їхнє пакування та переміщення до зон відправки потребує не тільки фізичної витривалості, але й високого рівня концентрації та координації дій. Людський фактор, зокрема втома та помилки, може значно впливати на ефективність роботи складу, призводячи до затримок, неточностей у замовленнях та навіть травм серед працівників.

Для мінімізації цих ризиків та підвищення ефективності, компанії активно впроваджують автоматизацію своїх складських приміщень за допомогою роботів. [1] Автоматизовані системи здатні працювати цілодобово без перерв, що значно підвищує продуктивність складу. Роботи можуть швидко і точно виконувати різноманітні завдання: від сортування та пакування товарів до їхнього переміщення між полицями та зоною відправки.

Використання роботів також дозволяє знизити витрати на оплату праці та зменшити ймовірність людських помилок. Крім того, автоматизація

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					4	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

підвищує безпеку на робочому місці, оскільки роботи можуть виконувати важкі та небезпечні завдання, зменшуючи ризик травмування працівників.

Отже, автоматизація складських приміщень є ключовим фактором для досягнення високої ефективності та надійності в обробці товарів, що дозволяє компаніям залишатися конкурентоспроможними на сучасному ринку. [2]

Мета роботи: Полягає в створенні більш ефективного, безпечного і економічного складського процесу, що дозволяє компаніям підвищувати свою конкурентоспроможність і задовольняти зростаючі вимоги ринку.

Об'єктом дослідження є стелажні складські роботи, які використовуються для автоматизації та оптимізації процесів у складських приміщеннях. **Предметом дослідження** є функціональні можливості та ефективність використання стелажних складських роботів у процесах автоматизації складських приміщень.

Наукова цінність полягає в його внеску в розвиток сучасних технологій автоматизації, підвищення ефективності та безпеки складських операцій, а також у наданні нових інструментів і підходів для оптимізації логістичних процесів.

Прикладна цінність дослідження полягає в тому, що воно надає практичні рекомендації та інструменти для впровадження ефективних та ефективних рішень у сфері логістики та управління ланцюгами постачань.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					5	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

РОЗДІЛ 1

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Існуючі рішення. Огляд поточних ринкових рішень.

Стелажний складський робот - це автоматизована система, яка використовується для організації та управління складським простором, особливо з використанням стелажів (розпорядженням товарів у висоту). [3]
Ось деякі загальні поняття про стелажні складські роботи:

- **Автоматизація складу:** Стелажні складські роботи використовують різноманітні автоматизовані системи, включаючи роботизовані підйомні пристрої, конвеєри, системи сортування, системи управління запасами та інші, для ефективного зберігання та переміщення товарів на складі.

- **Стелажі:** Основною особливістю стелажного складу є використання стелажів для зберігання товарів. Стелажі - це конструкції з вертикальних стійок і горизонтальних полиць, які дозволяють зберігати товари високо, з використанням висоти приміщення.

- **Роботи з підйомом і переміщенням:** Складські роботи включають в себе підйом і переміщення товарів на різних етапах їхнього життєвого циклу - від прийому до відправлення. Це може включати в себе підйом товарів на полиці стелажів, переміщення товарів між різними регіонами складу та пакування для відвантаження.

- **Системи управління:** Для ефективного управління стелажним складом використовуються різноманітні системи управління, такі як системи автоматизованого складу (WMS), які дозволяють відстежувати запаси, оптимізувати розміщення товарів та керувати роботами на складі.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					6	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

- Ефективність та оптимізація: Головною метою стелажного складу є досягнення високої ефективності та оптимізації використання простору. Це може включати в себе зменшення часу обробки замовлень, збільшення пропускної здатності та мінімізацію помилок при підйомі та переміщенні товарів.

Загалом, стелажний складський робот є важливою складовою ланцюга постачання для багатьох підприємств, яка дозволяє їм ефективно управляти запасами та оптимізувати процеси зберігання та переміщення товарів.

Багато сучасних компаній модернізують свої склади для підвищення продуктивності роботи. Наведемо декілька прикладів:

1) Amazon Robotics: Amazon використовує роботизовані системи для автоматизації своїх складських операцій. Ці роботи можуть переміщати стелажі з товарами до операторів, які збирають замовлення, а також автоматично сортувати та розміщувати товари на стелажах.

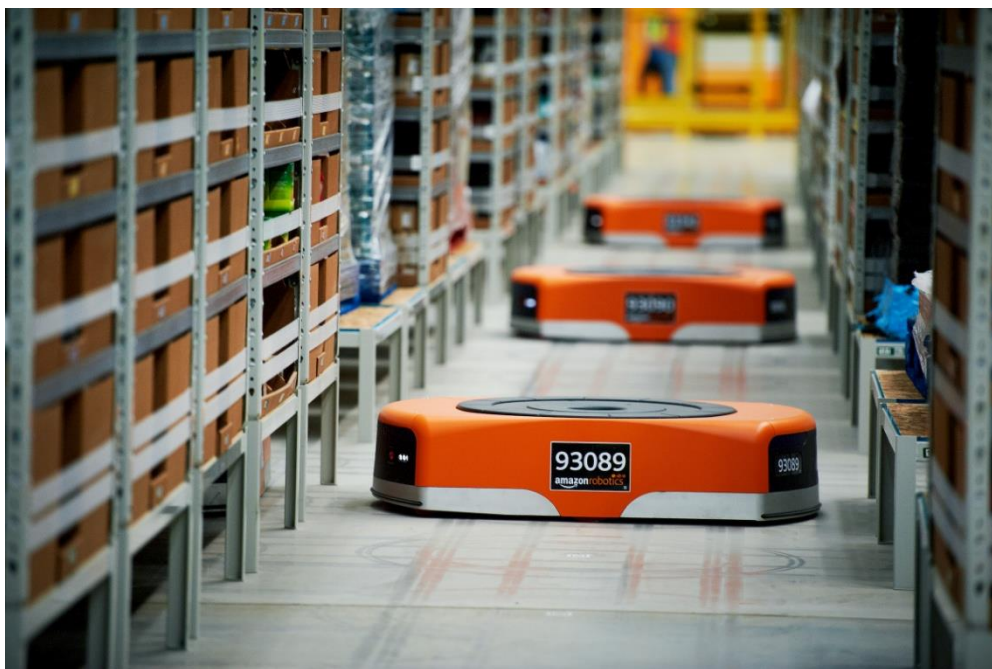


Рисунок 1.1.1 – Стелажний робот компанії Amazon

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					7	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

2) **Fetch Robotics:** Fetch Robotics виробляє мобільних роботів, які використовуються для збирання та переміщення товарів на складах. Їх системи можуть працювати зі стелажми, забезпечуючи ефективне управління запасами та зменшуючи час обробки замовлень.



Рисунок 1.1.2 – Стелажний робот компанії Fetch

3) **Knapp:** Knapp є постачальником автоматизованих систем для складів та центрів розподілу. Вони пропонують широкий спектр рішень, включаючи роботизовані системи зберігання, сортування та управління запасами для стелажних складів.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					8	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						



Рисунок 1.1.3 – Стелажний робот компанії Кнарр

4) **Daifuku:** Daifuku виготовляє автоматизовані системи для складського управління, включаючи роботизовані пристрої для переміщення товарів на стелажах. Їх рішення допомагають оптимізувати простір, знижувати час виконання завдань та підвищувати продуктивність.



Рисунок 1.1.4 – Стелажний робот компанії Daifuku

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					9	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

5) **Geek+:** Geek+ є провідним постачальником роботизованих рішень для складського управління. Вони пропонують різноманітні моделі роботів для збирання, переміщення та сортування товарів на стелажних складах, що дозволяє підприємствам автоматизувати свої операції та підвищувати ефективність.



Рисунок 1.1.5 – Стелажний робот компанії Geek+

Ці реальні роботи представляють собою лише деякі з існуючих на ринку рішень для автоматизації стелажних складів. Кожен з них має свої унікальні особливості та можливості, що дозволяють підприємствам підібрати оптимальне рішення для своїх потреб.

На основі існуючих моделей стелажних складських роботів, можна сказати, що вони мають вигляд невеликої самохідної платформи з підйомним механізмом стелажів. Їх пересування відбувається по побудованій траєкторії, координація відбувається завдяки QR - кодам на підлозі.

1.2 Вимоги та специфікації системи.

У цьому пункті представлені конкретні вимоги до складського робота для полиць і стелажів, включаючи параметри щодо швидкості, точності,

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					10	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

вантажопідйомності, розмірів, енергоефективності та інші технічні характеристики.

- Швидкість:

Максимальна швидкість руху: 9.0 км/год.

Середня робоча швидкість: 7.5 км/год.

- Точність:

Точність позиціонування: ± 5 мм.

Точність навігації: ± 10 мм.

- Вантажопідйомність:

Максимальна вантажопідйомність: 50 кг.

Максимальна висота підйому: 0.5 м.

- Розміри:

Довжина: 0.5 м.

Ширина: 0.5 м.

Висота: 0.25 м.

- Енергоефективність:

Час роботи від акумулятора: 10 годин безперервної роботи.

Час повної зарядки: 2 години.

- Сенсори та навігація:

Типи датчиків: Камери, зчитувачі QR-кодів, датчик кута повороту.

Частота оновлення даних сенсорів: 10 Гц.

- Комунікація:

Тип зв'язку: Wi-Fi, Bluetooth.

Діапазон зв'язку: до 100 м.

- Програмне забезпечення:

Операційна система: Вбудована ОС реального часу.

Можливості інтеграції: Підтримка API для інтеграції з системами

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					11	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

управління складом (WMS).

- Безпека:

Механізми уникнення зіткнень: Вбудовані алгоритми машинного навчання для виявлення та уникнення перешкод.

Аварійні зупинки: Фізичні кнопки аварійної зупинки на корпусі робота.

- Експлуатаційні умови:

Температурний діапазон роботи: від -10°C до 40°C.

Рівень шуму: не більше 60 дБ.

Ці параметри допоможуть визначити основні характеристики робота для полиць і стелажів та забезпечити його відповідність вимогам сучасних складських середовищ.

1.3 Метрики продуктивності та порівняльні характеристики.

У цьому пункті встановлюються метрики продуктивності, які допоможуть оцінити ефективність робота, а саме максимальна швидкість, час роботи/зарядки, вантажопідйомність та ціна продукту. На основі цих метриків проводиться порівняльний аналіз з існуючими ринковими рішеннями [4] для визначення переваг та недоліків запропонованого робота.

Таблиця 1.3.1 – Порівняльний аналіз

Продукт	Швидкість, км/год	Час роботи/зарядки, год	Вантажопідйомність, кг	Ціна, \$
RASort	9	10/2	50	10000

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					12	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Продовження таблиці 1.3.1

Продукт	Швидкість, км/год	Час роботи/зарядки, год	Вантажопідйомність, кг	Ціна, \$
DEUS Robotics S30	7,2	12/3	40	10000
Fetch Robotics 100 Roller	6,3	9/3	80	40000
Geek+ Sorter Robot	9	1,5/0,25	20	25000

Провівши порівняльний аналіз з існуючими ринковими рішеннями можна сказати, що запропонований складський робот має значні переваги в декількох ключових аспектах:

- **По перше і найголовніше**, це ціна, запропонований робот значно дешевший за більшість існуючих рішень на ринку, що робить його доступнішим для малого та середнього бізнесу, а також великих компаній, які прагнуть оптимізувати свої витрати на автоматизацію складів.

- **По друге**, наш робот демонструє вищу або таку ж швидкість руху та виконання завдань порівняно з конкурентами, що дозволяє значно скоротити час обробки замовлень та підвищити продуктивність складу.

- **По третє**, максимальна вантажопідйомність 50 кг та висота підйому 0.25 м дозволяють роботу ефективно працювати з широким спектром товарів, забезпечуючи універсальність і гнучкість використання.

І на кінець, тривалість роботи від акумулятора до 10 годин безперервної роботи забезпечує високу автономність, що зменшує час

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					13	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

простою для зарядки. Швидка зарядка протягом 2 годин також є значною перевагою.

Це робить його ефективним і перспективним вибором для автоматизації складських операцій.

1.4 Механічні елементи дизайну.

- Шасі (Рама):

Основна структура, яка підтримує всі інші компоненти робота виконана на основі металевого каркасу виготовленого з профільних труб квадратного перерізу і металевих пластин для вищої механічної міцності.

- Механізми руху:

Колеса: Забезпечують пересування робота. Колеса є стандартними, підходять для роботи на різних поверхнях. Прорезинені накладки на колесах для більшої площі та сили зчеплення.

По кутам робота встановлені підпружинені колеса з поворотним кронштейном, їх призначення полягає в стабілізації руху робота.

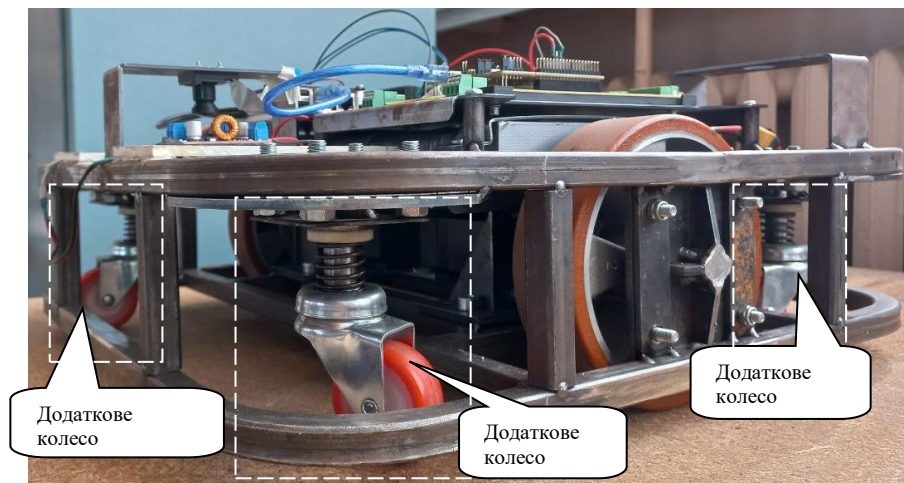


Рисунок 1.4.1 – Загальний вигляд підпружинених коліс з поворотним кронштейном

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Індик М. К.</i>				<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Леонтьєв П. В.</i>						14	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>	<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>							

- Приводи:

Крокові двигуни: Основні двигуни, що приводять у рух привідні колеса.

Ці механічні елементи дизайну забезпечують надійну та ефективну роботу складського робота, дозволяючи йому виконувати всі необхідні операції з високою точністю і продуктивністю.

1.5 Основні технічні виклики при розробці стелажного робота.

У розробці складського робота для полиць існують декілька основних технічних викликів, які потрібно вирішити для досягнення успішного результату. [5] Деякі з цих викликів включають:

1) Навігація в обмеженому просторі:

Розробка ефективної системи навігації, яка дозволяє роботу точно визначати своє місцезнаходження та навігувати в обмеженому просторі між полицями і стелажми та іншими можливими перешкодами.

2) Взаємодія з навколишнім середовищем:

Створення механізмів для виявлення та уникнення перешкод, а також для взаємодії з іншими робочими об'єктами та людьми на складі.

3) Точне позиціонування та маніпуляція з вантажем:

Розробка системи для точного позиціонування робота перед полицею та для ефективного захоплення, підйому та розміщення товарів на полиці.

4) Оптимізація швидкості та продуктивності:

Вдосконалення механічних та програмних компонентів для забезпечення максимальної швидкості та продуктивності робота під час виконання завдань.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					15	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

5) Енергоефективність та автономність:

Розробка енергоефективних систем живлення та керування для забезпечення тривалої автономної роботи без необхідності частотої зарядки або заміни акумуляторів.

6) Інтеграція з існуючими системами:

Розробка інтерфейсів та протоколів зв'язку для ефективної інтеграції складського робота з існуючими системами управління складом (WMS) та іншими автоматизованими пристроями.

7) Безпека робота та навколишніх:

Розробка систем безпеки, які гарантують безпеку не лише самого робота, а й персоналу та іншого обладнання на складі, включаючи давачі зіткнень, системи аварійної зупинки та безпеки на робочій зоні.

Розв'язання цих технічних викликів вимагає інтегрованого підходу, що поєднує механічні, електронні та програмні рішення, а також враховує специфічні потреби та вимоги конкретного середовища складської роботи.

1.6 Запропоновані рішення та методології.

Запропоновані рішення та методології для вирішення технічних викликів у розробці складського робота включають наступне [6], [7] :

1) Розвиток ефективної системи навігації:

Використання комбінації технологій, таких як лазерне сканування, візуальне сприйняття, давачі ультразвуку та інфрачервоне зондування тощо, для створення точної карти середовища та реалізації системи локалізації та навігації.

2) Розробка механізмів уникнення перешкод:

Використання алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					16	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

для аналізу навколишнього середовища та прийняття рішень щодо уникнення перешкод та безпечної навігації.

3) Створення точної системи маніпуляції:

Використання прецизійних крокових моторів, серводвигунів або пневматичних приводів для точного позиціонування та маніпуляції з вантажем на полицях складу.

4) Оптимізація швидкості та продуктивності:

Впровадження алгоритмів розподілу завдань та маршрутизації, які оптимізують рухи робота та мінімізують час виконання завдань.

5) Використання енергоефективних систем живлення:

Розробка систем автоматичного керування енергоефективними режимами роботи та використання літій-іонних акумуляторів або інших енергоефективних джерел живлення.

6) Інтеграція з існуючими системами управління складом:

Розробка пристроїв інтерфейсу та використання стандартних протоколів зв'язку для ефективної інтеграції з існуючими системами управління складом.

7) Забезпечення безпеки робота та навколишніх:

Використання систем відслідковування, візуального спостереження та виявлення зіткнень для забезпечення безпеки робота та навколишнього середовища.

Ці рішення та методології спрямовані на досягнення найвищого рівня продуктивності, ефективності та безпеки у роботі складського робота, забезпечуючи оптимальне функціонування в сучасних складських умовах.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					17	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

РОЗДІЛ 2.

ОПИС КОНТУРІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ

1. Контур керування рухом (Позиціонування).

Призначення: Контроль за точним рухом робота по складу.

Давачі: Енкодери на крокових двигунах (Нема 23), Акселерометр.

Приводи: Крокові двигуни Нема 23.

МК: STM32.

Алгоритми керування: Контроль за кроковими двигунами за допомогою драйверів, обробка сигналів з енкодерів для визначення позиції. Використання даних з акселерометра для реагування на зміни прискорення та орієнтації, регулювання швидкості або напрямку руху для забезпечення стабільності та плавності руху

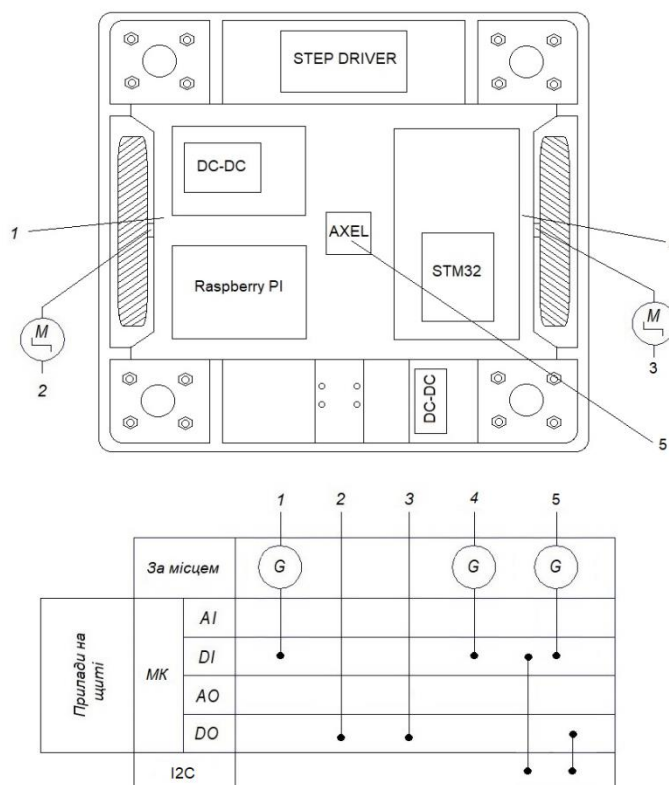


Рисунок 2.1 – Схема контуру керування рухом

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					18	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

2. Контур виявлення перешкод та візуального виявлення (QR - кодів).

Призначення: Виявлення перешкод на шляху руху робота та розпізнавання об'єктів (QR-кодів) з використанням камери для забезпечення безпеки та навігації.

Давачі: Обхідні датчики перешкод (Obstacle sensor 1, Obstacle sensor 2, Obstacle sensor 3), камера (CAMERA pi).

МК та ОПК: Raspberry Pi 4, STM32.

Алгоритми керування: Обробка сигналів з датчиків перешкод та зображень з камери для виявлення наявності об'єктів на шляху руху та розпізнавання об'єктів, вжиття заходів для уникнення або обходу перешкод.

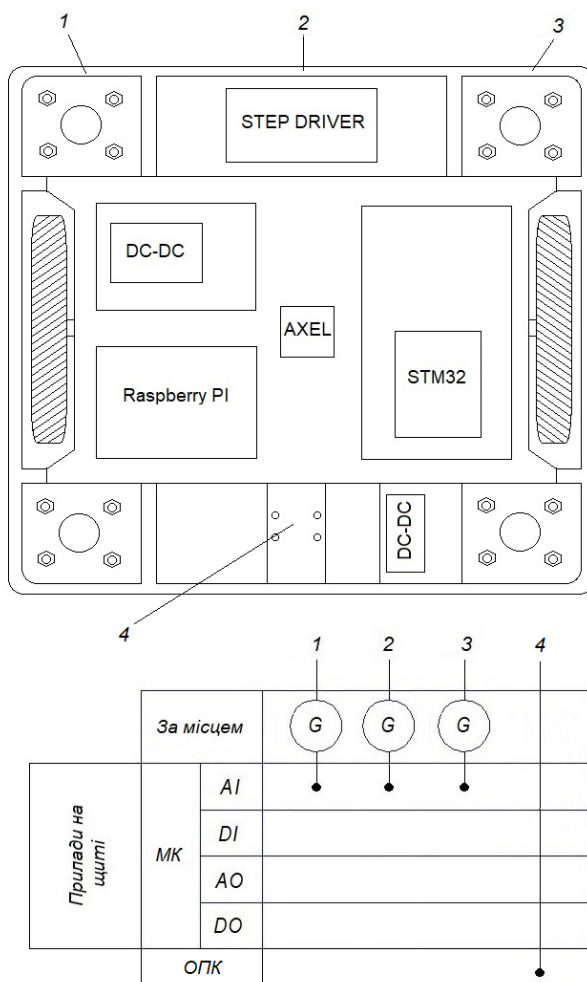


Рисунок 2.2 – Схема контуру виявлення перешкод та візуального виявлення

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Індик М. К.				Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Листів
Перевір.	Леонтьєв П. В.						19	65
Реценз.						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
Н. Контр.								
Затвердив	Петро ЛЕОНТЬЄВ							

3. Контур забезпечення зв'язку.

Призначення: Забезпечення обміну даними між різними компонентами системи.

Протоколи: UART для зв'язку між STM32 і Raspberry Pi.

МК та ОПК: Raspberry Pi 4, STM32.

Алгоритми керування: Обробка і передача даних між МК та ОПК по UART, отримання даних з сервера через Wi-Fi.

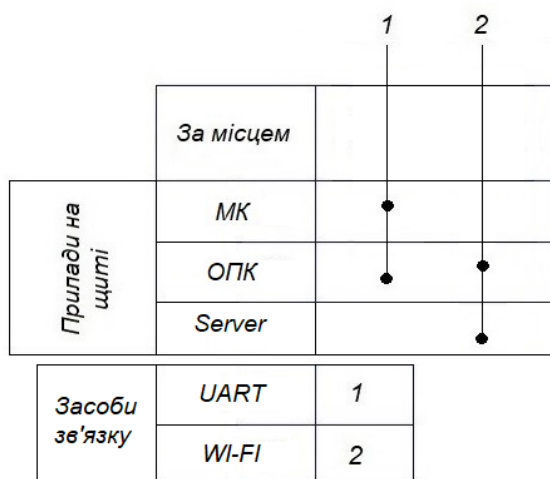
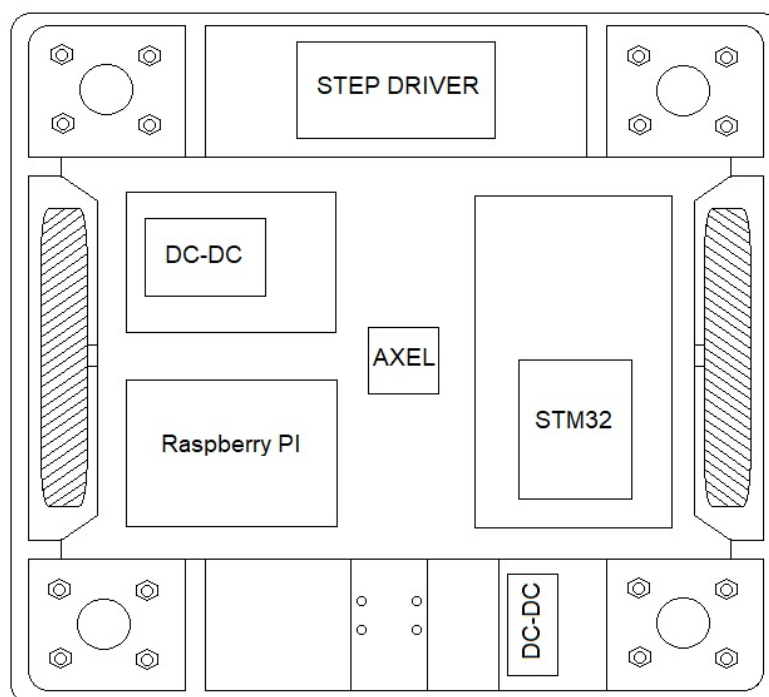


Рисунок 2.3 – Схема контуру забезпечення зв'язку

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Індик М. К.				Літ.	Арк.	Листів
Перевір.	Леонтьєв П. В.					20	65
Реценз.					<i>СумДУ, СУ-01</i>		
Н. Контр.							
Затвердив	Петро ЛЕОНТЬЄВ						
					Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка		

2.1 Структурна схема архітектури управління.

Перед створенням прототипу, було розроблено структурну схему робота, що дає уявлення з яких компонентів складається прототип.

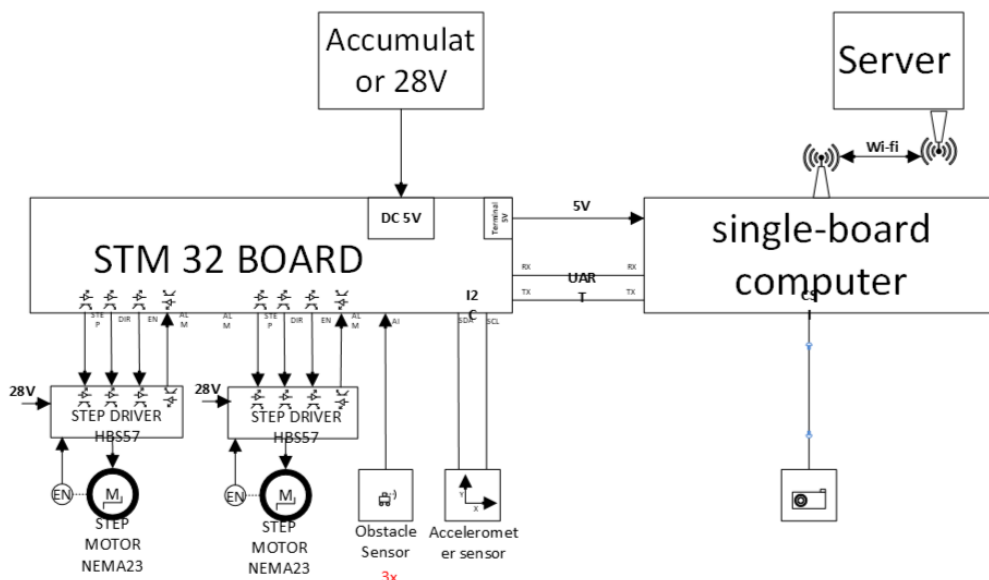


Рисунок 2.1.1 – Структурна схема прототипу

2.2 Типи використовуваних датчиків. Розташування датчиків та обробка даних.

Датчики розміщуються по всьому роботу для забезпечення повного огляду простору. Дані з сенсорів передаються до центрального МК, де вони обробляються для прийняття рішень щодо навігації та уникнення перешкод. Їх призначення полягає в координації шляху робота на складі.

Список датчиків:

1. Камера зчитування QR – кодів. Використовуються для ідентифікації місць зберігання та товарів.
2. Датчики кута повороту. Використовуються для визначення кута

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Індик М. К.				Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Листів
Перевір.	Леонтьєв П. В.						21	65
Реценз.						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
Н. Контр.								
Затвердив	Петро ЛЕОНТЬЄВ							

повороту робота та позиціонування підйомних механізмів.

3. Енкодери (встановлені в корпуси крокових двигунів). За допомогою яких вимірюють кут повороту вала і поточне його положення.

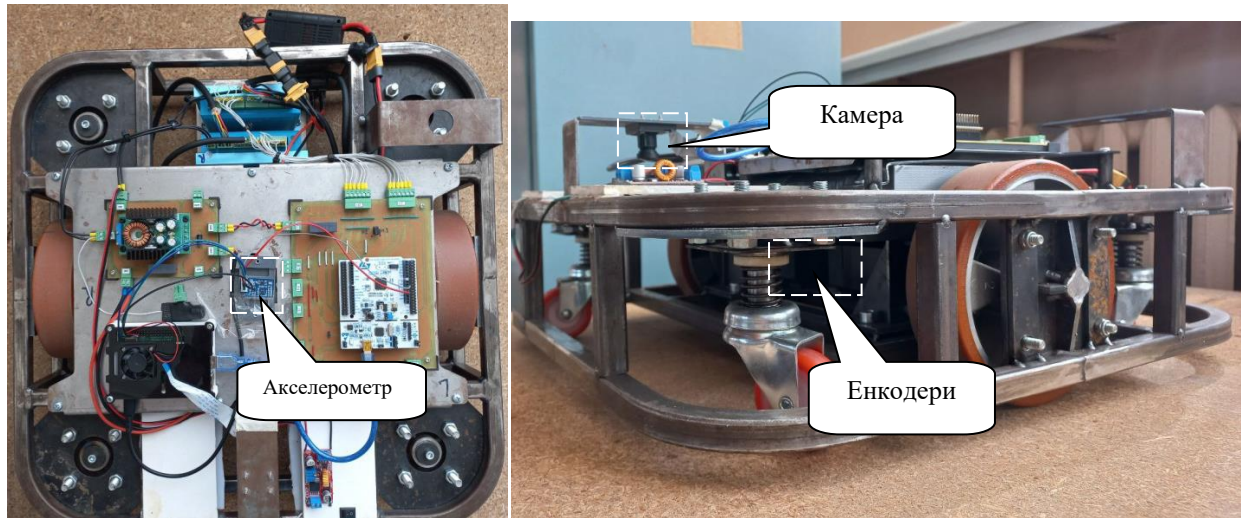


Рисунок 2.2.1 – Розташування датчиків

В рамках проекту було розроблено схему розміщення технічних засобів автоматизації з метою передачі цієї інформації конструкторам для подальшої реалізації. Це спростить процес монтажу, оскільки заздалегідь будуть відомі точні місця для розміщення обладнання та необхідної інфраструктури. Крім того, такий план дозволить легше визначити необхідний обсяг монтажних матеріалів, таких як провід і кабель, сприяючи більш точному підбору і закупці необхідного обладнання.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					22	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

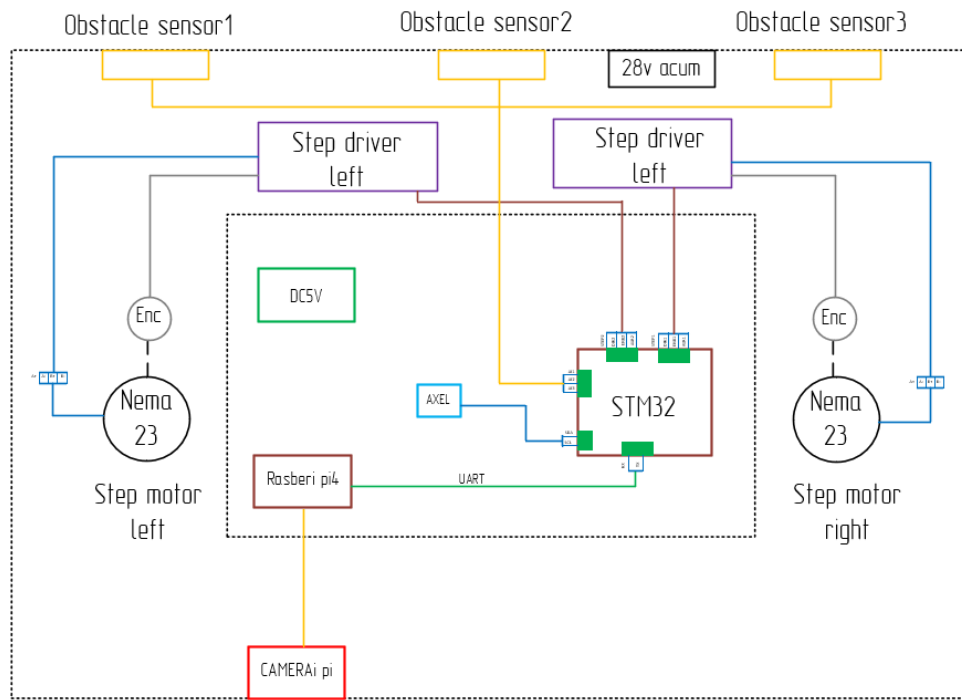


Рисунок 2.2.2 – Схема розміщення технічних засобів

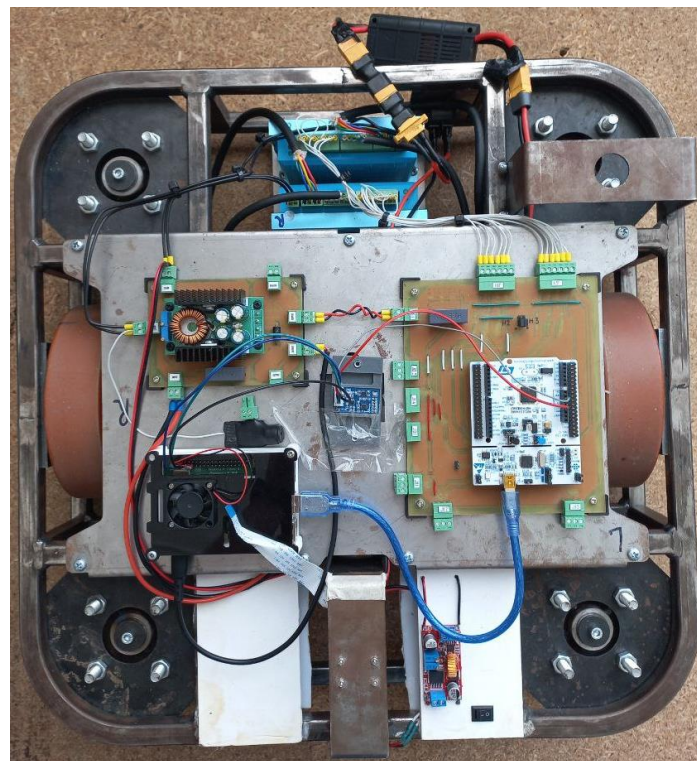


Рисунок 1.2.3 – Розроблений прототип (вигляд зверху)

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником</i> <i>Пояснювальна записка</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
						23	65
					<i>СумДУ, СУ-01</i>		

2.3 Опис приводів. Алгоритми керування для точного руху.

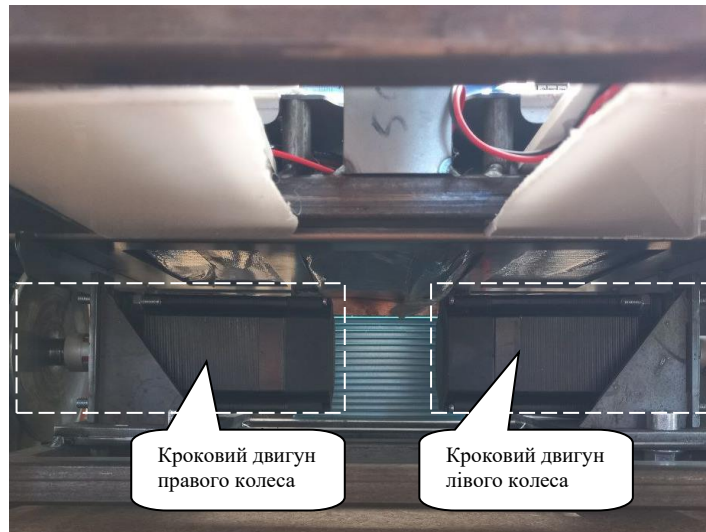


Рисунок 2.3.1 – Розташування крокових двигунів

Список приводів:

1. Крокові двигуни. Використовуються для забезпечення плавного та точного руху робота за заданим маршрутом.

Крокові двигуни є відмінним вибором для задач, що вимагають точного позиціонування. Керування кроковими двигунами зазвичай здійснюється через драйвери, які приймають сигнали кроку і напрямку від контролера.

Щоб забезпечити точний рух робота, необхідно використовувати відповідні алгоритми керування. [8], [9], [10]

Алгоритм траєкторного планування. [11]

Траєкторне планування дозволяє визначити оптимальний шлях для руху робота з урахуванням швидкості, прискорення та обмежень по динаміці.

- Розрахунок траєкторії:

1) Визначення початкової та кінцевої позицій.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					24	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

2) Обчислення проміжних точок з урахуванням обмежень по швидкості та прискоренню.

- Генерація профілю швидкості:

1) Побудова профілю швидкості з розгоном, рівномірним рухом та гальмуванням.

2) Профіль швидкості (трикутний або трапецієподібний):

Трикутний профіль: Використовується при коротких відстанях, де максимальна швидкість не досягається.

Трапецієподібний профіль: Включає етапи розгону до максимальної швидкості, рух з постійною швидкістю та гальмування.

Алгоритм зворотного зв'язку. [11]

Зворотний зв'язок дозволяє контролювати та коригувати рух робота на основі даних від сенсорів.

- Одержання даних від сенсорів:

Постійне зчитування даних від кутових сенсорів, лазерних далекомірів, ультразвукових давачів та інших сенсорів.

- Аналіз даних:

Визначення фактичного положення та швидкості робота.

- Корекція руху:

Порівняння фактичного положення зі заданим і розрахунок необхідної корекції.

Внесення коригувальних дій через керуючі сигнали до крокових двигунів.

2.4 Збір та обробка даних у реальному часі.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					25	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Збір та обробка даних у режимі реального часу є критично важливими для забезпечення точної та безпечної роботи складського робота. Це включає використання різноманітних сенсорів для отримання даних про навколишнє середовище та стан робота, їх обробку та використання для прийняття рішень. Нижче наведено детальний опис процесу збору та обробки даних у режимі реального часу. [12]

Основні компоненти системи збору та обробки даних:

- Давачі:

Кутові сенсори: Визначають кутові положення елементів робота, що необхідно для точного позиціонування маніпуляторів.

Давачі швидкості: Вимірюють швидкість руху та прискорення робота, що важливо для навігації та контролю.

Сканери QR-кодів: Використовуються для ідентифікації товарів та місць їх зберігання.

- Контролери:

Мікроконтролери: Виконують збір даних від сенсорів та передають їх до центрального контролера для обробки (одноплатного комп'ютера).

Одноплатні комп'ютери: Централізований блок керування, який обробляє дані з мікроконтролерів та сенсорів, приймає рішення і керує рухом робота. Працює за протоколом TCP/IP і отримує від сервера пакет даних, що містить ідентифікатори міток та відповідні координати, по яких робот повинен проїхати.

- Мережеві компоненти:

Бездротові модулі зв'язку (Wi-Fi, Zigbee): Забезпечують передачу даних між сенсорами, контролерами та центральною системою управління.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					26	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Процес збору даних:

- Ініціалізація давачів:

При запуску системи кожен давач калібрується та починає збирати дані відповідно до заданих параметрів.

- Передача даних:

Зібрані дані від сенсорів передаються до мікроконтролерів або безпосередньо до центрального контролера через бездротовий зв'язок. Для зменшення затримок використовуються високошвидкісні протоколи передачі даних.

Обробка даних у режимі реального часу

- Фільтрація даних:

Первинні дані від сенсорів можуть містити шум та помилки. Для усунення цих недоліків використовуються методи фільтрації, такі як фільтр Калмана або середньозважене згладжування.

- Аналіз даних:

Оброблені дані використовуються для аналізу стану робота та навколишнього середовища.

- Прийняття рішень:

Одноплатний комп'ютер використовує оброблені дані для прийняття рішень щодо навігації, маніпуляцій з вантажами та уникнення перешкод. Наприклад, якщо сенсори виявляють перешкоду на шляху робота, контролер обчислює новий маршрут для уникнення зіткнення.

- Керування у реальному часі:

На основі прийнятих рішень контролер відправляє команди до актуаторів (крокових двигунів, серводвигунів) для виконання необхідних дій. Позиційні дані від давачів кута повороту використовуються для точного позиціонування маніпуляторів

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					27	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Інтеграція зворотного зв'язку

- Моніторинг:

Система постійно моніторить дані від сенсорів для виявлення будь-яких відхилень від заданих параметрів.

- Корекція:

У разі виявлення відхилень система коригує дії робота в режимі реального часу, вносячи необхідні зміни до команд, що надсилаються актуаторам.

- Аналіз продуктивності:

Зібрані дані використовуються для аналізу продуктивності робота, виявлення потенційних проблем та вдосконалення алгоритмів керування.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					<i>28</i>	<i>65</i>
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

РОЗДІЛ 3.

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Критерії вибору засобів автоматизації.

Вибір засобів автоматизації для складських роботів є важливим етапом розробки, що впливає на ефективність, надійність та економічність системи. Нижче наведені основні критерії, які слід враховувати при виборі засобів автоматизації. [13]

1. Функціональність.

Вимоги:

- Забезпечення всіх необхідних функцій для виконання задач робота.
- Підтримка інтеграції з іншими системами управління та сенсорами.

2. Надійність та стійкість до відмов.

Вимоги:

- Висока надійність компонентів для забезпечення безперервної роботи.
- Стійкість до відмов та можливість швидкого відновлення роботи після збою.

3. Швидкість та точність.

Вимоги:

- Забезпечення високої швидкості обробки даних та виконання команд.
- Висока точність позиціонування та маніпуляцій.

4. Масштабованість.

Вимоги:

- Можливість легкої масштабованості системи при збільшенні обсягів роботи або розширенні функціональності.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					29	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

5. Сумісність.

Вимоги:

- Сумісність з існуючими системами та протоколами зв'язку.
- Можливість інтеграції з різними типами обладнання та програмного забезпечення.

6. Енергоефективність.

Вимоги:

- Низьке споживання енергії для зменшення експлуатаційних витрат.
- Використання енергоефективних компонентів та алгоритмів керування.

7. Вартість.

Вимоги:

- Розумна вартість компонентів та їх обслуговування.
- Оптиміальне співвідношення ціни та якості.

8. Простота установки та обслуговування.

Вимоги:

- Легкість установки та налаштування системи.
- Простота в обслуговуванні та ремонті.

9. Безпека.

Вимоги:

- Забезпечення безпеки роботи для персоналу та обладнання.
- Вбудовані засоби безпеки, такі як аварійні зупинки та давачі захисту.

10. Гнучкість.

Вимоги:

- Можливість адаптації системи до змінних умов роботи та нових вимог.
- Підтримка оновлення програмного забезпечення та модифікацій апаратних засобів.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					<i>30</i>	<i>65</i>
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

11. Підтримка виробника.

Вимоги:

- Доступність технічної підтримки та обслуговування від виробника.
- Наявність гарантії та сервісного обслуговування.

Вибір засобів автоматизації має базуватися на детальному аналізі вимог проекту та порівнянні доступних рішень за наведеними критеріями. Оптимальний вибір забезпечить високу продуктивність, надійність та економічність складської системи, сприяючи її ефективній та безпечній роботі.

3.2 Порівняння різних технологій автоматизації.

Вибір технологій автоматизації для складських робіт включає розгляд різних систем і компонентів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Нижче наведено порівняння основних технологій автоматизації, що використовуються у сучасних складських роботах.

Таблиця 3.2.1 – Порівняння основних технологій автоматизації

Технологія	Переваги	Недоліки	Приклад застосування
PLC	Надійність, промислові стандарти, легкість у програмуванні	Висока вартість, обмежена гнучкість	Великі складські системи з високими вимогами до надійності

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					31	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Продовження таблиці 3.2.1

Технологія	Переваги	Недоліки	Приклад застосування
МК	Низька вартість, компактність, енергоефективність	Низька потужність обробки даних, відсутність промислових інтерфейсів	Невеликі робототехнічні системи
Одноплатні комп'ютери	Гнучкість, потужність, низька вартість	Менша надійність, потреба в додатковому захисті	Прототипування, невеликі автоматизаційні проекти
ROS	Модульність, широкий спектр інструментів	Складне налаштування, високі вимоги до ресурсів	Складні автономні робототехнічні системи
SCADA	Надійність, масштабованість, реальний час	Висока вартість, складність налаштування	Великі складські комплекси

3.3 Детальний опис вибраних засобів. Обґрунтування їх вибору на основі вимог проекту.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					32	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Акумулятор.

На роботі встановлений саморобний акумулятор зібраний з 7-ми послідовно з'єднаних літій – полімерних акумуляторів LG F10 10Ан 3,7 В. [14] У збірці повна напруга акумулятора сягає 29,4 В, ця напруга необхідна для забезпечення безперебійної та ефективної роботи крокових двигунів.



Рисунок 3.3.1 – Літійовий полімерний акумулятор LG F10 10Ан 3,7 В

- Номінальна напруга: 3,7 В;
- Номінальна потужність: 10 Ач;
- Напруга відключення розряду: 2,75 В;
- Гранична напруга заряджання: 4,2 В;
- Струм заряджання: 1А;
- Опір комірки: 0,8 мОм.

На лінії живлення від акумулятора стоїть клавішний перемикач [15], призначений для аварійної зупинки робота.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					<i>33</i>	<i>65</i>
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						



Рисунок 3.3.2 – Перемикач клавiшний

- Кiлькiсть положень: 2;
- Номiнальний струм: 15 А.

Индикатор заряду акумулятора.

Для iндикацiї заряду акумулятора, використовується ватметр постійного струму [16].

Цей пристрiй вмикається мiж джерелом живлення i навантаженням i показує напругу, струм, потужнiсть, споживання енергiї протягом часу (ампер-години i ват-години), а також мiнiмальну напругу, максимальний струм i пiкову потужнiсть.

- Ah - струм, що пройшов через пристрiй з моменту запуску (ампер-години)
- Wh - потужнiсть за весь час з моменту запуску (ват-години)
- Ar - максимальний струм, вимiряний з моменту запуску
- Vm - мiнiмальна напруга з моменту запуску
- Wp - пiкова потужнiсть з моменту запуску.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Пiдпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Индик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Лiт.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листiв</i>
<i>Перевiр.</i>		<i>Леонтьев П. В.</i>					34	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЕВ</i>						



Рисунок 3.3.3 – Ватметр постійного струму 60В 150А

- Діапазон напруги: 6 - 60 В. DC;
- Струм: 0-150 А;
- Споживання ватметра: 7 мА;
- Час оновлення вимірювань: 400 мс;
- Опір ланцюга: 0,001 Ом.

DC – DC перетворювачі напруги.

Використання DC – DC перетворювачів напруги полягає в необхідності подачі живлення до контролерів і додаткового освітлення. На роботу встановлено 2 моделі перетворювачів напруги.

Для живлення контролерів робота використовується понижуючий перетворювач напруги DC-DC 300W $U_{in}=7...32V$, [17] $U_{out}=0.8...28V$, $I_{outMax}=10A$.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					35	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						



Рисунок 3.3.4 – Понижуючий перетворювач напруги DC-DC 300W U_{in} -
7...32В, U_{out} -0.8...28В, I_{outMax} -10А

- Мікросхема XL4016;
- Вхідна напруга, У 7 ... 30;
- Вихідна напруга, У 0,8 ... 28;
- Максимальний струм навантаження, А 10;
- Частота перемикання, КГц 300;
- Максимальна вихідна потужність, Вт 300;
- ККД, % 95 .

Роботу додаткового живлення забезпечує понижуючий перетворювач на XL4015. [18]

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					36	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

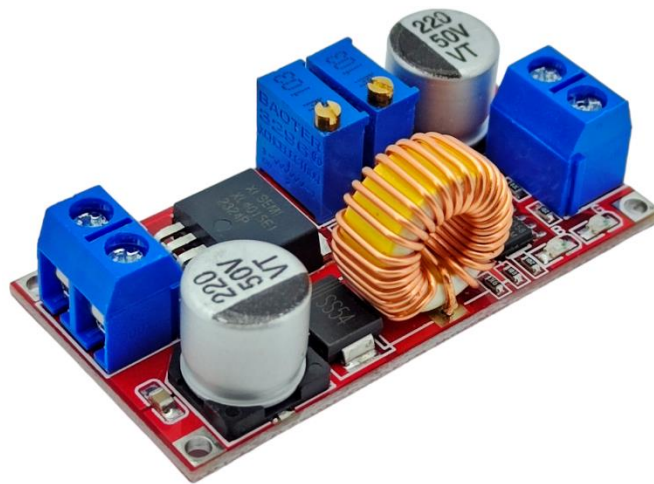


Рисунок 3.3.5 – Понижуючий перетворювач на XL4015 з 4-38В 1.25-32В 5А з регулюванням напруги і струму

- Вхідна напруга: 4-38В;
- Вихідна напруга: 1.25-32В;
- Вихідний струм: до 5А;
- Ефективність: до 96%;
- Максимальна потужність: 75Вт;
- Регулювання напруги та струму.

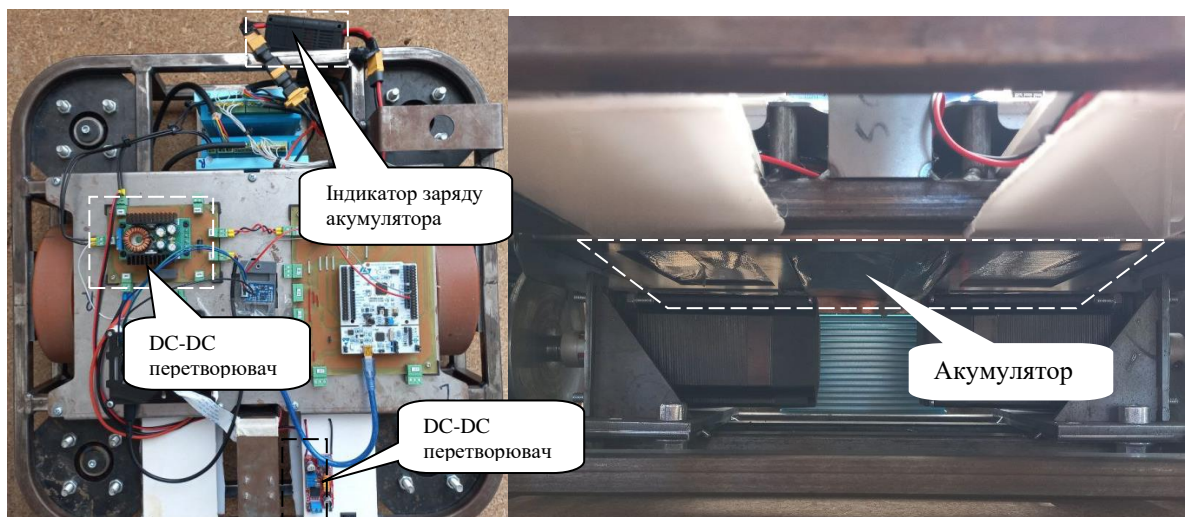


Рисунок 3.3.6 – Розташування компонентів енергозабезпечення

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Індик М. К.				Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Листів
Перевір.	Леонтьєв П. В.						37	65
Реценз.						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
Н. Контр.								
Затвердив	Петро ЛЕОНТЬЄВ							

Драйвери крокових двигунів.

Для керування кроковими двигунами з енкодерами були використані драйвери моделі LEADSHINE HBS57. [19]

Серія HBS пропонує альтернативу для додатків, що вимагають високої продуктивності і високої надійності, де добре підійде сервопривод; при цьому її використання стає більш рентабельним. Система містить цифровий швидкодіючий драйвер і 3-фазний кроковий двигун із вбудованим енкодером, що робить позиціонування замкнутим, так само, як і в сервосистемах.



Рисунок 3.3.7 – Драйвер крокового двигуна LEADSHINE HBS57

Основні характеристики:

- Напруга живлення: від 20 до 50 VDC (стандартно 36 VDC);
- Максимальний струм фази: 8 А (піковий);
- Максимальна частота вхідного сигналу: 200 KHz;
- Опір ізоляції: 500 МΩ;
- Струм логічного сигналу: 7-16 mA.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					<i>38</i>	<i>65</i>
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Камера зчитування QR – кодів.

Камера Raspberry Pi [20] призначена для зчитування QR – кодів на підлозі, для координації напрямку руху робота.



Рисунок 3.3.8 - Камера Raspberry Pi

Давач кута повороту.

Для відслідковування кута повороту робота, в центрі прототипу був встановлений модуль давачів 10-DOF IMU Sensor. [21]



Рисунок 3.3.9 – Модуль давачів 10-DOF IMU Sensor

- Напруга живлення: 3,3 В ~ 5,5 В (внутрішній стабілізатор з низьким падінням напруги)
- Цифровий інтерфейс: I2C

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					39	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Акселерометр.

- Роздільна здатність: 16 біт
- Діапазон вимірювання (налаштовується): $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16 \text{ G}$
- Робочий струм: 450uA

Крокові двигуни.

На роботі стоять 2 крокових двигуна NEMA23 2.2N/М з енкодером.
[22] Їх завдання полягає в реалізації переміщення складським приміщенням по побудованій траєкторії.



Рисунок 3.3.10 – Кроковий двигун NEMA23 2.2N/М з енкодером

Характеристики крокового двигуна:

- Крутний момент - 2.2Н.м.;
- Сила струму - 4А;
- Кут нахилу - 1.8;
- Довжина двигуна - 80 мм;
- Радіальне биття - 0,018 мм при навантаженні 0,5 кг;
- Осьове биття валу - 0,075 мм;
- Діаметр валу: - 8 м.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					40	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Додаткові джерела світла для камери.

В ході тестування було виявлена необхідність додаткового освітлення для зчитування QR – кодів. Для цього використовують два світлодіодних модуля, [23] розташованих за розсіювальним матеріалом (рис. 3.3.11).



Рисунок 3.3.11 - Світлодіодний модуль 12В білий холодний 3led smd3030
1.5W IP65

Технічні характеристики:

- Тип - SMD 3030;
- Модель - МТК-3030-3R;
- Кількість LED - 3 шт.;
- Колір діодів - білий 8 000К;
- Кут - 120 градусів;
- Струм - 50мА;
- Довжина хвилі - 625-630нм;
- Світловий потік – 77;
- Потужність - 1,5 Вт.

Після підбору технічних засобів автоматизації було розроблено компонувальну схему засобів на роботі, схему терміналів плати та електричну принципову схему зображені в додатках ? та ? відповідно.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					41	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

3.4 Розгляд сумісності та масштабованості.

При виборі та впровадженні автоматизаційних засобів для складських систем важливо оцінити сумісність і масштабованість обраних технологій. Це забезпечить можливість ефективної інтеграції з існуючими системами та подальшого розширення функціональності без значних витрат і перешкод у роботі.

1. Сумісність: Сумісність автоматизаційних засобів з існуючими системами визначається кількома ключовими аспектами:

a. Апаратна сумісність.

Електричні інтерфейси: Переконайтеся, що нові компоненти мають відповідні електричні інтерфейси для підключення до існуючих систем (рівні напруги, типи конекторів, тощо).

Фізичні розміри та форма: Нове обладнання повинно фізично вписуватися в існуючі шафи управління та простір на складі.

b. Програмна сумісність.

Протоколи зв'язку: Підтримка стандартних протоколів зв'язку, таких як Modbus, OPC UA, MQTT, Profibus та інші, які використовуються в існуючій системі.

API та програмні інтерфейси: Наявність доступних API та можливість інтеграції з існуючими системами управління складом (WMS) та ERP-системами.

c. Інтєроперабельність.

Взаємодія різних систем: Нові системи повинні без проблем взаємодіяти з наявними системами управління, сенсорами та актуаторами.

Сумісність даних: Формати даних, що використовуються новими системами, повинні бути сумісні з тими, що вже використовуються на складі.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					42	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

2. Масштабованість:

Масштабованість визначає можливість розширення системи без суттєвих змін в її архітектурі та без значних витрат. Основні аспекти масштабованості включають:

а. Модульність.

Модульний дизайн: Обрані рішення повинні мати модульний дизайн, що дозволяє додавати нові компоненти (сенсори, актуатори, контролери) без значних змін у загальній архітектурі системи.

Легкість розширення: Можливість легко додавати нові функціональні модулі, такі як додаткові роботизовані руки або нові типи сенсорів.

б. Продуктивність.

Збільшення потужності: Система повинна підтримувати збільшення обчислювальної потужності (наприклад, за рахунок додавання нових серверів або потужніших контролерів).

Мережеві можливості: Система повинна мати можливість підключення до більшої кількості пристроїв без значного погіршення продуктивності мережі.

с. Софтверні оновлення.

Підтримка оновлень: Програмне забезпечення системи повинно підтримувати регулярні оновлення для покращення функціональності та безпеки.

Гнучкість налаштувань: Система повинна дозволяти легке налаштування та переконфігурацію для підтримки нових задач та сценаріїв.

Сумісність і масштабованість є критичними факторами при виборі та впровадженні автоматизаційних засобів у складських системах. Ретельна оцінка цих аспектів допоможе забезпечити безпроблемну інтеграцію з

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					43	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

існуючими системами та можливість подальшого розширення функціональності, що сприятиме підвищенню ефективності та продуктивності складських операцій.

Вибір датчиків та виконавчих механізмів для складської системи був здійснений ретельно, з урахуванням повної сумісності з існуючими технологіями. Обрані компоненти відмінно відповідають вимогам апаратної та програмної сумісності, що дозволить ефективно інтегрувати їх у вже існуючу інфраструктуру складу. Такий підхід забезпечить безперебійну роботу системи та готовність до подальшого розширення функціональності без значних витрат та зусиль.

РОЗДІЛ 4.

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ МК ТА ІНТЕРФЕЙСІВ

4.1 Ключові фактори при виборі мікроконтролерів (МК).

Вибір мікроконтролера (МК) для складських роботів та інших автоматизаційних проектів потребує врахування кількох ключових факторів. Ці фактори визначають придатність мікроконтролера для конкретних завдань та умов експлуатації. Нижче наведено основні критерії вибору мікроконтролерів: [24]

1. Продуктивність:

- Тактова частота: Визначає швидкість обробки даних. Вищі частоти дозволяють виконувати більш складні задачі швидше.
- Архітектура процесора: Вибір між 8-бітними, 16-бітними та 32-бітними архітектурами залежить від складності завдань. 32-бітні

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					44	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

мікроконтролери забезпечують вищу продуктивність та більше можливостей для обробки даних.

- Об'єм оперативної пам'яті (RAM): Впливає на можливість виконання програм та обробки великих об'ємів даних в реальному часі.

2. Енергоефективність:

- Споживання енергії: Важливо для автономних систем з живленням від батарей. Низьке споживання енергії дозволяє продовжити час роботи без підзарядки.

- Режими низького енергоспоживання: Підтримка різних режимів зниження енергоспоживання, таких як сплячий режим або режим глибокого сну.

3. Наявність периферійних модулів:

- Інтерфейси зв'язку: Підтримка різних інтерфейсів, таких як UART, SPI, I2C, CAN, Ethernet, USB, для підключення сенсорів, актуаторів та інших компонентів.

- Аналогові та цифрові входи/виходи: Кількість і типи вхідних та вихідних пінів, включаючи АЦП (аналогово-цифровий перетворювач) та ЦАП (цифрово-аналоговий перетворювач).

- PWM (широотно-імпульсна модуляція): Підтримка PWM для керування двигунами та іншими актуаторами.

4. Пам'ять:

- Об'єм флеш-пам'яті: Визначає обсяг коду та даних, які можуть бути збережені на мікроконтролері.

- EEPROM: Наявність енергонезалежної пам'яті для збереження налаштувань та інших важливих даних.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					45	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

5. Надійність та стабільність:

- Температурний діапазон: Здатність працювати в умовах високих та низьких температур, що важливо для промислових застосувань.
- Захист від електромагнітних перешкод (ЕМП): Важливо для надійної роботи в умовах наявності електромагнітних перешкод.

6. Підтримка та екосистема:

- Інструменти розробки: Наявність зручних середовищ розробки (IDE), дебагерів та інших інструментів.
- Спільнота та документація: Підтримка активної спільноти розробників, наявність детальної документації та прикладів використання.

7. Вартість:

- Ціна одиниці: Залежно від бюджету проекту, вартість мікроконтролера може бути важливим фактором.
- Вартість розробки: Включає вартість інструментів розробки, налаштування та серійного виробництва.

8. Масштабованість:

- Можливість оновлення: Підтримка оновлень прошивки для додавання нових функцій або виправлення помилок.
- Модульність: Легкість інтеграції з іншими компонентами системи та можливість розширення функціоналу.

4.2 Огляд різних варіантів МК.

Розглянемо три популярні платформи: Arduino, STM32 та Raspberry Pi, та проведемо їх порівняння. [25]

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					46	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

1. Arduino

Arduino - це популярна платформа для створення електронних проектів, відома своєю простотою використання та широкою підтримкою спільноти.

2. STM32

STM32 - це серія мікроконтролерів від STMicroelectronics на основі архітектури ARM Cortex.

3. Raspberry Pi

Raspberry Pi - це повноцінний мінікомп'ютер, який часто використовується для більш складних проектів, де потрібні значні обчислювальні потужності.

Таблиця 4.2.1 – Порівняння різних варіантів МК

Параметр	Arduino UNO	STM32 (STM32F407)	Raspberry Pi (Raspberry Pi 4)
Процесор	ATmega328P (8-біт)	ARM Cortex-M4 (32-біт)	ARM Cortex-A72 (64-біт)
Тактовий сигнал	16 МГц	До 168 МГц	1.5 ГГц
Оперативна пам'ять	2 КБ	192 КБ - 1 МБ	2 ГБ, 4 ГБ або 8 ГБ
Флеш-пам'ять	32 КБ	512 КБ - 2 МБ	Зовнішня карта пам'яті (microSD)

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					47	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Продовження таблиці 4.2.1

Простота використання	Дуже проста	Складніша	Складна
Інтерфейси	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C, CAN, USB, Ethernet	USB, HDMI, Ethernet, GPIO
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Високе
Вартість	\$20 - \$30	\$10 - \$50	\$35 - \$75

4.3 Детальні технічні характеристики обраного МК. Переваги та сумісність з проектом.

Плата керування:

В якості мікроконтролера використовується STM32 NUCLEO-F446RE.

[26]

Відлагоджувальні плати з серії STM32 Nucleo-64 дозволяють розробникам спробувати нові концепції і створити прототипи за допомогою мікроконтролера STM32, вибравши з різних сполучень продуктивності, енергоспоживання і функцій.

Дані плати використовуються в тому числі для управління двигунами, в побутовій техніці, е-велосипедах, кондиціонерах, для вимірювань в промисловому обладнанні, в дронах і іграшках, в серверах, телеком і зарядних станціях для електромобілів.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					48	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						



Рисунок 4.3.1 – STM32 NUCLEO-F446RE

Основні характеристики:

- Мікроконтролер STM32F446RET6U, 32 біт, 180 МГц, ARM Cortex-M4;
- Підтримка широкого вибору інтегрованих середовищ розробки (IDE), включаючи IAR, ARM Keil, IDE на основі GCC;
- Живлення плати: через USB шину або від зовнішнього джерела (3.3 В, 5 В, 7 ... 12 В);
- Дві кнопки: призначена для користувача і скидання;
- USB ST-LINK з ренумерації і трьома інтерфейсами: віртуальний COM порт, пристрій зберігання (Mass storage), порт налагодження.

Одноплатний комп'ютер:

Був використаний мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4. [27]

Ключовими характеристиками даного продукту є новий, високопродуктивний 64-розрядний чотирьохядерний процесор, підтримка двох дисплеїв з роздільною здатністю до 4k через пару micro-HDMI портів, апаратне декодування відео в 4Kр60, від 1-го до 4 х Гб оперативної пам'яті (в

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					49	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

залежності від обраної моделі), дводіпазонна бездротова мережа на 2,4 і 5,0 ГГц, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, два порти USB 3.0 і PoE (за допомогою окремого модуля PoE HAT).



Рисунок 4.3.2 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4

Основні характеристики:

- Процесор: Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz.
- Підтримка SD карт: Слот для карт Micro-SD для завантаження операційної системи та зберігання даних.
- Живлення: 5V DC через роз'єм USB-C (min 3A); 5V DC через роз'єм GPIO (min 3A).

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					50	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

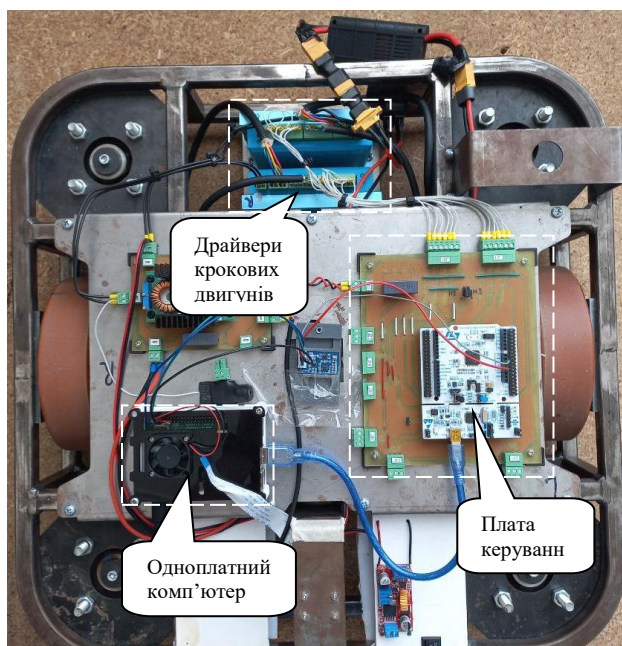


Рисунок 4.3.3 – Розташування МК та одноплатного комп'ютера на прототипі

4.4 Комунікаційні протоколи та мережеві інтерфейси. Опис технічного процесу та алгоритму роботи.

Для забезпечення зв'язку між компонентами системи автоматизації, такими як датчики, актуатори, і контролери, необхідно використовувати різні комунікаційні протоколи та мережеві інтерфейси. У даному проекті ми вирішили використовувати мікроконтролер STM32 та мінікомп'ютер Raspberry Pi для реалізації складського робота.

Таблиця 4.4.1 – Порівняння комунікаційних можливостей STM32 та Raspberry Pi

Параметр	STM32	Raspberry Pi 4
UART	Так (кілька каналів)	Так (через GPIO)
SPI	Так (кілька каналів)	Так (через GPIO)

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Індик М. К.</i>				<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Леонтьєв П. В.</i>						51	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>	<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>							

Продовження таблиці 4.4.1

Параметр	STM32	Raspberry Pi 4
I2C	Так (кілька каналів)	Так (через GPIO)
CAN	Так	Ні
USB	Так (залежить від моделі)	Так (декілька USB портів)
Ethernet	Так (вбудований Ethernet PHY)	Так (Gigabit Ethernet)
Wi-Fi	Через зовнішні модулі	Вбудований модуль (802.11ac)
Bluetooth	Через зовнішні модулі	Вбудований модуль (Bluetooth 5.0)
Підтримка TCP/IP	Так	Так
Наявність стеку протоколів	Так (на рівні прошивки)	Так (на рівні операційної системи)

Ключовими аспектами цієї системи є використання UART для зв'язку між STM32 та Raspberry Pi 4, а також мережевого інтерфейсу Wi-Fi на Raspberry Pi для отримання даних від сервера.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) - це послідовний протокол, який забезпечує простий та ефективний зв'язок між двома пристроями. У нашій системі UART буде використовуватись для передачі даних між STM32 та Raspberry Pi 4.

Налаштування UART:

STM32:

Вибір відповідних пінів для UART (TX та RX).

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					52	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Налаштування параметрів UART (швидкість передачі даних, біт парності, кількість стоп-бітів).

Ініціалізація UART в коді.

Raspberry Pi 4:

Використання GPIO пінів для UART (TX та RX).

Налаштування параметрів UART через конфігураційні файли або програмно.

Ініціалізація UART через бібліотеки (наприклад, pySerial для Python).

Робот є складовою системи сортування посилок в автоматичному режимі. Робот рухаються по складу за координатами та за допомогою системи керування, яка задає необхідні координати та команди кожному з роботів.

Функціональність робота та його підсистеми включають:

- **Автономне переміщення:** Робот може автономно переміщатися по складу, використовуючи мітки на підлозі як точки орієнтації.
- **Керування та телеметрія:** Робот отримує команди від системи керування та надсилає поточні дані телеметрії для моніторингу його стану.
- **Система навігації:** Робот обладнаний системою навігації, яка дозволяє йому визначати своє положення в просторі та планувати оптимальний маршрут переміщення.
- **Система стабілізації руху:** Робот має систему стабілізації руху, яка забезпечує плавний та стабільний рух, що допомагає у попередженні відхилень та забезпеченні точності виконання завдань.

Система керування роботом на складі забезпечує:

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					53	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

- **Зв'язок через Wi-Fi:** Система верхнього рівня встановлює бездротовий зв'язок з кожним роботом за допомогою Wi-Fi для передачі команд та отримання даних.
- **Надсилання команд на переміщення:** Вона надсилає команди на переміщення кожному роботу відповідно до визначеного маршруту, що допомагає забезпечити ефективну організацію роботи на складі.
- **Отримання телеметрії:** Система керування отримує поточні дані телеметрії з кожного робота для моніторингу їхнього стану та ефективності виконання завдань.
- **Оптимізація продуктивності:** Вона вирішує задачу оптимальності з метою підвищення продуктивності сортувального відділення, враховуючи різні фактори, такі як навантаження, часи проходження маршруту та інші.
- **Зв'язок з сервером керування посилками:** Система керування також забезпечує зв'язок з сервером керування посилками для обміну даними та координації складських операцій з обробки та доставки товарів.

Алгоритм роботи:

Плата керування рухом взаємодіє з одноплатним комп'ютером, отримуючи від нього команди щодо руху робота (наприклад, переміститись на відстань n метрів, повернутись на кут n градусів, або зупинитись). Після виконання кожної команди плата повертає підтвердження виконання до комп'ютера.

Крім того, плата регулярно відправляє дані про свою телеметрію до комп'ютера з частотою 100 мс. Ці дані включають в себе інформацію про поточний стан робота (наприклад, чи знаходиться він у русі, в стані спокою, чи зупинено внаслідок аварії, а також кут повороту відносно початкової точки).

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					54	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Повідомлення про телеметрію збираються в чергу та поступово обробляються комп'ютером для подальшого аналізу та управління роботом.

Крокові двигуни виконують наступні функції:

- **Переміщення вперед на відстань n метрів:** Рух вперед здійснюється шляхом синхронізації роботи крокових моторів в одному напрямку. Для досягнення точного переміщення використовується алгоритм розгону та гальмування, що дозволяє контролювати швидкість руху і точність прибуття до місця призначення.
- **Поворот навколо вертикальної осі:** Рух у напрямку повороту забезпечується за рахунок синхронізації роботи крокових моторів в різних напрямках. Для визначення кута повороту використовується зворотний зв'язок, отриманий з датчика повороту, наприклад, акселерометра. Це дозволяє роботу точно визначати своє положення під час поворотів та уникати відхилень.

Такий підхід до керування рухом робота з кроковими двигунами забезпечує точність і стабільність руху, що є важливим для ефективної роботи на складі.

Одноплатний комп'ютер (ОПК):

На ОПК реалізовані наступні програмні модулі:

- **Отримання пакету даних від сервера з ідентифікаторами міток та координатами:** Цей модуль працює за протоколом ТСР/ІР і отримує від сервера пакет даних, що містить ідентифікатори міток та відповідні координати, по яких робот повинен проїхати.
- **Зчитування міток за допомогою камери і корекція розміщення:**

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					55	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Модуль зчитує ідентифікатори міток за допомогою камери і використовує алгоритм корекції розміщення, щоб визначити точне положення робота над кожною міткою. Потім він надсилає ці поточні координати на сервер для подальшого аналізу та використання.

- **Перетворення отриманого пакету в команди для плати керування роботам:** Цей модуль перетворює отриманий від сервера пакет даних в команди для плати керування роботами. Наприклад, він створює команди для руху робота вперед на певну відстань n або повороту в певному напрямку на певний кут m .

Кожен з цих модулів виконує важливу функцію в системі керування роботом на складі, забезпечуючи зчитування міток, визначення координат, а також ефективне керування рухом робота.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					56	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.

У цьому розділі розглянемо економічні аспекти розробки та впровадження автоматизованої системи складського робота. Аналіз охоплює початкові інвестиції, експлуатаційні витрати, економічні вигоди та потенційні ризики. Розуміння економічної частини допоможе оцінити фінансову доцільність проекту та визначити терміни окупності інвестицій.

Початкові інвестиції:

Початкові інвестиції включають витрати на закупівлю обладнання, розробку програмного забезпечення, установку та налагодження системи.

Обладнання:

Мікроконтролер STM32: \$10 за одиницю.

Raspberry Pi: \$35 за одиницю.

Сенсори (QR-сканери, датчики кута тощо): \$100 за набір.

Актуатори (крокові двигуни, драйвери двигунів): \$200 за комплект.

Живлення та інші електронні компоненти: \$50.

Загальні витрати на обладнання: \$395.

Розробка програмного забезпечення (враховуючи те, що це комерційний проект):

Вартість розробки прошивки для STM32: \$3000.

Вартість розробки програмного забезпечення для Raspberry Pi: \$5000.

Інтеграція та тестування системи: \$2000.

Загальні витрати на розробку ПЗ: \$10,000.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					57	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Установка та налагодження:

Витрати на установку обладнання: \$1000.

Витрати на налагодження та калібрування системи: \$500.

Загальні витрати на установку та налагодження: \$1500.

Загальні початкові інвестиції: \$11,895.

Експлуатаційні витрати:

Експлуатаційні витрати включають витрати на обслуговування, електроенергію, навчання персоналу та інші регулярні витрати.

Обслуговування та ремонт:

Планове обслуговування: \$200 на рік.

Ремонт та заміна компонентів: \$300 на рік.

Загальні витрати на обслуговування: \$500 на рік.

Електроенергія:

Споживання енергії (робота протягом 8 годин на день, 365 днів на рік):
50 Вт.

Вартість електроенергії: \$0.12 за кВт·год.

Загальні витрати на електроенергію: \$17.52 на рік.

Навчання персоналу:

Початкове навчання: \$1000.

Постійне навчання (оновлення знань, нові функції): \$200 на рік.

Загальні витрати на навчання персоналу: \$1200 (перший рік) + \$200 на рік.

Загальні експлуатаційні витрати (перший рік): \$1,717.52. Загальні експлуатаційні витрати (наступні роки): \$717.52 на рік.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					58	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Економічні вигоди:

Вигоди від впровадження автоматизованої системи можуть бути як прямими, так і непрямыми. Розглянемо основні з них:

Підвищення продуктивності:

Збільшення швидкості обробки замовлень на 30%.

Зниження помилок при обробці замовлень на 20%.

Зниження витрат на персонал:

Зниження потреби у ручній праці на 50%.

Зниження витрат на оплату праці: \$20,000 на рік.

Зменшення втрат:

Зниження пошкоджень товару на 15%.

Зменшення втрат через помилки: \$5,000 на рік.

Загальні економічні вигоди: \$25,000 на рік.

Терміни окупності інвестицій

Для визначення термінів окупності інвестицій, необхідно порівняти початкові інвестиції та експлуатаційні витрати з економічними вигодами.

Річна економія (перший рік):

Економічні вигоди: \$25,000.

Експлуатаційні витрати (перший рік): \$1,717.52.

Чистий дохід (перший рік): $\$25,000 - \$1,717.52 = \$23,282.48$.

Початкові інвестиції: \$11,895.

Терміни окупності: $\$11,895 / \$23,282.48 \approx 0.51$ років, або приблизно 6 місяців.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					59	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Потенційні ризики:**Технічні ризики:**

Можливі збої в роботі обладнання.

Необхідність частих оновлень ПЗ.

Фінансові ризики:

Високі початкові інвестиції.

Непередбачені витрати на обслуговування та ремонт.

Ризики навчання персоналу:

Можливість недостатньої кваліфікації персоналу.

Витрати на додаткове навчання.

Висновок до розділу:

Автоматизована система складського робота на основі STM32 та Raspberry Pi є економічно вигідною інвестицією. Початкові витрати окупаються менш ніж за один рік, що робить проект привабливим з фінансової точки зору. Впровадження цієї системи не лише підвищує продуктивність та точність складських операцій, але й знижує витрати на персонал та втрати через помилки. Однак, необхідно враховувати потенційні ризики та вживати заходів для їх мінімізації.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					60	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було розроблено і впроваджено автоматизовану систему керування складського стелажного робота. Цей проект став кроком у майбутнє логістики, пропонуючи ефективні та надійні рішення для вдосконалення процесів складського управління.

Була описана структура об'єкту керування та окремі його елементи, побудовані структурні та функціональні схеми окремих частин системи.

Ознайомилися з давачами, сенсорами і виконавчими механізмами та методами роботи з ними.

Розроблено принципову електричну схему для керування всією електричною системою експериментального стелажного робота. Вона забезпечує інтеграцію та взаємодію всіх компонентів робота, таких як мотори, сенсори, контролери та інші електронні пристрої.

Побудовано експериментальний прототип для:

- вивчення можливостей та обмежень стелажних роботів для подальшого вдосконалення їх дизайну та функціоналу;
- випробування нових алгоритмів навігації, взаємодії з оточенням, оптимізації маршрутів та інших аспектів роботи на практичних завданнях;
- демонстрації потенціалу стелажних роботів і привертання інвестицій або зацікавленості потенційних партнерів тощо.

Розроблено та налагоджено систему керування складського робота з використанням передових технологій у сфері автоматизації на основі мікроконтролера STM32 та міні-комп'ютера Raspberry Pi.

Вдало вирішено технічні виклики, пов'язані з механічним дизайном, алгоритмами керування та збором даних у реальному часі.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					61	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Досягнуті значні економічні вигоди через зменшення витрат на працю, збільшення продуктивності та зниження втрат, що призвело до значних економічних вигод для підприємства.

Надбання для майбутньої роботи:

1) Можливі покращення: Подальший розвиток алгоритмів керування для поліпшення точності та швидкості роботи. Вдосконалення інтеграції з іншими системами управління складом.

2) Напрямки майбутніх досліджень: Дослідження можливостей використання штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації роботи складу. Вивчення новітніх технологій у сфері робототехніки та автоматизації.

3) Практичні надбання для логістичної індустрії: Впровадження автоматизованих систем управління складом може стати ключовим фактором у підвищенні конкурентоспроможності підприємств у логістичній галузі. Збільшення продуктивності та зниження витрат допоможе підприємствам забезпечити ефективну роботу та задовольнити потреби споживачів.

В завершенні можна сказати, що даний дипломний проект розроблений з урахуванням сучасних тенденцій, розробок та новітніх технологій в галузі, які спрямовані на покращення процесів складського управління та підвищення ефективності логістичних операцій. Таким чином, даний проект не лише демонструє високий рівень технічної компетенції, але й робить значний внесок у розвиток автоматизації та оптимізації складських процесів, що має велике значення для майбутнього логістичної індустрії.

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					62	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація складів: усе, що вам потрібно знати. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.evsint.com/uk/all-you-need-to-know-about-warehouse-robotics/>
2. Автоматизація та роботизація складу і логістичних підприємств. – Режим доступу до ресурсу: <https://sunone.com.ua/articles-uk/avtomatizaciya-ta-robotizaciya-skladu-i-logistichnih-pidpriiemstv/>
3. Робототехніка в логістиці: Скільки компанії інвестують у роботів? – Режим доступу до ресурсу: <https://synexlogistics.com/ua-uk/statti/robototehnika-v-logistyczi-skilky-kompaniyi-investuyut-u-robotiv/>
4. Як у Amazon. Український стартап Deus Robots створює роботів-сортувальників. – Режим доступу до ресурсу: <https://forbes.ua/ru/news/yak-u-amazon-ukrainskiy-startap-deus-robots-stvoryue-robotiv-cortuvalnikiv-na-shcho-vin-vitratit-5-mln-investitsiy-vid-spivvlasnika-atb-29122021-3083>
5. Warehouse Management Problems and Their Solutions. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.zoho.com/inventory/guides/common-problems-in-warehousemanagement-and-their-solutions.html>
6. Top Warehouse Automation Challenges and How to Overcome Them. – Режим доступу до ресурсу: <https://sdi.systems/blog/top-warehouse-automation-challenges-and-how-to-overcome-them/>
7. A Step-by-Step Guide to Automation in Warehousing. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.vecnarobotics.com/resources/step-by-step-automation-in-warehousing/>
8. Global Path Planning for Unmanned Ground Vehicles / Giesbrecht, J // Technical Memorandum / Giesbrecht, J. – Canada, 2020. – Р. 3 – 37.
9. Recent Advances in Robot Path Planning Algorithms: A Review of Theory and Experiment Description / Jahanshahi, Hadi, Najafizadeh Sari, Naeimeh, Pham, Viet-Thanh, Khajepour, Roya, Volos, Christos K. // Nova Science Publishers / Jahanshahi, Hadi, Najafizadeh Sari, Naeimeh, Pham, Viet-Thanh, Khajepour,

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>				63	65	
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

Roya, Volos, Christos K. – New York, 2020. – P. 13 – 66.

10. Path Planning and Trajectory Planning Algorithms: A General Overview / Gasparetto, Alessandro, Boscariol, Paolo, Lanzutti, Albano, Vidoni, Renato // Mechanisms and Machine Science / Gasparetto, Alessandro, Boscariol, Paolo, Lanzutti, Albano, Vidoni, Renato. – Cham, 2019. – P. 3-27.

11. Comparison of optimal path planning algorithms / M. Korkmaz and A. Durdu // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering / M. Korkmaz and A. Durdu. – Lviv, 2018. – P. 255 – 258.

12. Real-Time Data: An Overview and Introduction. – Режим доступу до ресурсу: https://www.splunk.com/en_us/blog/learn/real-time-data.html

13. 10 Things To Consider When Choosing a Test Automation Tool. – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.qasource.com/10-things-to-consider-when-choosing-a-test-automation-tool>

14. LG F10 літєвий акумулятор 10Ан 3,7 В. – Режим доступу до ресурсу: <https://xebike.com/product/lg-f10-trekskomponentnyj-myagkij-polimernyj-akkumulyator-li-ion-10ah-37-v/>

15. ПЕРЕМИКАЧ 1 КЛАВІШНИЙ ЧЕРВОНИЙ З ПІДСВІЧУВАННЯМ. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/uczpb>

16. Ватметр постійного струму 60В 150А. – Режим доступу до ресурсу: <https://rezist.com.ua/izmeritelniepribori/voltmetrampermetr/vattmetrpostojannogo-toka-60v--150a->

17. DC-DC 300W Uin-7...32В. – Режим доступу до ресурсу: <https://electronica.in.ua/ua/p1530391824-ponizhayuschij-preobrazovatel-regulirovkoj.html>

18. Понижающий перетворювач на XL4015 з 4-38В. – Режим доступу до ресурсу: <https://electronica.in.ua/ua/p1568933322-ponizhayuschij-preobrazovatel-xl4015.html>

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					64	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

19. ДРАЙВЕР КРОКОВОГО ДВИГУНА З ЕНКОДЕРОМ LEADSHINE HBS57. – Режим доступу до ресурсу: <https://refit.com.ua/drajvery-shd-s-tnkoderom/drajver-shagovogo-dvygatelja-leadshine-hbs57.html>
20. Камери Raspberry Pi. – Режим доступу до ресурсу: <https://raspberrypi.com.ua/c/raspberry-pi/pi-cam/page/2/>
21. Модуль давачів 10-DOF IMU Sensor. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod2799-kombinaciya-datchikov-10-dof-imu-sensor-s-nizkim-potrebleniem>
22. Кроковий двигун NEMA23 2.2N/M. – Режим доступу до ресурсу: <https://grizlicnc.com.ua/tovar-shagovyj-dvigatel-nema23-22nm>
23. Світлодіодний модуль 12В білий холодний 3led smd3030 1.5W IP65. – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/uczwj>
24. "Microcontroller Selection Guide" by Microchip Technology Inc. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.microchip.com/>
25. Порівняння між мікроконтролерами та Arduino: який варіант найкращий? – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/uczyk>
26. STM32 NUCLEO-F446RE. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod1845-plata-razrabotchika-nucleo-f446re>
27. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4. – Режим доступу до ресурсу: <https://evo.net.ua/ru/mikrokomputer-raspberry-pi-4-model-b-4gb/>

					<i>СУ-01.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Індик М. К.</i>			<i>Автоматизована система керування роботом сортувальником Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Леонтьєв П. В.</i>					65	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-01</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						