МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач 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: «Автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях»

Здобувача(ки) групи СУ-01 Бугайов Олексій Володимирович

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

_____ Олексій БУГАЙОВ
(підпис)

Керівник:
Доцент кафедри комп'ютеризованих
систем управління,
доцент, к.ф.-м.н. Сергій СОКОЛОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ) _____ (підпис)

Суми–2024

Ном.поз	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ екз.	Примітки
			Документація загальна			
			Застосована			
1			Завдання кафедри	1		
			Новорозроблена			
2		ТЗ	Технічне завдання	2		
3			Анотація	1		
4	А4	СУ-01 6.151.01 ПЗ	Пояснювальна записка	45		
			Документація конструкторська			
			Новорозроблена			
5	А3	СУ-01 6.151.01 А	Функціональна схема автоматизації	1		
6	А4	СУ-01 6.151.01 СЗ	Схема з’єднань	1		
7	А4	СУ-01 6.151.01 С	Схема структурна	1		
8	А4	СУ-01 6.151.01 А3	Схема принципово-електрична	11		

					СУ-01.6.151.02.ДП	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
		Бугайов О.В.			Автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях	Літ. / Арк. / Аркушів
		Соколов С.В.				
Реценз.						СумДУ, СУ-01
Н. Контр.						
Затверд.		Леонтьев П.В.				

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
Бугайову Олексію Володимировичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 5 " червня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: _звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалом про подібні системи.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):

- Загальні відомості про робокар та роботів-маніпуляторів
- Загальні принципи робокару
- Структура робокару
- Алгоритми роботи робокару
- Принцип збору та логування дій оператора та робокару
- Підбір комплектуючих

5. Перелік графічних матеріалів: 23 рисунки, 7 таблиць.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Ознайомлення із завданням	10.05.24
2	Аналітичний огляд	12.05.24-13.05.24

3	Опис та вимоги до системи керування	13.05.24 - 15.05.24
4	Розробка функціональної схеми	15.05.24-20.05.24
5	Розробка алгоритма автоматизації	20.05.24-23.05.24
6	Вибір обладнання та розробка шафи керування маніпулятором	23.05.24-28.05.24
7	Графічна частина	28.05.24-29.05.24
8	Оформлення дипломного проекту та технічної документації.	01.06.2024

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

Керівник проекту:

Доцент кафедри
комп’ютеризованих
систем управління, доцент, к.ф.-м.н. Соколов С.В.

Здобувач:

студент гр. СУ-01 Бугайов О.В.

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

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектування автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях

Розробник:
студент групи СУ-01 Бугайов О.В.

Погоджено:
Доцент кафедри
комп’ютеризованих
систем управління, доцент, к.ф.-м.н Соколов С.В.

Суми – 2024

1. ***Назва і галузь застосування:***

   Автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях.

2. ***Підстави для проектування*:** Наказ ректора Сумського державного університету № _____ від _____, інші договори або замовлення.

3. **Загальний опис об'єкта автоматизації:** Робокар для автоматизації транспортування у складських приміщеннях, призначений для оптимізації логістичних процесів, забезпечення точності роботи і підвищення безпеки. Робокар оснащений механічною рукою, яка мімікує функціональність людської руки, дозволяючи здійснювати завантаження та розвантаження товарів. Вона складається з трьох частин, здатних здійснювати затискання, обертання на 360 градусів у горизонтальній площині, та переміщення по діагоналі. Робокар здатен функціонувати у двох режимах: автономному та ручному, дозволяючи оператору вибирати оптимальний спосіб управління залежно від завдання.

4. ***Опис блоків системи керування*:**

- *Блок живлення*
- *Блок контролю положення плечей маніпулятора*
- *Блок контролю руха та напряму руха робокара*
- *Блок панелі керування*
- *Блок аварійної сигналізації*

5. ***Опис алгоритмів та режимів роботи системи***.

   Опис алгоритму роботи робокару можна розділити на три основних етапи:

   Початковий етап - це активація системи та встановлення початкових параметрів.

   - На цьому етапі оператор запускає робокар за допомогою кнопки "Пуск". Контролер отримує сигнал від кнопки і ініціалізує всі системи.
   - Робокар перевіряє своє положення та позиціонування, передає дані на контрольний пульт. В залежності від отриманих даних, контролер встановлює маршрут до зони завантаження або початкової зони.

Нормальний режим - це робота робокара за заданим алгоритмом вантаження і транспортування.

- Робокар рухається до визначеної точки завантаження. Механічна рука за допомогою кординат положення і алгоритмів здійснює затискання і переміщення вантажу.
- Після завантаження, робокар продовжує свій маршрут до точки розвантаження. У разі виявлення оператором помилок або несподіваних перешкод, оператор переводить робокар у аварійний режим для запобігання можливих пошкоджень або зіткнень. Це забезпечує безпеку обладнання та ефективність виконання завдань.

Автоматичний режим - це активація системи ручного керування оператором з пульта та встановлення параметрів.

- Далі оператор керує та спрямовує робокар в ручному режимі за допомогою джойстиків та пульта.

6. ***Умови експлуатації системи керування:***

Умови експлуатації системи управління: вільний робочий простір складу для руху робокара, відсутність завад, зони налаштовані загрузку та вигрузку для робокара

управління – 220В; частота – 50 Гц; живлення пристрою керування – 6-20В; 16 МГц. Ступінь захисту складових частин обладнання автоматизації – не нижче IP 20.

7. ***Технічні вимоги*:**

Технічні вимоги: ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Автоматизація технічних процесів; ДСТУ 12.2.016 – 81 Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки.

8. ***Стадії та етапи проектування*****:**

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	15.05.24 - 16.05.24
2	Аналіз предметної області. Область застосування.	16.05.24 - 20.05.24
3	Розробка концепту робокару	20.05.24 - 22.05.24
4	Розробка алгоритмів керування робокару	22.05.24 - 26.05.24
5	Вибір комплектуючих для концепту	26.05.24 - 29.05.24
6	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	01.06.24

9. Додатки:

Додаток А. Мнемо-схема

Додаток Б. Функціональна схема

Додаток В. Схема з’єднань.

Додаток Г. Структурна схема

Додаток Д. Принципова схема

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях

Автор: Бугайов Олексій Володимирович; Сумський державний університет; 4 курс; Суми.

Керівник: Соколов Сергій Вікторович; Доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління, доцент, к.ф.-м.н.

Робота вступ, три розділи та висновки в основному тексті, загальним обсягом 70 сторінки, 23 рисунків, 23 джерел інформації.

Актуальність теми дипломного проекту обумовлена зростаючою потребою в автоматизації та оптимізації логістичних процесів на складах, зниженні витрат та підвищенні ефективності обробки замовлень. Розробка робокара, оснащеного механічною рукою, для точного маніпулювання вантажами, та системою логування подій, відповідає цим вимогам, дозволяючи зменшити людський фактор, підвищити точність виконання робіт та безпеку персоналу і вантажу.

Було проаналізовано різноманітні типи роботизованих транспортних засобів, їх конструктивні особливості та кінематика. Розроблено проект робокара з новітніми конструкційними та кінематичними рішеннями. Особливість цієї системи полягає в її адаптивності та можливості оптимізації процесів завантаження і розвантаження. Аналіз сучасних роботизованих систем дозволив виявити слабкі місця існуючих моделей, що спонукало до покращення конструкції та кінематики робокара.

Мета роботи полягає у розробленні робокара, який би ефективно виконував завантажувальні та розвантажувальні операції в складських умовах, забезпечення масштабування та аналізу роботи робокара для підвищення ефективності роботи робокара та інженера який ним буде керувати, або навчання нових інженерів на основі журналу подій з плином часу, забезпечуючи високу швидкість та точність

переміщення товарів. Для досягнення цієї мети було використано методи системного аналізу, моделювання та експериментальних досліджень.

Отримані результати показали значне зниження часу на складські операції, підвищення загальної безпеки та зниження витрат на персонал. Висновки роботи підтверджують, що впровадження робокара може значно оптимізувати логістику на складах, заощадити кошти на людські ресурси, зменшити помилки при підборі товарів та забезпечити безпечне середовище для складських працівників.

Завдяки впровадженню розроблених конструкцій, технологій логування та кінематичних рішень, було досягнуто підвищення ефективності роботи в складських приміщеннях, збільшено робочу площу та зменшено зони, недоступні для маніпулювання вантажем, також підвищена безпека персоналу складу та пакунків.

Ключові слова: автоматизація, логістика, робокар, складські процеси, система управління, механічна рука, транспортування, програмування, оптимізація процесів, безпека на складі, журнал подій, логування, база даних.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ _____ 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту
зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему:
«Автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях»

Керівник проекту:
Доцент кафедри
комп'ютеризованих
систем управління, доцент, к.ф.-м.н Соколов С.В

Здобувач:
Студент групи СУ-01 Бугайов О.В.

Суми – 2024

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ **3**

ВСТУП **4**

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД **7**

1.1 Поняття та сутність автоматизації складських процесів 7

1.2 Роботизовані транспортні засоби в автоматизації 9

1.2.1 Робокари: загальні поняття, класифікація, принципи роботи 10

1.2.2 Переваги та недоліки використання робокарів для автоматизації складських операцій 14

РОЗДІЛ 2 Проектування робокара для складських приміщень **16**

2.1.1 Основні завдання та функції системи 16

2.2 Алгоритм керування виконавчим механізмом 21

2.3 Функціональна схема 24

2.4 Журнал подій дій робокара та інженера ручного керування 27

2.4.1 Журнал подій робокара 27

2.4.2 Журнал подій дій інженера 28

РОЗДІЛ 3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА ШАФИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ **30**

3.1 Вибір програмованого логічного контролера та компонентів кінематики 30

3.1.1 Контролер Schneider Electric Modicon M241 30

3.1.2 Драйвери крокових двигунів 33

3.1.3 Кроковий двигун з енкодером 36

3.1.4 Гіроскоп-акселерометр 38

ВИСНОВОК **42**

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ **44**

					СУ-01.6.151.02.ПЗ		
Змін.	*Арк.*	*№ докум.*	*Підпис*	*Дата*			
Розроб.		*Бугайов О.В.*			*Автоматизація процесу транспортування в складських приміщеннях*	*Літ.*	*Арк.*	*Аркушів*
Перевірив		*Соколов С.В.*						
Реценз.						*СумДУ, СУ-01*		
Н. Контр.								
Затверд.		*Леонтьев П.В.*						

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ВМ – виконавчий механізм
- Д – давач
- ДПТ – двигун постійного струму
- КК – контур керування
- Логування – Події журналу подій
- МК – мікроконтролер
- ПЗ – програмне забезпечення
- ПЛК – програмований логічний контролер
- СА – схема автоматизації
- САУ – система автоматичного управління
- СУ – система управління

ВСТУП

У сучасному світі, де швидкість та ефективність логістичних процесів відіграють ключову роль у забезпеченні конкурентоспроможності підприємств, автоматизація складських приміщень набуває особливого значення. Впровадження інноваційних технологій дозволяє значно підвищити продуктивність та знизити витрати, що є критично важливим у умовах глобалізації та зростаючої конкуренції. Одним із перспективних напрямків автоматизації є використання роботизованих транспортних засобів, зокрема робокарів, які забезпечують виконання рутинних операцій без участі людини. Автоматизація дозволяє значно знизити витрати на персонал, підвищити точність та знизити час обробки замовлень. В цьому контексті розробка робокара для автоматизації транспортування стає актуальним напрямком досліджень.

Об'єктом дослідження є робокара.

Основною метою є розроблення ефективної системи, яка дозволить автоматизувати завантажувально-розвантажувальні роботи, знизити трудовитрати та мінімізувати ризики, пов'язані з людським фактором.

Робокар, який є предметом цього дослідження, оснащений механічною рукою з функціями обертання, вертикального та горизонтального руху, що дозволяє точно виконувати маніпуляції з пакунками.

Завдання дослідження:

- Проаналізувати сучасні концепції та сутність автоматизації складських процесів.
- Огляд роботизованих транспортних засобів, їх класифікації та принципів роботи з акцентом на робокари**.** Розглянути переваги та можливі недоліки використання робокарів для автоматизації складських операцій.
- Розробити основні функції системи
- Розробити алгоритми функціонування та керування.
- Розробити ФСА.

- Розробити структурну схему.
- Провести підбір комплектуючих для усіх елементів системи робокар.

Очікувані результати:

Підвищення ефективності логістичних операцій, забезпечити високу точність, безпечність та надійність виконання завдань. На довгострокову перспективу – зменшення фінансових затрат на людські ресурси.

В рамках цієї роботи буде проведено теоретичний аналіз сучасних технологій автоматизації складських процесів, зокрема використання роботизованих транспортних засобів. У першому розділі будуть розглянуті поняття та сутність автоматизації складських процесів, а також етапи розвитку цієї технології. Другий розділ буде присвячено проектуванню робокара, де будуть детально описані функціональні задачі, алгоритми керування, алгоритми логування (журналу подій), конструкція механічної руки та навігаційні системи. У третьому розділі будуть обговорені вибір обладнання та розробка системи управління робокаром.

Система робокар стане важливим кроком у напрямку цифровізації та автоматизації сучасних складських господарств, що сприятиме підвищенню їх конкурентоспроможності на ринку.

Використанні методи досліджень експериментальне моделювання.

Наукова цінність полягає в автоматизації процесу фасування, складування та траспортарування в складських приміщеннях.

Прикладна цінність полягає у: розробці конструкції робота – фасувальника для роботи на складових приміщеннях, та інноваційної системи логування подій робокара – системи збору подій, аварійних станів які відбуваються в процесі роботи робокара.

Робота складається з введення, трьох розділів, висновків та списку використаної літератури, загальний обсяг роботи становить 70 сторінок. Практичне значення одержаних результатів проявляється у можливості їх використання на складських комплексах для оптимізації логістичних процесів, зниження витрат та підвищення ефективності роботи.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Поняття та сутність автоматизації складських процесів

Автоматизація складських процесів є ключовим елементом сучасного управління матеріальними потоками і відіграє важливу роль у підвищенні ефективності, точності та швидкості складських операцій. Вона передбачає застосування різноманітних технологій та систем, що дозволяють мінімізувати людську участь у рутинних процесах та покращити управління ресурсами складу [1].

Рисунок 1.1 - Приклад сучасної автоматизації складських процесів [1]

Автоматизація складських процесів — це впровадження комп'ютеризованих систем та роботизованих пристроїв для оптимізації і контролю всіх процесів, які відбуваються на складі, від прийому товарів до їх відправлення. Це включає автоматизацію таких задач, як управління запасами, зберігання, підбір замовлень, упаковку, та транспортування.

Сутність автоматизації полягає у створенні такої складської системи, яка могла б самостійно виконувати певні задачі, без постійного втручання людини. Це дозволяє зменшити людські помилки, покращити швидкість обробки замовлень та підвищити загальну продуктивність [1].

Роль технологій у автоматизації складських процесів

Автоматизація неможлива без використання передових технологій. Основні технології, що використовуються в автоматизації складських процесів, включають:

1. **Системи управління складом (WMS)** - програмне забезпечення, яке координує основні операції на складі, такі як прийом, зберігання, відвантаження, та інвентаризація.

2. **Автоматизовані системи зберігання та вибірки (ASRS)** - механічні системи, які автоматично переміщають товари до та з місць зберігання.

3. **Роботизовані транспортні засоби (AGV та AMR)** - мобільні роботи, які перевозять товари всередині складських приміщень.

4. **Системи ідентифікації** - використання штрих-кодів та RFID-технологій для швидкого та точного відстеження товарів на складі.

Переваги автоматизації

Автоматизація складських процесів приносить значні переваги, включаючи:

- **Зниження витрат**: Зменшення потреби в ручній праці та зниження втрат від помилок і пошкодження товарів.
- **Підвищення точності**: Висока точність в обліку запасів та відвантаженні товарів.
- **Покращення продуктивності**: Швидше оброблення замовлень і більша продуктивність праці.
- **Підвищення гнучкості**: Можливість швидко адаптуватися до змінних умов ринку та замовлень.

Вплив автоматизації на ефективність складських операцій

Автоматизація дозволяє значно підвищити швидкість обробки замовлень і зменшити кількість помилок. Наприклад, роботизовані системи можуть працювати без перерви, що забезпечує додаткові 16 годин роботи, враховуючи те що звичайний робочий день людини яка виконує такі самі завдання дорівнює 8 годинам. Також, застосування сучасних технологій допомагає знизити трудомісткість робіт і відповідно витрати на оплату праці та кількість необхідного персоналу [2].

Економічний аспект

Автоматизація складських процесів може вимагати значних капіталовкладень на початковому етапі, але в довгостроковій перспективі вона забезпечує зниження витрат за рахунок зменшення потреби у ручному виконанні задач, тобто зменшує кількість людських ресурсів, за підвищення безпеки на виробництві.

1.2 Роботизовані транспортні засоби в автоматизації

Роботизовані транспортні засоби, зокрема робокари, відіграють вирішальну роль у модернізації та оптимізації складських операцій. Вони не лише підвищують ефективність, але й сприяють безпеці та точності процесів завантаження і розвантаження.

Особливо актуальним напрямком їх використання є впровадження підлогових самохідних візків, таких як робокари, обладнаних системами перевезення та взаємодії з автоматизованими складами та буферними зонами, в сферу групових вантажоперевезень.

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд існуючих роботів [3]

1.2.1 Робокари: загальні поняття, класифікація, принципи роботи

Загальні поняття

Робокари — це автономні транспортні засоби, призначені для виконання спеціалізованих завдань у складських приміщеннях без безпосередньої постійної участі людини, призначені для точного виконання завдань завантаження, розвантаження та транспортування товарів у складських приміщеннях. Оснащені механічною рукою та керовані за допомогою визначених алгоритмів, вони забезпечують високу точність у переміщенні вантажів.

Їхня робота базується на використанні програмованих логічних контролерів та алгоритмів управління, що забезпечують необхідні дії механічної руки. Також вони оснащені енкодерами та двигунами для точного переміщення у заданому напрямку і виконання необхідних маніпуляцій з товаром.

У виробництві транспортні роботи представляють собою середнє рішення між неперервними конвеєрами та ручними навантажувачами. Вони відзначаються гнучкістю та автономністю, завдяки своїй автоматизації. Важливою перевагою є можливість легко прокладати та змінювати маршрути для роботів. Транспортні роботи можуть працювати на стаціонарних площинах і не потребують спеціального робочого середовища [3].

Крім того, робокари, які живляться від бортових акумуляторів, ефективніше витрачають енергію порівняно з неперервними конвеєрами, в тому числи тому що вмикатись можуть тільки в момент потреби.

Для руху робокарів використовуються електродвигуни постійного струму зі змішаним збудженням.

Головним завданням управління робокаром є забезпечення руху по заданому маршруту з максимальною швидкістю та точністю зупинки у визначених точках. Така автоматизована технологія відкриває нові можливості для оптимізації та підвищення продуктивності вантажоперевезень у сучасному виробництві.

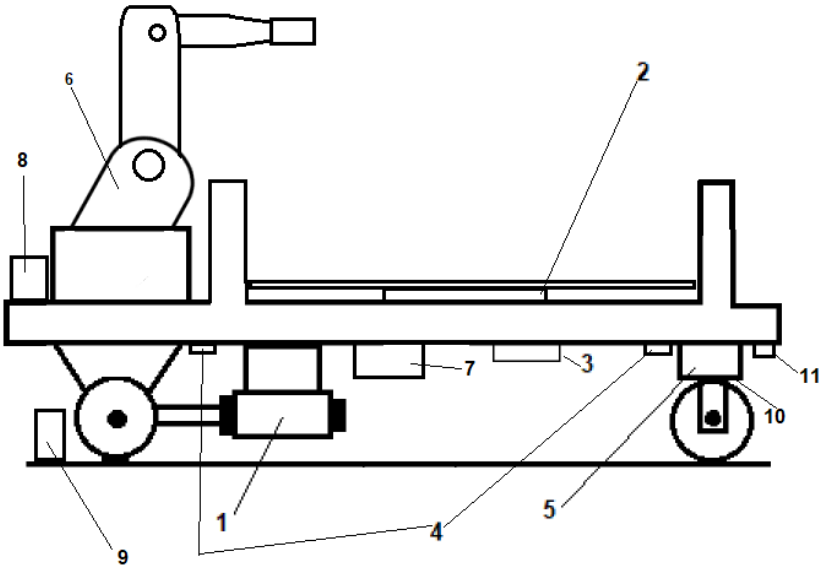

Рисунок 1.3 - Зовнішній вид робокару

1 – ДПС, 2 – давач маси вантажу, 3 – МК (мікроконтролер), 4 – давачі траєкторії (скоріш за все – давач електромагнітного поля), 5 – система рульового керування, 6 – робот маніпулятор, 7 – акумулятор, 8 – консоль програмування (позицій та поворотів), 9 – пристрої, які знаходяться біля можливих позицій зупинки автокару (біла пластина, на яку почергово нанесені білі та чорні полоски), 10 – давач куту повороту робокару, 11 – давач для зчитування позиції для зупинки чи повороту (сканер штрих-коду)

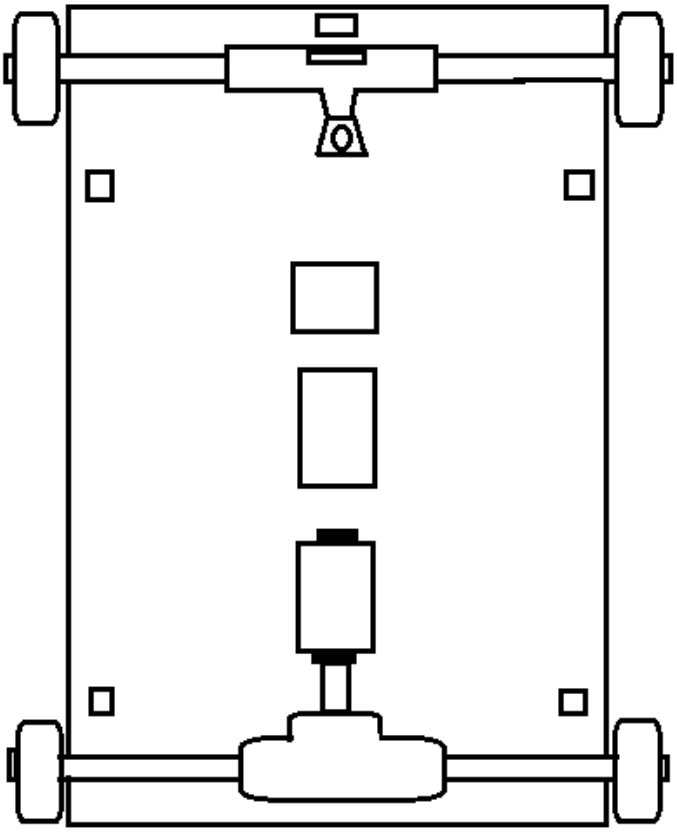

Рисунок 1.4: Зовнішний вид дна робокару

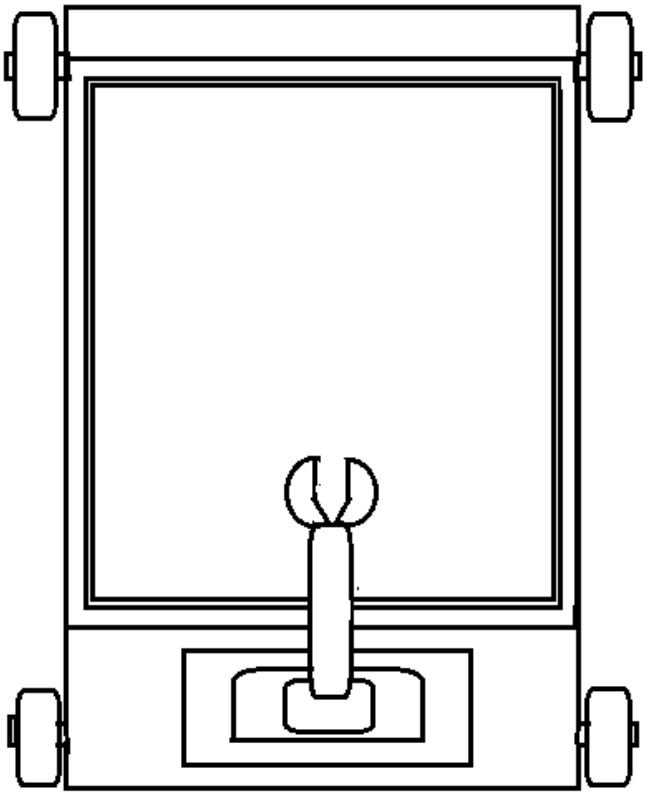

Рисунок 1.5: Зовнішний вид робокару зверху

Класифікація

Робокари можна класифікувати залежно від їхніх функціональних можливостей:

- **Стандартні робокари**, що виконують базові транспортні операції.
- **Розширені моделі**, що оснащені додатковими механізмами для складніших завдань, як-от механічна рука з затискачем та здатністю обертання.

Принципи роботи

Робокари функціонують за допомогою встановлених алгоритмів для контролю переміщення до певної точки та руху механічної руки, яка виконує завантаження та розвантаження. Рука складається з трьох частин, здатних виконувати затискання, обертання на 360 градусів у горизонтальній площині та вертикальний рух. Робокар обладнаний системою навігації для точного переміщення до визначених координат [4].

Їх робочі принципи базуються на наступних ключових технологіях та методиках:

1. **Програмований логічний контролер (PLC)**: Ядро управління робокаром, PLC координує всі основні операції та процеси. Цей контролер приймає вхідні дані від датчиків та виконує алгоритми, які вказують механічним та електронним компонентам, що робити в залежності від поточних завдань та стану навколишнього середовища.
2. **Енкодери та двигуни**: Робокари оснащені енкодерами, які забезпечують точне позиціювання. Енкодери вимірюють кутове положення коліс та інших рухомих частин, дозволяючи робокару точно визначати своє положення у складському просторі та забезпечувати необхідні переміщення. Двигуни забезпечують потрібну кінетичну енергію для переміщення робокара та маніпуляцій механічною рукою.

3. **Механічна рука**: Це основний виконавчий механізм робокара, який імітує функції людської руки. Механічна рука може обертатися на 360 градусів у горизонтальній площині та переміщатися вертикально. Вона оснащена затискачем для захоплення та переміщення вантажів. Управління механічною рукою відбувається за допомогою спеціалізованих алгоритмів, які дозволяють їй виконувати завдання з високою точністю та надійністю.
4. **Алгоритми управління**

Ці принципи роботи робокарів забезпечують їх ефективність у складській логістиці, дозволяючи замінити традиційні методи вантажопереміщення та відкриваючи нові можливості для оптимізації складської діяльності [4].

1.2.2 Переваги та недоліки використання робокарів для автоматизації складських операцій

Переваги

- **Збільшення продуктивності**: Автоматизація дозволяє значно збільшити швидкість обробки вантажів, оскільки робокари можуть працювати цілодобово, забезпечуючи постійний потік роботи без перерв на відпочинок.
- **Точність в операціях**: Висока точність позиціонування та оброблення замовлень зменшує помилки і витрати на повернення.
- **Зменшення витрат на персонал:** Впровадження робокарів зменшує потребу в ручній праці, що дозволяє скоротити витрати на заробітну плату та пов'язані з цим соціальні виплати.
- **Підвищення безпеки**: Мінімізація ризиків, пов'язаних із людським фактором, знижує ймовірність виробничих травм [5].

Недоліки

1. **Висока вартість інвестицій**: Першочергове обладнання та програмне забезпечення для робокарів вимагають значних капіталовкладень.

2. **Потреба у технічному обслуговуванні**: Регулярне обслуговування та оновлення програмного забезпечення необхідні для забезпечення стабільності та ефективності роботи систем.
3. **Залежність від технічного стану**: Несправності у програмному забезпеченні або апаратній частині можуть призвести до зупинок в роботі, що вимагає швидкого вирішення проблем або ручного втручання [5].

Недоліки

Висока вартість інвестицій: Першочергове обладнання та програмне забезпечення для робокарів вимагають значних капіталовкладень.

Потреба у технічному обслуговуванні: Регулярне обслуговування та оновлення програмного забезпечення необхідні для забезпечення стабільності та ефективності роботи систем.

Залежність від технічного стану: Несправності у програмному забезпеченні або апаратній частині можуть призвести до зупинок в роботі, що вимагає швидкого вирішення проблем або ручного втручання. [5]

Неможливість діяти самостійно у нетипових ситуаціях: Робакар може виконувати закладені в нього скрипти та сигналізувати про якісь перешкоди на панель керування. Але прийняття рішення відносно того як вирішити ту чи іншу проблему в роботі робокара приймає безпосередньою людина, і скеровую в ручному режимі з панелі керування. [5]

З урахуванням цих факторів, важливо ретельно планувати процес впровадження робокарів у складські операції, оптимізуючи витрати та максимізуючи вигоди від автоматизації.

РОЗДІЛ 2 Проектування робокара для складських приміщень

2.1.1 Основні завдання та функції системи

Проблематика сучасних складських приміщень тісно пов'язана з великим обсягом товарообігу та постійною потребою забезпечення швидкості, точності та безпеки в процесах транспортування та маніпулювання вантажами. Ці фактори вимагають від складських комплексів вищої гнучкості та оптимального використання доступного простору і ресурсів. Наприклад, традиційні методи роботи, які залежать від людської праці, часто характеризуються помилками в підборі товарів, не обережністю та повільністю що може вести до затримок та збільшення витрат на повернення товарів.

Склади стикаються з викликами, як-от затримки в обробці замовлень, помилки у підборі товарів та нещасні випадки через людський фактор. Наприклад, згідно зі звітом Світової асоціації матеріально-технічного забезпечення, середні витрати на логістику складають близько 12% від загальної суми продажів компанії, і значна частина цих витрат припадає на експлуатацію складських приміщень. Також, статистика вказує на те, що приблизно 30% всіх складських операцій можуть бути оптимізовані за допомогою впровадження автоматизованих систем [5].

Також, ручне управління вантажами призводить до підвищення травматизму на виробництві, особливо при виконанні важких або монотонних задач. Це не лише становить серйозний ризик для здоров’я працівників, але й призводить до значних фінансових втрат для компанії.

Додатково, людський фактор на складі є змінним та часто непередбачуваним. Працівникам потрібні перерви на відпочинок,

а якість їх роботи може значно коливатися в залежності від настрою, який компанії також важливо підтримувати. У відміну від людей, робокари можуть працювати цілодобово без перерв, при належному технічному обслуговуванні. Вони вимагають лише мінімальних витрат на електроенергію, що є особливо вигідним для великих транспортних компаній, подібних до Amazon [7].

Вони не лише зменшують залежність від людського елементу, але й забезпечують більшу однорідність та надійність у виконанні повсякденних завдань. Це може особливо проявитися в умовах, де необхідна висока точність та постійний контроль якості. Окрім того, автоматизація дозволяє реалізувати більш складні та інтегровані системи управління складом, забезпечуючи більш глибокий аналіз даних та прогнозування потреб, що, в свою чергу, сприяє оптимізації запасів і зниженню надлишкових витрат.

Проект розробки робокара для автоматизації транспортування в складських приміщеннях має на меті вирішення наступних основних проблем:

1. **Підвищена затрата часу та ресурсів на ручне управління складськими операціями**: Людський фактор часто призводить до зниження швидкості та точності обробки замовлень. Автоматизація за допомогою робокара забезпечує більшу швидкість та точність, оскільки машина може працювати без перерв та емоційних впливів.

2. **Помилки при підборі та транспортуванні товарів**: Ручне управління складом схильне до помилок, які можуть призвести до відправлення невірних товарів або неправильного їх розміщення. Робокар, з його можливістю точного сканування та розподілу товарів, мінімізує ці ризики.

3. **Нещасні випадки на робочому місці**: Робота на складі може бути небезпечною через велику кількість тяжких предметів та велике

навантаження на працівників. Робокари зменшують потребу в людській праці в потенційно небезпечних зонах, тим самим знижуючи ризик травматизму.

4. **Високі оперативні витрати**: Утримання великої кількості працівників та витрати на їх охорону здоров'я та безпеку є значними. Робокари можуть значно знизити ці витрати завдяки своїй ефективності та здатності до цілодобової роботи без додаткових витрат на оплату праці.

5. **Потреба у збільшенні пропускної спроможності складу**: Зі зростанням обсягу бізнесу з'являється потреба в оптимізації складських процесів. Робокар може працювати з більш високою пропускною спроможністю та точністю, що дозволяє компаніям ефективніше управляти своїми ресурсами.

З огляду на ці виклики, робокари, як елементи автоматизації, відіграють ключову роль у перетворенні складської логістики. Вони призначені для вирішення наступних основних функціональних задач:

1. **Автоматизоване переміщення**: Забезпечення самостійного переміщення робокара по складу з високою точністю навігації, що дозволяє оптимізувати логістичні потоки безпосередньої участі людини. Використання таких технологій може знизити час на переміщення товарів між точками на 20-25%, за рахунок безперервної роботи.[2]

2. **Точне маніпулювання вантажами**: Використання механічної руки для автоматичного завантаження та розвантаження вантажів, що зменшує ризик пошкодження товарів та покращує ефективність обробки матеріалів. Такий підхід може зменшити кількість помилок у замовленнях на 15-20%.[2]

3. **Енергетична ефективність:** Оптимізація споживання енергії через використання передових технологій живлення та керування двигунами, що дозволяє знизити загальні експлуатаційні витрати. Тим паче порівняно з людськими ресурсами.

4. **Підвищення безпеки роботи**: Впровадження сенсорних систем та механізмів аварійної відповіді для запобігання інцидентам під час роботи робокарів, забезпечення безпеки як для обладнання, так і для персоналу складу.

5. **Адаптивне програмне забезпечення**: Розробка та налаштування апаратного забезпечення для майбутнього програмного, здатного до швидкої адаптації під змінні умови та вимоги складських операцій, підтримка різних режимів роботи для різноманітних завдань.

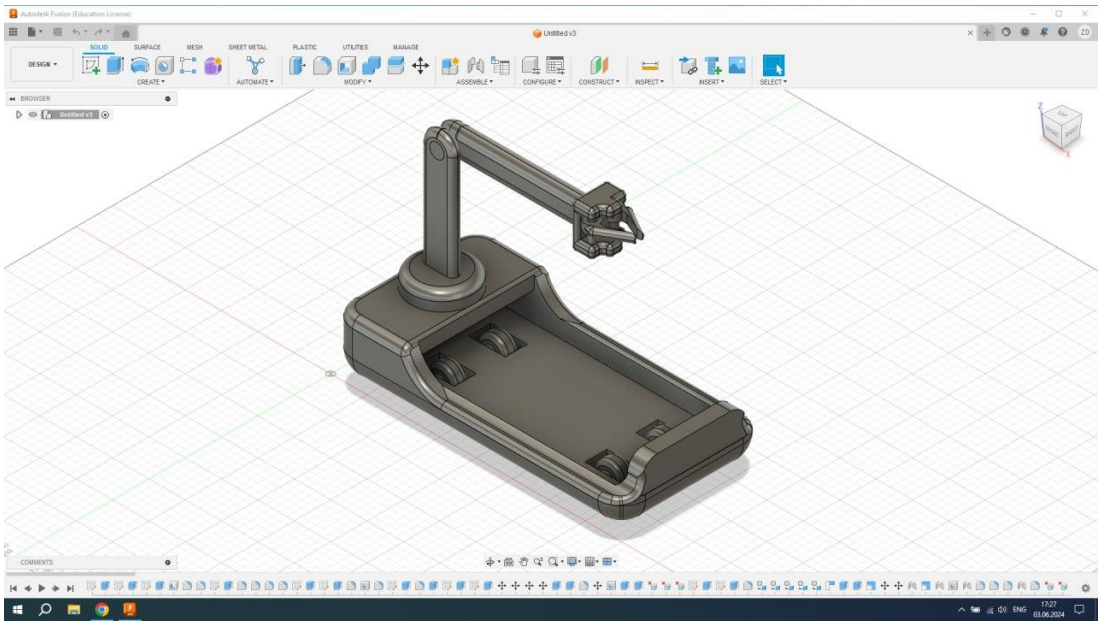

Рисунок 1.6: Зовнішний вид робокару зверху-зліва (ЗД)

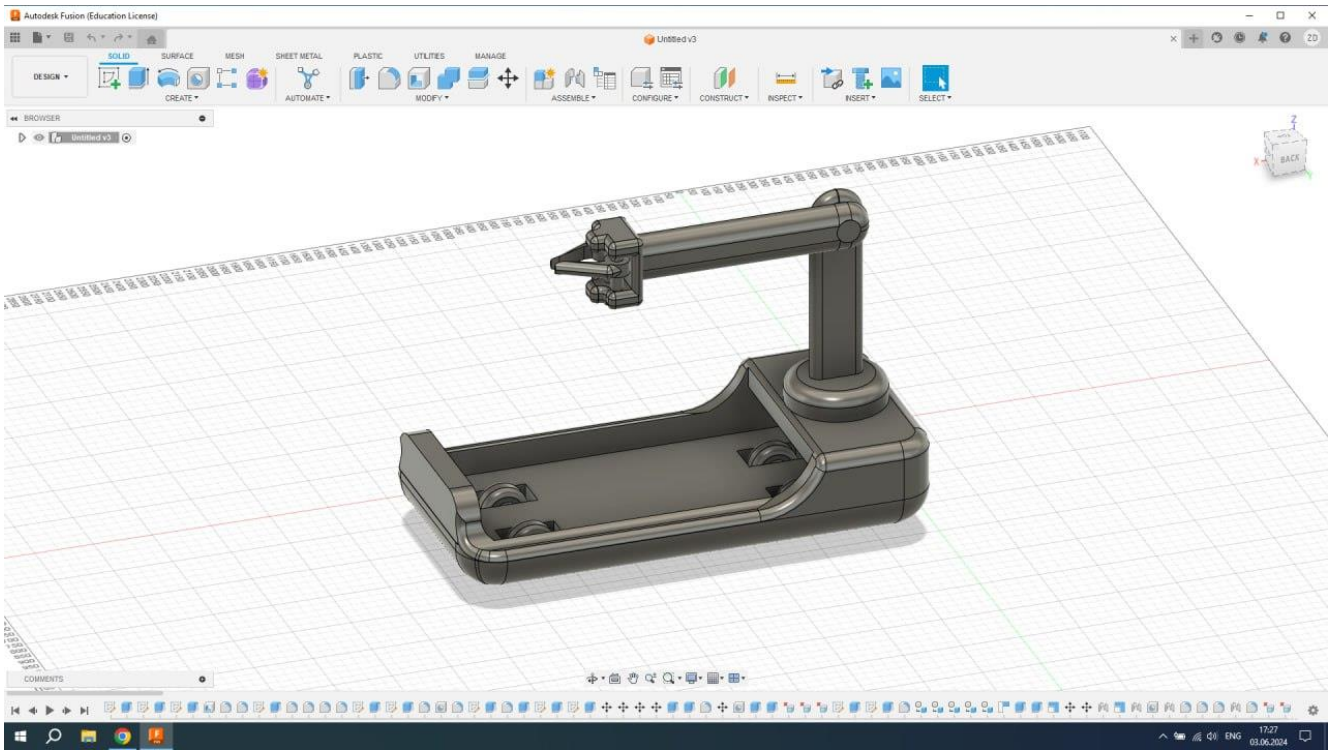

Рисунок 1.6: Зовнішний вид робокару зверху-справа (ЗД)

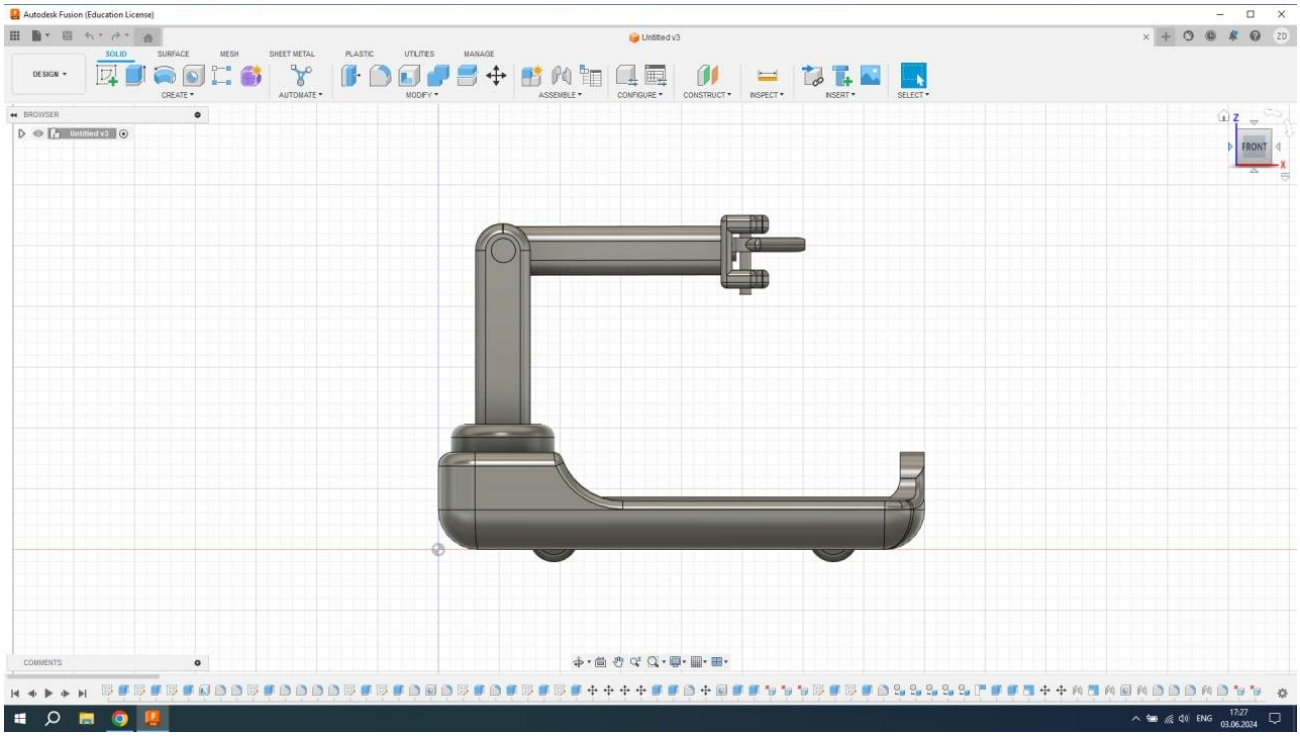

Рисунок 1.6: Зовнішний вид робокару зліва (ЗД)

2.2 Алгоритм керування виконавчим механізмом

Початок роботи системи розпочинається з ініціалізації. Ініціалізація приводить РС в робочу готовність. Після цього відбувається опитування давачів, в ході чого створюється база даних з інформацією про стан системи. Якщо отриманні данні відповідають еталонним параметрам, система готова до роботи, якщо ні то система переходить в стан аварії. Після запуску системи відбувається вихід на режими керування параметрами та відображення поточної інформації. На рисунку 2.1 зображено загальний алгоритм функціонування.

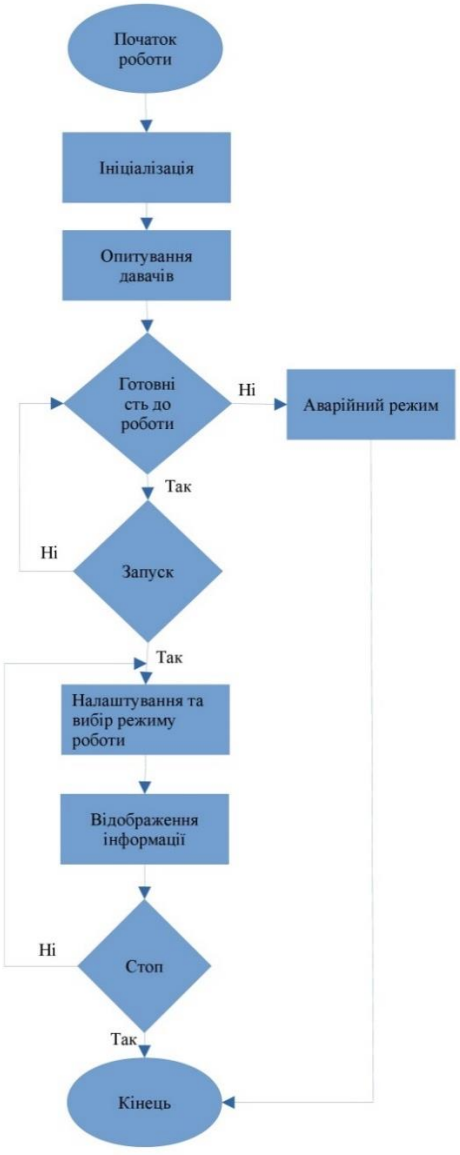

Рисунок 2.1 – Алгоритм керування ВМ(ч1)

Для створення функціональної схеми автоматизації (ФСА) РС необхідно розбити усю систему на підсистеми, розділивши їх по метрологічним параметрів:

- Підсистеми контролю кроковими двигунами;
- Підсистема контролю положення плечей маніпулятора;
- Підсистема контролю навігаційної системи;
- Підсистема контролю акумулятору;

Підсистема контролю положення плечей маніпулятора Робота системи керування кроковими двигунами розпочинає з опитування давачів про початкове положення кожного модулю (плеча) маніпулятора, та повернення їх до стандартного положення, якщо вони знаходяться в інших положеннях. Після встановлення початкового положення для кожного плеча, проходить повторне опитування давачів.

Робота системи контролю положення плечей маніпулятора проходить завдяки зв’язку між ПЛК, вбудованими енкодерами у крокові двигуни. Програмне забезпечення бере дані з програми модуляції, до якої всі змінні внесені оператором, розраховує та моделює алгоритм для найкоротшого та найефективнішого маршруту руху кожного плеча, передаючи сигнали на крокові двигуни.

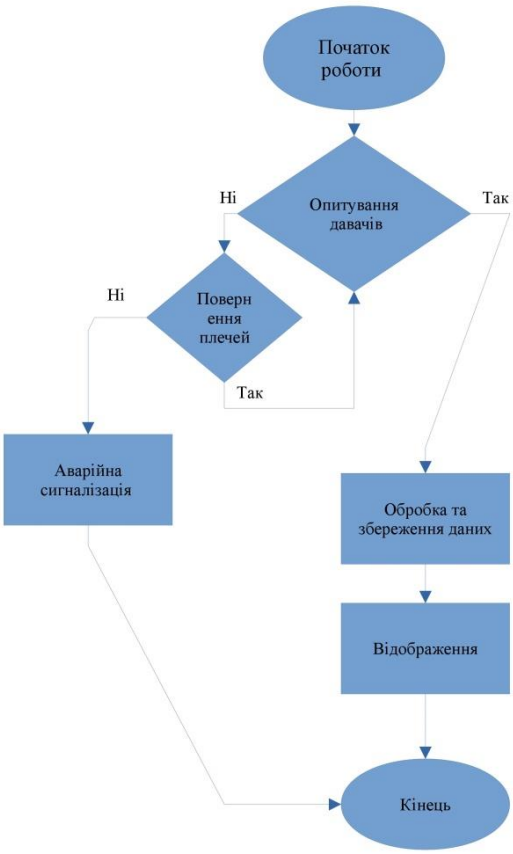

Рисунок 2.2 – Алгоритм керування ВМ(ч2)

Підсистема контролю навігаційної системи. Робота системи забезпечує точні налаштування давачів для навігації робокару у складському приміщенні. Розпочинається з опитування давачів про точні координати місцезнаходження робокару у складському приміщенні, найближчу станцію для зарядки та найближчого оператора. Все це контролюється завдяки гіросокопу-аксилерометру, давачів руху, плату рівня заряду акамулятору.

Підсистема контролю акумулятора: Належне управління енергією є критично важливим для тривалої та ефективної роботи робокара. Підсистема контролю акумулятора стежить за рівнем заряду батарей,

використовуючи датчики для моніторингу та керування енергоспоживанням, що дозволяє оптимізувати використання енергії та забезпечити стабільну роботу без перерв на зарядку в критичні моменти.

2.3 Функціональна схема

Система повинна забезпечувати візуалізацію та контроль функціонування робота, тому вона повинна включати підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема включає реєстрацію параметрів процесів, людино-машинний інтерфейс (ЛМІ) та сигналізацію досягнення параметрами керування заданих значень.

Так само система повинна забезпечувати архівування технологічних процесів, що протікають, тому в ній повинна бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних і резервне сховище.

З урахуванням перелічених вимог функціональна структура системи має вигляд, наведений на рисунку 2.3.

Така структура системи забезпечує керування, збирання інформації, її реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних та створення резервних копій. Крім того, забезпечується контроль за обладнанням та сигналізація досягнення параметрами керування заданих значень.

Схема складається з блоків керування: панель керування, сигнали давачів, блок автоматичного керування, сервоприводи.

Рисунок 2.3 – Структурна схема

1. Підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема включає три основних компоненти:

- Сигналізація: Відповідає за сповіщення оператора про ввімкнення аварійного стану робокару.
- Реєстрація (Логування, Журнал подій): Збір і збереження інформації про діїї робокара та дії оператора.
- Людино-машинний інтерфейс: Інтерфейс для взаємодії оператора з системою, дозволяє оператору аналізувати данні з панелі і у разі необхідності втрутитись в процес роботи робокару.

2. Підсистема ведення архівів параметрів і подій. Ця підсистема забезпечує архівування та збереження даних:

- База даних: Основне сховище для всіх зібраних даних.
- Резервне сховище: Додаткове сховище для захисту даних від втрати у випадку збоїв основної бази даних.

3. Підсистема автоматизованого керування технологічним обладнанням:

- Еталони стану обладнання: Стандарти та вимоги до стану техніки.
- Система автоматичного контролю стану обладнання: Моніторинг і автоматичне регулювання параметрів робокару.
- Програма керування: Програмне забезпечення для керування обладнанням.
- Протиаварійний захист: Система безпеки.
- Блок переводу в ручний режим: Можливість перемикання на ручне управління робокара.
- Виконавчі органи: Основні фізичні механізми системи

Функціональна схема автоматизації (ДОДАТОК Б**)**

1. Підсистема руху робокара

- Пункт 7: Двигун рульової висі. Відповідає за керування кермом для поворотів.
- Пункт 8: Енкодер рульового управління. Потрібен для вимірювання і контролю кута повороту коліс.
- Пункт 9: Двигун ходовий. Забезпечує основний рух робокара.
- Пункт 11: Фара задня. Використовується для сигналізації.
- Пункт 10: Фара передня. Використовується для сигналізації.

2. Підсистема механічного рука

- Пункт 1: Двигун вертикаль. Відповідає за рухи на вертикалі механічної руки.
- Пункт 2: Енкодер вертикаль. Вимірює рухи або позицію механічного руки по вертикалі.
- Пункт 3: Двигун горизонтальний. Відповідає за горизонтальне переміщеннями механічного руки.
- Пункт 4: Енкодер горизонтальний. Моніторинг горизонтального переміщення механічного рука.
- Пункт 5: Електр-магн. затиску. Використовується для керування станом затиску. Дозволяє обертання частин механічного рука для досягнення потрібної орієнтації.

3. Додаткові елементи і сенсори

Пункт 13: Axel. Потрібен для орієнтації в просторі та позиціонування.

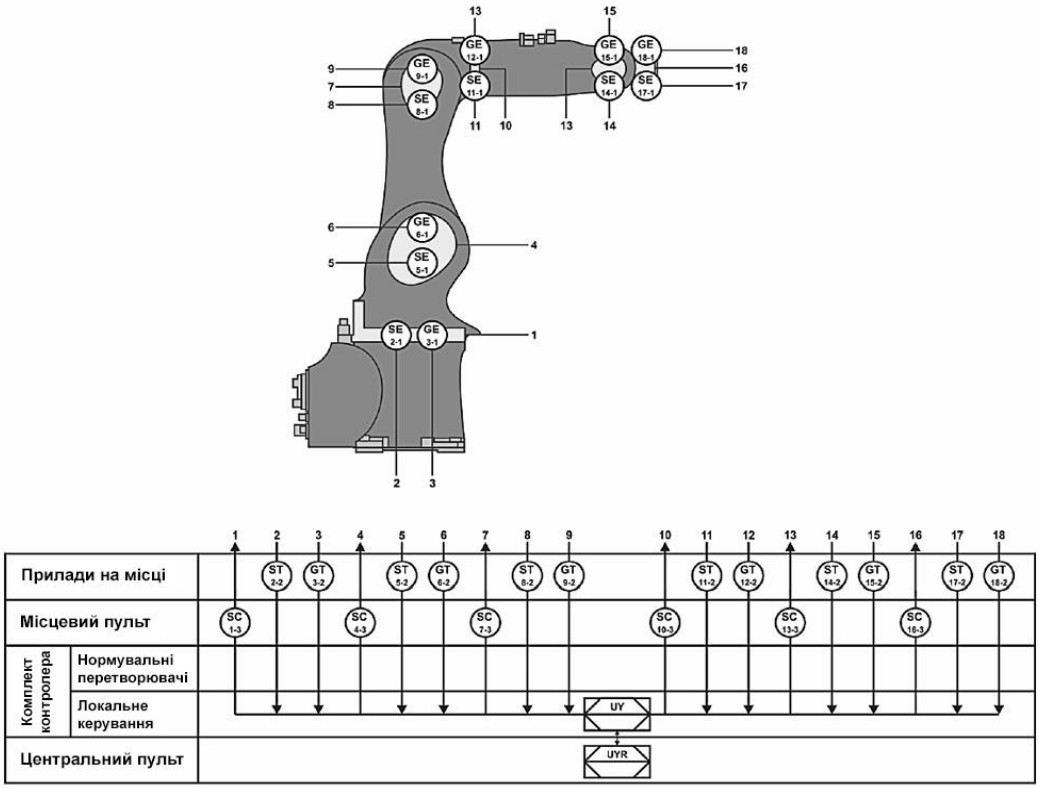

Рисунок 2.5 – Функціональна схема автоматизації мека-руки [9]

2.4 Журнал подій дій робокара та інженера ручного керування

Журналування дій робокара та інженера надає багатий матеріал для аналітичної роботи, що сприяє не тільки поточній оптимізації процесів, але й розробці довгострокових стратегій удосконалення технічних та управлінських аспектів використання роботизованих систем у складській логістиці.

2.4.1 Журнал подій робокара

Актуальність: Запровадження системи журналу подій для робокара є стратегічно важливим для забезпечення здатності до аналізу та оптимізації його поведінки у довгостроковій перспективі. Логування дій робота дозволяє не тільки відслідковувати поточні операції, а й збирати великі обсяги даних для подальшого використання в машинному навчанні. Це може сприяти автоматичному

вирішенню проблем, виявленню неполадок та удосконаленню алгоритмів роботи робокара на основі досвіду з минулих подій.

Базовий процес: Робокар систематично надсилає дані про всі свої дії і стани, такі як переміщення, вантажопідйомність, діагностика систем та виявлення помилок (перехід у аварійний стан), на центральний сервер через HTTPS запити.

Ці дані зберігаються для статистичного аналізу та можуть бути використані для тренування алгоритмів машинного навчання, які допомагатимуть у передбаченні та уникненні потенційних проблем у майбутньому.

2.4.2 Журнал подій дій інженера

Актуальність: Логування дій інженера з робокаром під час ручного керування відіграє ключову роль у підвищенні прозорості, а також у підготовці даних для аналізу людської поведінки. Ці дані можуть використовуватися для ідентифікації шаблонів ефективних дій та виявлення потенційних помилок або неправильних дій, що призводять до аварійних ситуацій.

Базовий процес: Кожна команда, введена інженером, а також її результати (успішне виконання, помилки, аварійні стани) реєструються в базі даних через безпечне з'єднання (HTTPS). Ця інформація надалі аналізується для виявлення оптимальних патернів поведінки, що також може бути використано в навчальних цілях для підготовки інших інженерів.

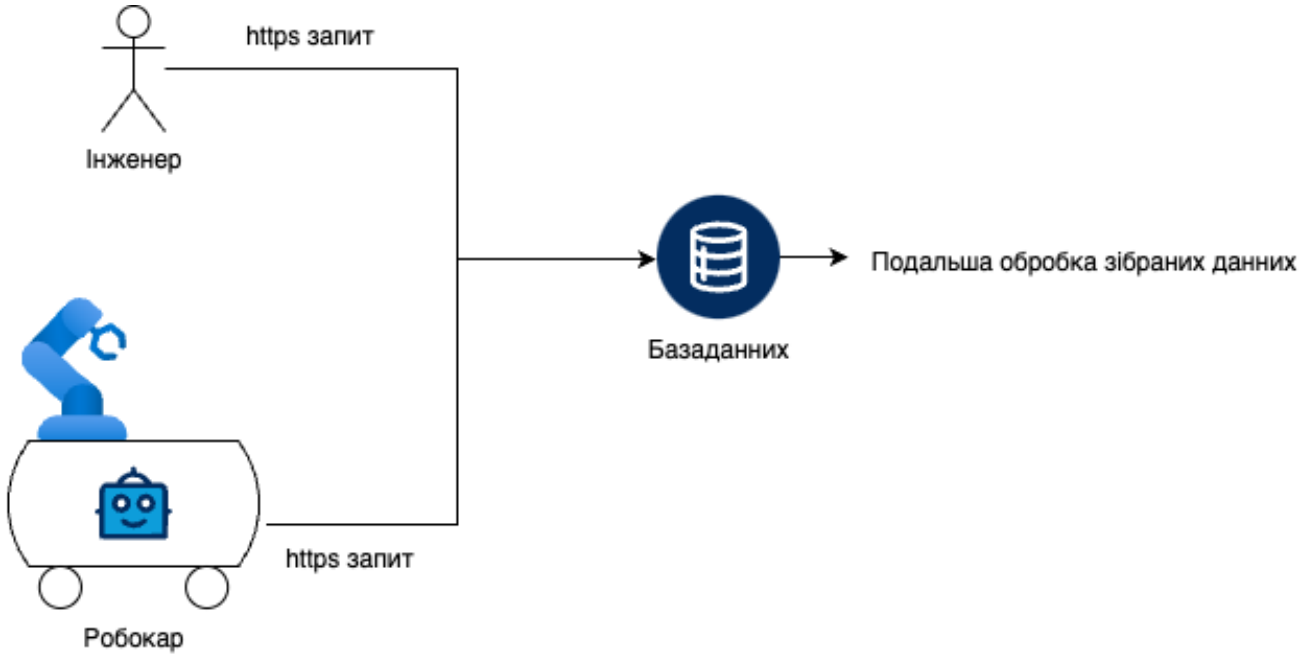

Рисунок 2.6 – Схема роботи журналу подій

РОЗДІЛ 3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА РОЗРОБКА ШАФИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

3.1 Вибір програмованого логічного контролера та компонентів кінематики

Вибір програмованого логічного контролера – це те, що загалом залежить від власної думки інженера, який проектує. Зазвичай ПЛК обирається кількості виходи і входи, тобто нема сенсу обирати ПЛК на велику кількість входів і виходів і переплачувати за це. Також різні виробники ПЛК використовують різну мову програмування і різне програмне забезпечення, виходячи з цього інженер-проектувальник обирає зручніший для себе в роботі ПЛК.

3.1.1 Контролер Schneider Electric Modicon M241

PLC (програмований логічний контролер) Schneider Electric Modicon M241 - це компактний, модульний ПЛК, розроблений для застосування в промисловій автоматизації. Він належить до серії ПЛК Modicon компанії Schneider Electric, які відомі своєю надійністю та продуктивністю.

ПЛК M241 оснащений потужним процесором, що забезпечує швидке виконання логіки управління та підтримує складні завдання автоматизації. Він пропонує широкий спектр модулів введення/виведення, включаючи цифрові входи та виходи, аналогові входи та виходи, швидкі лічильники та модулі зв'язку. Можливості введення/виведення можна розширити, додавши додаткові модулі залежно від вимог додатка.

Модель M241 підтримує програмування за стандартом IEC 61131-3, який включає п'ять мов: схема контактів (LD), структурований текст (ST), блокова схема функцій (FBD), перелік інструкцій (IL) та послідовна функціональна схема (SFC). Це дозволяє користувачам вибрати мову програмування, яка найкраще підходить для їх потреб.

Він підтримує різні протоколи зв'язку, включаючи Ethernet/IP, Modbus TCP/IP, CANopen, Modbus RTU та інші. Це забезпечує безпроблемну інтеграцію з іншими пристроями та системами в промисловій мережі.

M241 пропонує вбудовані функції для розширеного контролю та моніторингу, такі як петлі ПІД-регулювання, журналування даних, веб-візуалізація, управління рецептами, обмін даними з базами даних та можливості віддаленого доступу.

M241 пропонує вбудовані функції для розширеного контролю та моніторингу, такі як петлі ПІД-регулювання, журналування даних, веб-візуалізація, управління рецептами, обмін даними з базами даних та можливості віддаленого доступу, що робить його ідеальним для реалізації процесів логування через HTTPS запити. Ці можливості дозволяють з легкістю імплементувати комплексні системи моніторингу та аналізу, важливі для адаптації та оптимізації поведінки робокарів у реальному часі.

Він легко інтегрується з панелями ІПП Magelis від Schneider Electric або з іншими ІПП сторонніх виробників для операторського інтерфейсу та візуалізації інформації про процес.

Рисунок 3.1 – Загальний вид контролера Modicon M241[11]

Таблиця 3.1 - Характеристика контролера Modicon M241

Серія продукту	Modicon M241
Тип виробу або компоненту	Logic controller
[Us]номінальна напруга живлення	100...240 В змінний струм
Кількість дискретних входів	24, дискретного входа 8 шви. вх. відповно МЕК 61131-2 тип 1
Тип дискретного виходу	Реле Транзистор
Кількість дискретних виходів	4 транзистор 4 швид. вих. 12 Реле
Напруга дискретного виходу	5...125 В постійного струму для релейного выхода 5...250 В змінного струму для релейного выхода 24 В постійнного струму для транзисторного вихода
Струм дискретного виходу	0.1 А для швид. вих. (PTO mode) (TR0...TR3) 2 А для релейного вихода (Q4...Q15) 0.5 А для транзисторного вихода (TR0...TR3)

У випадку недостатньої кількості дискретних або аналогових вводів/виводів у контролера можна доповнити його відповідними модулями розширення. Приклад таких модулів розширення можна побачити на рисунку 5.1.1.

Рисунок 3.2 – Модулі розширення TM3AI8 та TM3DQ8R [10]

3.1.2 Драйвери крокових двигунів

Драйвер HSS57

Для контролю роботи крокових двигунів використовують драйвери. Драйвер крокового двигуна - Пристрій, який керує роботою крокового двигуна. Самі крокові двигуни сьогодні застосовуються в механізмах, де потрібна висока точність переміщення за досить великої потужності: фрезерні, лазерні, токарні верстати з ЧПУ, 3Д принтери і т.д. Зазвичай крок переміщення становить 1,8 з точністю 2,5%. Під час роботи двигуна помилка не накопичується.

Двигуни миттєво стартують, зупиняються та перемикаються на реверс. Все це реалізується за допомогою драйвера крокового двигуна.

Обираючи драйвер увага надавалася можливості точного налаштування кроковим двигуном, кількість кроків, швидкість відгуку крокового двигуна на сигнал.

Драйвер забезпечує стабільну та точну роботу двигуна без втрати кроків. Драйвер розроблений на 32-бітної технології DSP, підтримує керування сигналами PUL/DIR (CP/CW).

Швидка реакція та те, що немає «поринань» роблять серію драйверів ідеальним варіантом для застосунків, які вимагають швидкого пересування на короткі відстані та де «рискання» (нерівномірна робота) були б небажаними (наприклад, у механізмах із ремінним приводом або механізми низької жорсткості, де під час зупинки КД необхідна мала вібрація).

Закрита система позиціювання вдосконалена та є доброю заміною відкритої системи. Широко застосовується на гравіювальних верстатах, спеціальних примислених швейних машинах, маркувальних машинах, обладнання для збирання, верстатах із ЧПК (ЧПУ) та інші.

Рисунок 3.3 - Драйвер HSS57 [10]

Особливості:

- Драйвер HSS57 підходить для NEMA 23, 24 (з обертальним моментом 2.2N.m — 3N.m) замкнутого циклу крокового двигуна;
- Усунена можливість втрати кроків;
- Забезпечує плавну роботу двигуна, низьку вібрацію, гарантує високі динамічні характеристики під час пришвидшення та гальмування двигуна;
- Немає вібрації під час зміни від нульової до максимальної швидкості;
- Наявність автоматичного регулювання струму залежно від навантаження;
- Зменшення обертального моменту у разі збільшення швидкості набагато нижче, ніж у звичайного КД;

Таблиця 3.2 – Характеристики драйвера

Напруга	DC24V ~ 50V
Частота	до 200 кГц
Мікрокрок	16, максимум 51200 імпульсів/об
Вхідний струм	7 ~ 20mA
Роздільна здатність енкодера	1000 PRR
Опір ізоляції	> = 500MΩ
Робоча температура	0 ~ 50 ° C
Робоча вологість	40 ~ 90% RH
Спосіб охолодження	природний або радіатор
Вага	560 г
Максимальний струм	6A

Pulse/rev	SW3	SW4	SW5	SW6
Default	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off

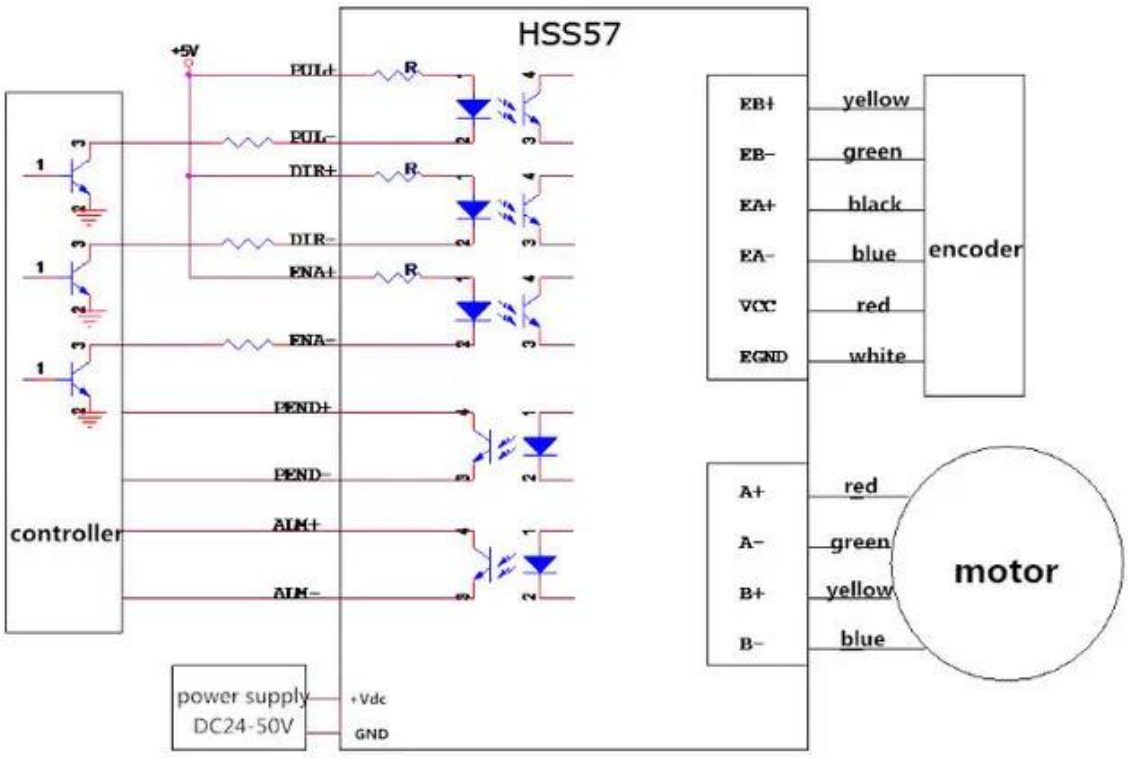

Рисунок 3.4 – Схема підключення двигуна до драйвера [3]

3.1.3 Крокoвий двигун з енкодером

Крокoвий двигун 86HSE8.5N-BC38 з енкодером 8.5Нм

Крокові двигуни з енкодером працюють без втрати кроків, порівнюючи зі звичайними крокoвими двигунами не замкнутого типу. Він ідеально підходить для використання механізмів із пасовим приводом або механізмів низької жорсткості. Максимальна ефективна робота двигуна з енкодером забезпечується спільний використанням з гібридними серводрайвером HSS57. Двигун також можна під'єднувати до звичайного драйвера, без під'єднання енкодера, у цьому разі він працюватиме без точного контролю положення ротора. Крокові двигуни з енкодером широко застосовуються для верстатів із ЧПК (ЧПУ), гравіювальних верстатів, лазерного різання, маркувальних машин, спеціальних промислових швейних машин, монтажне обладнання тощо.

Рисунок 3.5 – Крокoвий двигун з енкодером [4]

Таблиця 3.3 – Характеристики крокового двигуна

Струм фази	4.2A
Кількість фаз	2
Діаметр вала	8 мм
Макс. швидкість	2000 об./хв
Нормальна швидкість	1000 об./хв
Максимальний обертальний момент	2 N.m
Кут кроку	1,8° (точність: ± 5%)
Похибка опору	± 10%
Максимальна температура	80 °C
Робочий діапазон температур	-20 °C до +50 °C
Діелектрична стійкість	500VAC за одну хвилину
Радіальне биття вала	0,02 мм (у разі навантаження 450 г)
Осьове биття вала	0,08 мм (у разі навантаження 450 г)
Роздільна здатність енкодера	1000 PRR
Довжина мотора	76 мм
Вага	1,15 кг

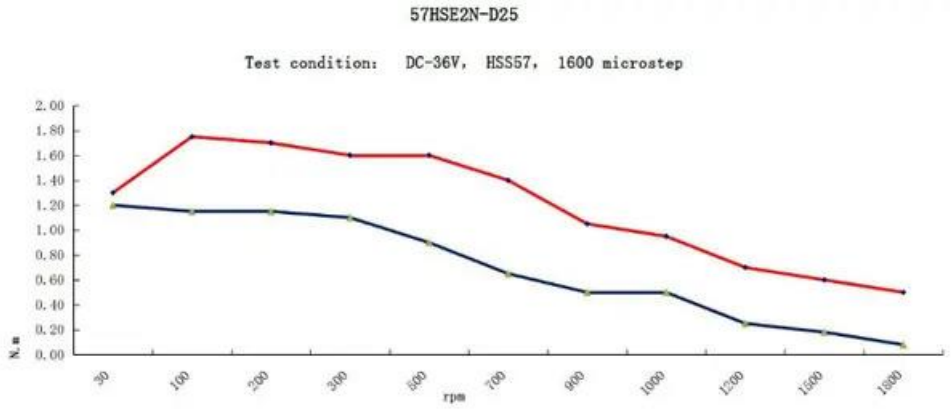

Рисунок 3.6 – Графік залежності обертального моменту від швидкості обертання [4]

3.1.4 Гіроскоп-акселерометр

Винахід відноситься до галузі приладобудування, а саме до приладів орієнтації, навігації та систем управління рухомих об'єктів, та призначене для вимірювання кутової швидкості та лінійного прискорення. Технічним результатом винаходу є підвищення точності та чутливості вимірювань. Гіроскоп-акселерометр містить драйвер і з'єднані між собою не менше одного чутливого до деформацій елемента і не менше однієї інерційної маси. Чутливий до деформацій елемент виконаний із п'єзоелектричного матеріалу. На поверхні чутливого елемента сформовані не менше одного зустрічно-штирового перетворювача і не менше однієї структури, що відображає, а драйвер виконаний з п'єзоелектричного матеріалу. При цьому зустрічно-штировий перетворювач і структури, що відображають, утворюють не менше однієї лінії затримки на поверхневих акустичних хвилях.

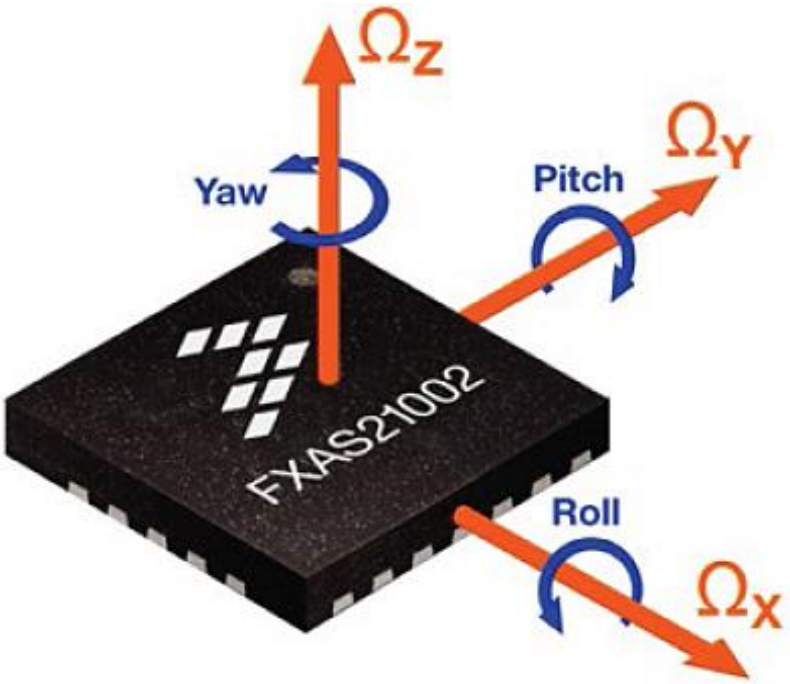

Рисунок 3.7 - Гіроскоп акселерометр FXAS21002 [4]

FXAS21002 - 16-бітний цифровий гіроскоп з I2C/SPI сумісним інтерфейсом, що відрізняється надзвичайно низьким енергоспоживанням (струм споживання IDD в активному режимі < 3 мА) і підтримує ряд передових функцій, що дозволяють суттєво знизити потужність споживання системи загалом порівняно з конкуруючими рішеннями. Максимальний діапазон вимірювань FXAS21002 становить ±2000 °/сек, а частота вихідних даних (ODR) до 800 Гц. Підтримує конфігурацію користувача для формування сигналу переривання у разі досягнення заданих порогових значень кутової швидкості для кожної з трьох осей. Інтелектуальна технологія вимірювання дозволяє захоплювати та обробляти події, тривалість яких менша за час вибірки, що знижує вимоги до обчислювальних можливостей хост-контролера.

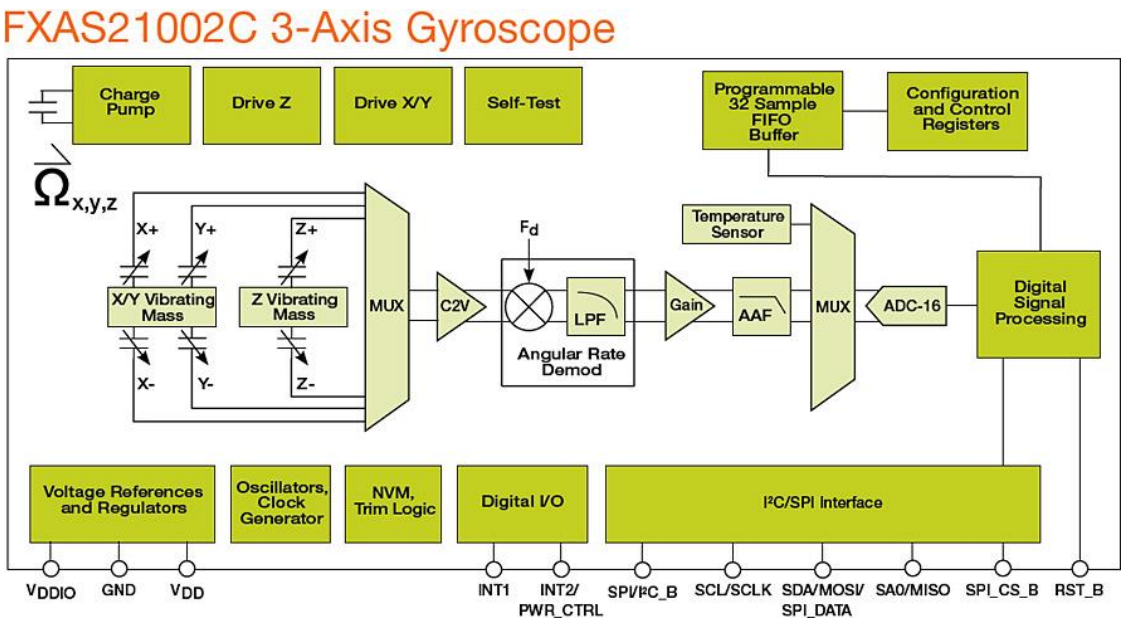

Рисунок 3.8 - Схема гіроскопу-акселерометра [4]

Таблиця 3.4 – Характеристики гіроскопу-акселерометра

Напруга живлення ядра	V_{DD}: от 1.95 В до 3.6 В
Напруга живлення інтерфейсу	V_{DDIO}: от 1.62 В до V_{DD}+0.3 В
Повний динамічний діапазон вимірювання, що задається користувачем	±250/±500/±1000/±2000 °/сек
Дозвіл цифрових вихідних даних	16 бит
Спектральна густина шуму	0.025 °/сек/√Гц в полосі 100 Гц
Струм споживання в активному режимі	2.7 мА
Час переходу з режиму очікування на активний режим	60 мс
Підтримка цифрових інтерфейсів	• I2C нормальний режим (100 кГц); • I2C быстродіючий режим (400 кГц); • 3-провідний SPI (до 2 МГц);
Частота вихідних даних (ODR)	Від 12.5 Гц до 800 Гц
1	2

Продовження таблиці 3.4

1	2
Чутливість	0.0625 °/сек у діапазоні вимірювань ±2000 °/сек
Діапазон робочих температур	від -40°C до +85°C

Також він має такі можливості:

- Буфер FIFO об'ємом 192 байти (32 результати вимірювань по кожній із трьох осей) з кінцевим або замкнутим робочим циклом;
- Понад мало споживаючий режим очікування;
- Перемикання режимів енергоспоживання за допомогою зовнішнього сигналу від акселерометра (переривання рухом);
- Формування сигналу переривання при перевищенні порога частоти вихідних даних;
- Вбудована схема само тестування;
- Вбудований 8-бітний датчик температури;

ВИСНОВОК

У цій дипломній роботі було досліджено ключові аспекти автоматизації процесів транспортування в складських приміщеннях за допомогою розробки робокара. Розглянуто основні теоретичні підходи та практичні аспекти впровадження автоматизації для підвищення ефективності складських операцій. Робота виявила важливість інтеграції роботизованих транспортних засобів у логістичні процеси, визначивши їх як засіб значного підвищення продуктивності та зниження витрат.

Було встановлено, що використання робокара дозволяє не тільки зменшити фізичне навантаження на персонал, але й забезпечує вищу точність та безпечність у виконанні складських завдань завдяки точному маніпулюванню механічною рукою, що має здатність до обертання, вертикального та горизонтального переміщення.

У першому розділі дослідження було здійснено аналіз сучасних методів автоматизації, які включають роботизовані системи, ідентифіковано їхні переваги та обмеження. У другому розділі зосереджено увагу на проектуванні робокара, де були розроблені функціональні схеми та алгоритми діяльності. Третій розділ охоплював вибір обладнання та розробку системи управління, а також програмування алгоритмів управління рухом та маніпуляціями.

В роботі були виконані такі завдання: здійснено глибокий аналіз сучасних концепцій автоматизації складських процесів, проведено огляд і класифікацію роботизованих транспортних засобів з акцентом на робокари,

включаючи аналіз їх переваг та недоліків. Були розроблені основні функції системи робокару, алгоритми функціонування та керування, а також виконано підбір комплектуючих для всіх елементів системи робокар.

В роботі подано всебічний аналіз виконаних досліджень та розроблення, а також рекомендації для майбутнього застосування розроблених технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. WMS система: як це працює? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://shorturl.at/P4ceO – 24.05.2024
2. Як автоматизація вплине на складські операції та управління [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://logist.today/uk/dnevnik_logista/2017-10-20/kak-avtomatizacija-povlijaet-na-skladskie-operacii-i-upravlenie/ – 24.05.2024
3. What can robot arms be used for in the warehouse? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://roboticproducts.co.uk/what-can-robot-arms-be-used-for-in-the-warehouse/ – 24.05.2024
4. How do robotic arms work? A comprehensive guide [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://shorturl.at/QkIG5 – 24.05.2024
5. Industrial Robotic Arms – Pros And Cons Explained [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://roboticsbiz.com/industrial-robotic-arms-pros-and-cons-explained/ – 24.05.2024
6. https://www.hopstack.io/blog/automated-warehouse-system-guide#:~:text=Automated%20Warehouse%20is%20same%20as,human%20intervention%20and%20maximize%20efficiency
7. Amazon Blog [Електронний ресурс] - https://www.aboutamazon.com/news/small-business/amazon-2023-small-business-empowerment-report – 24.05.2024
8. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин [Текст]: підручник / Я. Т. Кіницький. — К. : Наукова думка, 2002. — 662 с.
9. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник. / Я. І. Проць — Т: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. — 232 с.
10. Робототехніка. Підручник / В. І. Костюк, Г. О. Спину, Л. С. Ямпольський, М. М. Ткач. — К.: Вища школа. — 1994. — 447 с.

11. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл.
12. C. Abdallah, D. Dawson, P. Dorato, M. Jamshidi, “Survey of robust control for rigid robots,” IEEE Control Systems Magazine, vol. 11, no. 2, pp. 24–30, 1991
13. C.G. Atkeson, C.H. An, J.M. Hollerbach, ”Estimation of inertial parameters of manipulator loads and links,” International Journal of Robotics Research, vol. 5, no. 3, pp. 101–119, 1986.
14. Ю. І. Муляр, С. В. Репінський Автоматизація виробництва: Навч.посібник /– ВНТУ, 2020. – 124 с.
15. Armstrong, B., O.Khatib, and J.Burdick, “The explicit dynamic model and inertial parameters of the PUMA 560 arm,” Proc. 1986 IEEE Conf. Robot. Autom., pp. 510–518, San Francisco, Apr. 7– 10, 1986.
16. Bejczy, A.K., “Robot arm dynamics and control,” NASA-JPL Technical Memorandum 33–669, 1974.
17. Paul, R.P., Robot Manipulators: Mathematics, Programming and Control. Cambridge, MA: MIT Press, 1981.
18. Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., and Vetterling, W.T., Numerical Recipes. New York: Cambridge University Press, 1986.