

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Факультет систем управління літальними апаратами
Кафедра систем управління літальних апаратів

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Розробка і дослідження системи управління складським роботом-
транспортувальником комплектуючих для літакобудування

ХАІ.301.362.24О.151.00183026 ПЗ

Виконав: студент 6 курсу, групи 362
Галузь знань 15 «Автоматизація та
приладобудування»
спеціальність
151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма
«Інженерія мобільних додатків»

Носов І.І.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник Немшилов Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Індик С.В.

(прізвище та ініціали)

Харків – 2024 рік

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальними апаратами
Кафедра систем управління літальних апаратів
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології
(шифр і назва)
Освітня програма Інженерія мобільних додатків

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
систем управління ЛА
к.т.н., доц. К. Ю. Дергачов

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Носову Івану Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка і дослідження системи управління складським роботом-транспортувальником комплектуючих для літакобудування керівник роботи Немшилов Ю.О. , доцент каф. 301,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.11.2023 року №1968-уч

2. Строк подання студентом роботи: 21.12.2023 року

3. Вихідні дані до роботи: математична модель колісного робота, вимоги до функціонування системи, збурювальні впливи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Огляд літератури предметної області, аналіз шляхів та способів рішення завдання, опис та розробка алгоритму, розробка програмного забезпечення, аналіз результатів моделювання системи, розрахунок собівартості виготовлення програмного забезпечення

5. Перелік графічного матеріалу:

11 слайдів формату А3 для презентації та захисту роботи(див. додаток С)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стан проблеми	Немшилов Ю. О., к.т.н., доц. каф. 301	10.09.23	08.01.24
Аналіз і синтез СУ	Немшилов Ю. О., к.т.н., доц. каф. 301	22.09.23	08.01.24
Конструкторська частина	Немшилов Ю. О., к.т.н., доц. каф. 301	05.10.23	08.01.24
Дослідницька частина	Джуглаков В. Г., к.т.н., доц. каф. 301	20.10.23	08.01.24
Експ.-практ. частина	Джуглаков В. Г., к.т.н., доц. каф. 301	01.11.23	08.01.24
Економічне обґрунтуван.	Немшилов Ю. О., к.т.н., доц. каф. 301	15.11.23	08.01.24

Нормоконтроль _____ Немшилов Ю.О. 12.01.2024 р.

7. Дата видачі завдання 12.09.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Початок переддипломної практики	01.09.2023	
2.	Формулювання теми роботи. Розробка технічного завдання	12.09.2023	
3.	Математичний опис системи управління. Аналіз і синтез системи управління. Проведення експериментальних досліджень	20.10.2023	Залік з переддипломної практики
4.	Конструкторська частина роботи. Дослідницька частина роботи. Експериментально-практична частина. Економічне обґрунтування розробки. Розробка питань охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях	15.12.2023	
5.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки і графічного матеріалу	08.01.2024	
6.	Попередній захист роботи. Рецензування роботи	12.01.2024	
7.	Захист роботи	16.01.2024	

Здобувач _____ Іван НОСОВ

Керівник роботи _____ Юрій НЕМШИЛОВ

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Кафедра 301

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідуючий кафедрою
к.т.н., с.н.с., доцент
К.Ю. Дергачов
«_____» _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломне проектування

Носова Івана Івановича

1 Тема роботи: Розробка і дослідження системи управління складським роботом-транспортувальником комплектуючих для літакобудування

затверджена наказом по університету від «06» листопада 2023 р. №1968-уч.

2 Строк здачі студентом закінченої роботи «08» січня 2024 р.

3 Область застосування розробки: системи керування колісним роботом.

4 Початкові дані для розроблювальної системи

4.1 Призначення і мета створення системи: автоматизація транспортування, оптимізація логістичних процесів.

4.2 Загальні відомості: ознайомлення з рядом методів які використовуються для вдосконалення просторового планування складу, моніторинг та управління в режимі реального часу.

5 Технічні вимоги до каналів системи управління

5.1 Питання, що підлягають розробці: Автоматизоване переміщення комплектуючих від пункту А до пункту В в складському приміщенні або на виробничому майданчику. Розробка та вибір оптимальних маршрутів для зменшення часу переміщення та мінімізації витрат енергії.

5.2 Вимоги до структури й функціонування системи: Система повинна бути легко інтегрованою з існуючими системами у виробництві, такими як система управління складом, система виробництва, база даних комплектуючих тощо.

5.3 Вимоги до показників якості системи : точність визначення не менше 90%.

5.4 Вимоги до конфігурації обчислювальної техніки: 64-бітний двоядерний процесор з тактовою частотою від 1,2 ГГц, оперативна пам'ять від 512 мб DDR2.

6 Умови експлуатації системи

6.1 Вимоги до програмної та інформаційної сумісності: кросплатформенність.

6.2 Вимоги до зовнішніх збурень: температура середовища (-10°C...+40°C), вологість середовища 20-80%, хімічно активні компоненти відсутні.

6.3 Характер роботи системи (безперервної, циклічний, одноразового дії): безперервний.

7 Обсяг виконуваних розроблювачем робіт

7.1 Етапи проведення роботи: 1) вибір теми; 2) розробка ТЗ на проектування ПЗ; 3) Оцінка стану проблеми, аналіз ТЗ; 4)Опис системи. Дослідження системи; 5) проектування ПЗ; 6) експериментальна частина; 7) оформлення записки; 8) захист дипломного проекту

7.2 Обсяг розробки по кожному етапу: технічне завдання (12); реферат (1); зміст(2); список умовних позначень (1); вступ (2); аналіз існуючих рішень (8); розробка та подання опису структурної та функціональної схеми системи управління автоматизованим складом(6); розроблення математичної моделі системи управління рухом транспортного робота(13); синтез регулятора системи керування рухом транспортного робота (5); експериментальне дослідження цифрових систем керування транспортними роботами (14); мобільний додаток для управління складським роботом-транспортувальником комплектуючих для літакобудування (5);розроблення стартап-проекту(10); висновок (2); список використаних джерел (2).

8 Вимоги до захисту інформації й надійності: Не передбачені

9 Порядок контролю й приймання системи: система повинна досягати максимальної точності вимірювання даних.

10 Дослідницька частина: опис програми, вирішення питання швидкості роботи системи для обробки потокового відео з вебкамери.

11 Експериментально-практична частина: проведення тестування системи, знаходження похибок.

12 Економічна частина

12.1 Розробити (розрахувати, одержати): розрахувати собівартість і ціну розробки системи;

12.2 Умови і вимоги: річна програма випуску не менше 140 штук;

12.3 Очікуваний результат: виробництво даної системи повинно виходити на точку безбитковості.

13 Перелік графічних матеріалів із зазначенням форматів: 11 слайдів формату А3 для презентації та захисту роботи(див. додаток С).

Керівник проектування
Немшилов Ю.О.
 (П.І.Б.)

« » _____ 2023 р.

Прийняв до виконання
Носов І.І.
 (П.І.Б. студента)

« » _____ 2023 р.

Погоджено з питань:

проектування
Немшилов Ю.О.
 (П.І.Б.)

« » _____ 2023 р.

дослідницької частини
Джуглаков В.Г.
 (П.І.Б.)

« » _____ 2023 р.

економіки
Немшилов Ю.О.
 (П.І.Б.)

« » _____ 2023 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 98 ст. 28 рис. 10 табл. 2 додатків, 15 джерел.

Тема роботи: Розробка і дослідження системи управління складським роботом-транспортувальником комплектуючих для літакобудування

Мета роботи: оптимізація функціонування складського приміщення шляхом впровадження комплексної системи управління складськими роботами для підвищення ефективності роботи.

Предмет роботи: розробка і дослідження системи управління для складського робота-транспортувальника, який призначений для переміщення та управління комплектуючими, використовуваними у процесі літакобудування.

У випускній роботі була досліджена система управління

Результатом роботи система управління для автоматизованого складу, що сприяє підвищенню продуктивності складського приміщення за рахунок скорочення часу переміщення транспортних роботів, відповідальних за процес складування.

**ТРАНСПОРТНІ РОБОТИ, СКЛАДСЬКЕ ПРИМІЩЕННЯ,
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ТЕХНІЧНИЙ ЗІР**

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – програмне забезпечення;

СУ – система управління;

ПК – персональний комп'ютер;

ТР – транспортний робот;

МД – мобільний додаток.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	7
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	13
1.1 Основні заходи щодо автоматизації приміщення для складу комплектуючих літакобудування.	13
1.2 Впровадження транспортних роботів для автоматизації складського простору з урахуванням комплектуючих для літакобудування.....	16
1.3 Типи вимірювальних параметрів.....	17
1.4 Висновки	20
2 РОЗРОБКА ТА ПОДАННЯ ОПИСУ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ	22
2.1 Опис структури автоматизованої системи управління складом	22
2.2 Опис функціональної структури системи керування для автоматизованого складу, спеціалізованого у комплектації літакобудівельних матеріалів.....	25
2.3 Висновки	27
3 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА	29
3.1 Розроблення цифрової моделі системи керування транспортними роботами.....	37
3.2 Аналіз стійкості та якості цифрової системи управління рухом	39
3.3 Висновки	41
4 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА	42
4.1 Синтез регулятора системи	42
4.2 Висновки	47
5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ РОБОТАМИ.....	48
5.1 Алгоритм «Позиціонування»	48
5.2 Алгоритм «Завантаження»	50
5.3 Алгоритм «Доставка»	53
5.4 Експериментальне дослідження	55
5.5 Висновки	61

6 МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКИМ РОБОТОМ-ТРАНСПОРТУВАЛЬНИКОМ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЛІТАКОБУДУВАННЯ	62
6.1 Засоби реалізації	62
6.2 Можливості мобільного додатку	63
6.3 Робота мобільного додатку	64
6.4 Висновки	66
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	67
7.1 Аналіз стартапу.....	67
7.2 Мета економічної частини.....	69
7.3 Трудомісткість виконання роботи	69
7.4 Розрахунок витрат на виконання робіт	71
7.5 Визначення можливої (договірної) ціни роботи	75
7.6 Висновки	76
ВИСНОВОК.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТОК А.....	80
ДОДАТОК Б	84
ДОДАТОК С	86

ВСТУП

Сучасний склад – це складна технологічна споруда, яка включає в себе численні взаємопов'язані елементи та виконує кілька функцій по обробленню та зберіганню комплектуючих для літакобудування. Оброблення матеріальних потоків на складі пов'язане з різними параметрами, включаючи прийом та видачу партій вантажів. Різноманітність складських систем визначається їхніми розмірами, складністю, типами збережених виробів, витратами на їхню експлуатацію, а також характером процесів та інформації, що управляє ними.

З проведеного аналізу спеціалізованої літератури, доступної на спеціалізованих веб-ресурсах і в журналах, впливає, що успішне впровадження спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) для складу комплектуючих у літакобудуванні вимагає детального визначення вірних бізнес-процесів на складі. Кожне підприємство має свої внутрішні та зовнішні особливості, і ключовим завданням розробників є максимальне врахування та адаптація до існуючих логістичних процесів на складі. Важливим етапом у впровадженні ПЗ є детальне вивчення фізичних процесів на складі, а також виявлення та усунення "вузьких місць" у русі матеріального потоку. Підходяче програмне забезпечення повинно відображати і оптимізувати існуючі процеси перед його встановленням та впровадженням. Такий підхід дозволяє забезпечити максимальну ефективність і відповідність програми конкретним потребам і характеристикам логістичних потоків на складі комплектуючих для літакобудування.

Управління транспортуванням комплектуючих для літакобудування на складі передбачає виконання ряду логістичних функцій, які охоплюють такі етапи:

- приймання вантажів від постачальників;
- приймання та розміщення товарів на складі;
- підготовка товарів до складування;
- ефективне та організоване складування товарів;
- зберігання товарів з урахуванням їхніх особливостей;
- підготовка товарів для подальшої відправки;
- організація та підготовка товарів до транспортування;
- відправка товарів користувачам (споживачам);
- надання сервісних послуг;
- облік та ведення документації про транспортування товарів.

Кожна з цих функцій включає в себе конкретні процедури, а процедури, у свою чергу, передбачають виконання визначених логістичних операцій. На складі, де використовуються інформаційні технології (ІТ), управління матеріальним потоком стає більш ефективним. ІТ-засоби дозволяють в режимі реального часу відстежувати всі процеси на складі, що спрощує функції, такі як "Облік руху товарів". Ця функція включає в себе оперативний та аналітичний облік, а наскрізне управління матеріальним потоком сприяє забезпеченню його оптимальної ефективності.

Основою для ефективного функціонування сучасного високотехнологічного складу є автоматизована система управління складськими процесами. У сучасній промисловості індустріальні роботи знаходять широке застосування не лише для допоміжних операцій з завантаження та розвантаження, але й у виробництві, виконуючи різноманітні завдання, такі як підготовка та сортування деталей, очищення поверхонь перед зварюванням або склеюванням, консервація, пакування та вимірювання готових комплектуючих чи виробів та інші. Ці індустріальні роботи також знаходять використання в основних виробничих операціях, таких як фарбування вузлів і деталей, з'єднання за допомогою болтів, зварювання і т.д. Також існують обслуговуючі роботи, які включають завантаження-розвантаження та транспортування (складські) роботи. У контексті літакобудування, складські роботи можуть легко впоратися з управлінням матеріалами на складі, розмір якого може бути порівнянний із шістьма футбольними майданчиками. Вони можуть працювати неперервно 24 години, не потребуючи перерви і зарплати, що робить їх важливим елементом в оптимізації логістичних процесів та управління комплектуючими для виробництва літаків.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Основні заходи щодо автоматизації приміщення для складу комплектуючих літакобудування.

Найпоширенішою системою автоматизації на складах сьогодні є система управління складом (WMS). Ця система управління спрямована на автоматизацію та оптимізацію всіх процесів у роботі складу[1]. WMS-системи спеціально розроблені для максимізації оперативного управління складами, включаючи цільове зберігання, і значного підвищення загальної ефективності бізнесу. WMS-системи є ефективним інструментом для виконання стратегічних і тактичних завдань, спрямованих на проактивне управління складом:

- 1) Прискорення інкасації товарів
- 2) Отримання точної інформації (координат) про місцезнаходження деталей на складі;
- 3) Ефективне управління товарами з обмеженим терміном придатності;
- 4) Надання інструментів для підвищення ефективності обробки деталей на складі;
- 5) Оптиміальне використання складських площ

Система управління складом (WMS) вирішує низку завдань, спрямованих на оптимізацію та автоматизацію роботи складів, де зберігаються авіаційні запчастини.

По-перше, вона відповідає за приймання товарів і матеріалів, використовуючи термінали або паперові системи для приймання товарів у режимі реального часу. QR-коди також можуть використовуватися для ефективної ідентифікації та гнучкої перевірки автентичності товарів, що надходять від постачальників без попереднього повідомлення про відвантаження[2]. Гарантуючи зберігання товарів і дотримання стандартів, вона гарантує точність і повноту запасів.

По-друге, що стосується управління складом, система WMS використовує автоматизоване управління складом для встановлення правил оптимального використання складських площ. Вона визначає критерії для побудови зон зберігання і ставить завдання з управління складом. Крім того, система готує різноманітні сипучі товари від різних постачальників і забезпечує ефективність складських операцій.

Таким чином, система WMS допомагає оптимізувати всі аспекти роботи складу авіазапчастин і забезпечує точність та ефективність на всіх етапах управління запасами[3].

Система WMS вирішує різні завдання, пов'язані з управлінням складською логістикою, з метою оптимізації процесу комплектації деталей для авіаційної промисловості. Система забезпечує ефективну роботу, включно з прийманням товарів у режимі реального часу за допомогою технічних пристроїв і паперових носіїв, друком QR-кодів, гнучкою автентифікацією партій товарів і гарантованим зберіганням у належних умовах.

Система також включає в себе автоматизоване управління складом, встановлення правил для оптимального використання складських площ, транспортування товарів, що надходять, для надсилання клієнтам, а також комплексне поповнення запасів і комплектацію на основі різних параметрів продукції.

Гнучке управління замовленнями і групами замовлень включає комплексне групування, обробку і видачу замовлень з оптимізацією ресурсів. Інші аспекти складської діяльності, як-от поповнення запасів, комплектація і навантаження замовлень, спрямовані на автоматизацію і раціоналізацію операцій.

Система також враховує планування роботи розподільчих центрів, управління контейнерами, продуктивність зберігання і виробництва, а також управління персоналом, щоб забезпечити ефективність і успіх складських операцій компанії.

WMS-системи розроблені для максимальної оптимізації управлінських функцій складу та підвищення ефективності бізнесу в цілому. При виборі такої системи для компанії, що спеціалізується на комплектації комплектуючих для літакобудування, важливо враховувати класифікацію та принципи роботи WMS.

На першому рівні розглядаються WMS-системи початкового рівня, які базуються на концепції облікових систем[4]. У таких системах акцент робиться на документах, а не на процесах. Вони не мають адаптації при виконанні процесів, не використовують термінали та працюють не в режимі онлайн.

Другий рівень - це коробкові системи управління, які мають обмежений функціонал та обмежену можливість модифікації бізнес-процесів. Вони оперують процесами та завданнями, але мають фіксовані схеми виконання процесів. На третьому рівні розглядаються конфігуровані системи, які дозволяють вибирати варіанти виконання для кожного складського процесу. У

цих системах є більше можливостей вибору варіантів, і вони дозволяють визначати правила та стратегії для виконання процесів.

Отже, при впровадженні WMS-системи для компанії, яка займається комплектацією комплектуючих для літакобудування, важливо враховувати не лише функціонал системи, але і гнучкість та можливості адаптації цього функціоналу під конкретні особливості бізнес-процесів.

Сьогодні адаптивні архітектури використовуються в таких системах, як HighJump, Provia, Marc, Global, RedPrairie і Click Commerce У випадку з HighJump кожен бізнес-процес виконує певну дію. Він розділений на елементарні об'єкти[5]. Це дає змогу змінювати будь-який бізнес-процес або створювати нові процеси, збираючи об'єкти в єдиний логічний потік.

Особливістю адаптивних систем є можливість впровадження нових технічних процесів, причому зробити це можуть як системні адміністратори постачальника, так і замовника без використання мов програмування. Під час впровадження адаптивної системи постачальник адаптує логіку процесу до вимог нового техпроцесу замовника та надсилає інструмент адаптації замовнику. У процесі експлуатації адміністратор системи може вносити зміни в процес за допомогою тих самих інструментів, які використовують фахівці постачальника.

Складська зона розділена на відділи відповідно до типу технологічного процесу, що дає змогу ефективно розподілити обов'язки та систематизувати роботу персоналу. Ключові параметри, такі як фізичні характеристики складу, навантажувальна техніка і правила роботи, вводяться в систему на етапі впровадження.

Система використовує кодування (штрих-коди, QR) для ідентифікації матеріалів і автоматично керує технічними завданнями[6]. Термінали введення-виведення даних, якими оснащені оператори складу, спрощують вантажно-розвантажувальні роботи та взаємодію з головним сервером системи.

WMS автоматично враховує умови зберігання під час розподілу зон зберігання товарів, беручи до уваги такі параметри, як вологість, температура і термін придатності. Завдання співробітникам генеруються системою з урахуванням деталей кожного завдання і доставляються на термінал співробітника.

Під час формування завдань для співробітників система створює оптимальні маршрути переміщення техніки по складу, підвищуючи продуктивність навантажувачів. Під час роботи система призначає навантажувальну техніку на завдання, а виконання цих завдань перевіряється за допомогою сканування кодів.

Таким чином, система керує всіма діями співробітників і зводить до мінімуму ймовірність помилок під час розміщення вантажів і комплектації замовлень.

1.2 Впровадження транспортних роботів для автоматизації складського простору з урахуванням комплектуючих для літакобудування.

Сучасна методика використання систем автоматизації на складах, заснованих на транспортних роботах, є актуальною на сьогодні [7]. На глобальному рівні роботи отримують широке застосування в різних галузях діяльності. Робот - це універсальна автоматизована машина, яка запрограмована на виконання послідовних команд для здійснення рухових функцій, схожих на функції людини. Їхня універсальність, здатність до швидкої зміни налаштувань при заміні умов або об'єктів виробництва, висока надійність та тривалий термін служби роблять їх ідеальними для автоматизації серійного та малих обсягів виробництва. На рис. 1.1 наведений приклад автоматизованого складу.



Рисунок 1.1 – Автоматизований склад

Особливості товарів на складі включають широку номенклатуру та значний добовий потік [8]. Це вимагає необхідної автоматизації, яка може бути здійснена за допомогою роботизованих систем. Система управління має забезпечувати безперервну роботу складських роботів, виконуючи циклічний

алгоритм цілодобово. З використанням QR кодів, розміщених на упаковці товарів, визначається маршрут та переміщення необхідного товару. Роботизовані транспортери перевозять товар за визначеним маршрутом, нанесеним на підлогу. Зчитування QR кодів здійснюється оптичними зчитувачами, вбудованими в роботів.

1.3 Типи вимірювальних параметрів

Проектована роботизована система повинна включати вимірювання таких параметрів, як маса та відстань[9]. Цей датчик дозволяє визначити можливості переміщення робота по заданому маршруту та вибрати оптимальну швидкість для комфортного переміщення (наприклад, $m=0$ кг, $v=6$ км/год; $m>0$ кг, $v=1.3$ км/год). Похибка вимірювань каналу маси становить лише 0,5%.

Для вимірювання відстані використовується ультразвук, що забезпечує безпечне переміщення роботів по складському приміщенню та запобігає їхнім зіткненням між собою та стелажми. Похибка вимірювань цього модулю становить всього 2%. Ці два модулі передають інформацію до системи управління, яка корегує їхнє подальше переміщення по складу та визначає маршрути для роботів[10].

Ось прогноз і статистика щодо автоматизації складів, що ілюструється на рис. 1.2. Немає сумніву, що в найближчі роки кількість вакансій для цього типу роботи значно скоротиться для людей.



Рисунок 1.2 – Статистика прибутку компанії Amazon

У США автоматизація у продуктовому середовищі розвивається досить повільно, оскільки до середини 2016 року було автоматизовано лише невеликий відсоток, а саме 8%, від розподілених центрів. Щодо практичного застосування, в березні 2012 року компанія Amazon, маючи на меті максимально ефективно використання своїх центрів дистрибуції (DCs), придбала компанію Kiva Systems за суму 775 мільйонів доларів.

Роботи, які здійснюють транспортування замовлень на складах компанії Amazon, виявилися у 4-5 разів більш ефективними, ніж співробітники компанії, які працюють на складі. Операції, виконані роботами, займають лише 15 хвилин, що значно менше, ніж 60-75 хвилин, які потрібні людині. Ці дані стали відомі завдяки звіту Deutsche Bank, опублікованому в Business Insider. У кінці 2014 року Amazon розпочала використовувати 15 000 роботів на 10 складах, а через рік їх кількість зростає до 30 000 на 13 складах компанії. Після придбання компанії Kiva виникли сумніви, чи буде Kiva продовжувати обслуговувати центри дистрибуції. Хоча власник Kiva заявив, що їхні технології будуть доступні для інших роздрібних торговців, виявилось, що Amazon придбала всю продукцію Kiva та призначила її для внутрішнього використання[11]. У квітні 2015 року Kiva була перейменована в Amazon Robotics, і компанія зосередила свою увагу лише на складах Amazon. На рис. 1.3 зображено схему автоматизованого складу Amazon.

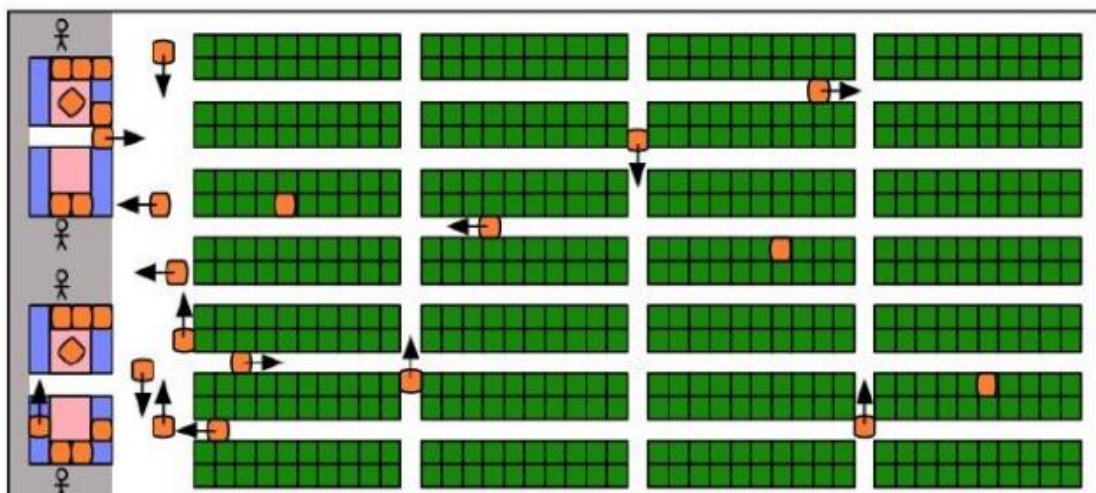


Рисунок 1.3 – Автоматизований склад Amazon

Отже, виникла суперечка між новими постачальниками, і для заповнення порожнечі, що виникла внаслідок втрати технології компанії Kiva, складські програмні системи та роботи, які вийшли з ринку, представили безліч стартапів

своїх робототехнічних систем на виставці MODEX 2016, яка відбулася в Світовому конгресному центрі в Атланті, Джорджія. MODEX, що об'єднує великі виставки з обробки матеріалів, технологій та методів, зібрав понад 850 експонентів, займав 250,000 квадратних метрів площі і включав понад 100 інформаційних семінарів, здобувши понад 25,000 відвідувачів.

Робот компанії Kiva має квадратну конструкцію на колесах, висотою 40 сантиметрів та вагою приблизно 130 кілограмів. Його рухова швидкість становить приблизно 7,5 кілометрів на годину, і він може перевозити вантажі вагою приблизно 280 кілограмів. Використання роботів Amazon не лише дозволяє скоротити час транспортування замовлень, але й ефективно використовує простір в приміщеннях. На складах, де використовуються роботи, можна розмістити на 50% більше товарів порівняно з тими, де працюють люди. Прогнозується, що автоматизація складів буде швидко розвиватися в період з 2017 по 2022 рік, з середньорічним ростом на рівні 11,8%. Кінцевий обсяг ринку підніметься до \$4.44 млрд за прогнозами компанії Markets and Markets Research Pvt. Ltd.

Використання сучасних систем 3D-зору та картографічного програмного забезпечення дозволяє уникати зіткнень та забезпечує легку автономну навігацію між різними точками на складі. Ці технології роблять автоматизацію складського транспорту більш ефективною та надійною порівняно зі старішими методами, такими як маркування та стрічки на підлозі та стелі[12]. На рис. 1.4 показано приклад роботів компанії AVG.



Рисунок 1.4 – Роботи AGV

Clearpath - це постійний постачальник робототехнічних транспортних засобів для військових та наукових цілей, використовуючи свій досвід для створення надійних платформ мобільності із високою конкурентоспроможністю. MiR Mobile Industrial Robots:

- Данський стартап, очолюваний Томасом Вісті, пропонує невеликі транспортні засоби для логістики та охорони здоров'я.

- Працює як буксир і платформа, обладнаний двома сканерами та 3D-камерою для виявлення людей та перешкод.

Висновки: Під час проведення аналізу існуючих рішень було встановлено, що система управління автоматизованим складом повинна виконувати такі завдання:

- Активне управління складом: Забезпечення ефективної координації та організації складських операцій.

- Збільшення швидкості збору товару: Впровадження технологій та систем, які сприяють прискоренню процесу збору товарів.

- Отримання повної інформації про місце дислокації товару: Використання систем моніторингу та навігації для точного визначення місцезнаходження товарів.

- Ефективне управління товаром з обмеженим терміном придатності: Використання систем контролю та моніторингу для забезпечення якості та строків придатності товарів.

- Отримання інструментів для підвищення ефективності та розвитку процесів: Впровадження інноваційних технологій та автоматизованих рішень.

- Оптимальне використання складської площі: Максимізація ефективного використання простору на складі.

Ці завдання можна вирішити використовуючи систему управління логістичним складуванням WMS. Додатково, часткова роботизація може надати складу переваги, такі як виключення впливу шкідливих факторів на персонал на виробництвах з підвищеною небезпекою та швидка окупність.

1.4 Висновки

Загальний аналіз різноманітних компаній та їхніх технологічних рішень у сфері автоматизації складського управління вказує на стрімкий розвиток

індустрії та широкий спектр інноваційних підходів до вирішення завдань у цій галузі.

Компанії, такі як 6 River Systems, Magazino, GrayOrange та InVia Robotics, розробляють та представляють унікальні рішення для підвищення ефективності управління складом. Застосування роботів для позиціонування, завантаження та доставки авіаційних запчастин вказує на можливості автоматизації та оптимізації в складському управлінні[13].

У порівнянні із традиційними методами, такими як Kiva, технології від Magazino, GrayOrange та InVia Robotics внесли свої інновації, пропонуючи різноманітні методи збору та доставки товарів. Використання технологій IoT та систем 3D-зору сприяє уникненню зіткнень та забезпечує автономну навігацію між різними точками на складі.

Clearpath Robotics та MiR Mobile Industrial Robots використовують технології, що можуть виявляти людей та перешкоди, щоб забезпечити безпеку в складському середовищі. Їхні роботи можуть працювати як буксир і платформа, оснащені сканерами та 3D-камерою.

Висновок зазначає важливість активного управління складом, швидкості збору товару, точного визначення місця знаходження товарів, управління товарами з обмеженим терміном придатності та використання інноваційних технологій для ефективності та розвитку процесів. Загалом, автоматизація складського управління виявляється обіцяючим напрямком для покращення продуктивності та забезпечення конкурентоспроможності в сучасному бізнес-середовищі.

2 РОЗРОБКА ТА ПОДАННЯ ОПИСУ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ

2.1 Опис структури автоматизованої системи управління складом

Структурна схема є графічним відображенням загальної будови пристрою, системи або об'єкта. На рис. 2.1 представлена структурна схема системи управління автоматизованим складом. Ця схема надає зрозуміле відображення основних блоків, вузлів та їх взаємодії, розкриваючи принципи роботи та взаємозв'язки між різними компонентами. Вона допомагає зрозуміти призначення даного пристрою та його роботу в різних режимах, а також взаємодію між його складовими частинами. В контексті даної магістерської дисертації, важливо відзначити, що структурна схема спрощує розуміння функціональності системи управління автоматизованим складом, зокрема його ролі в комплектації літакобудівельних компонентів.

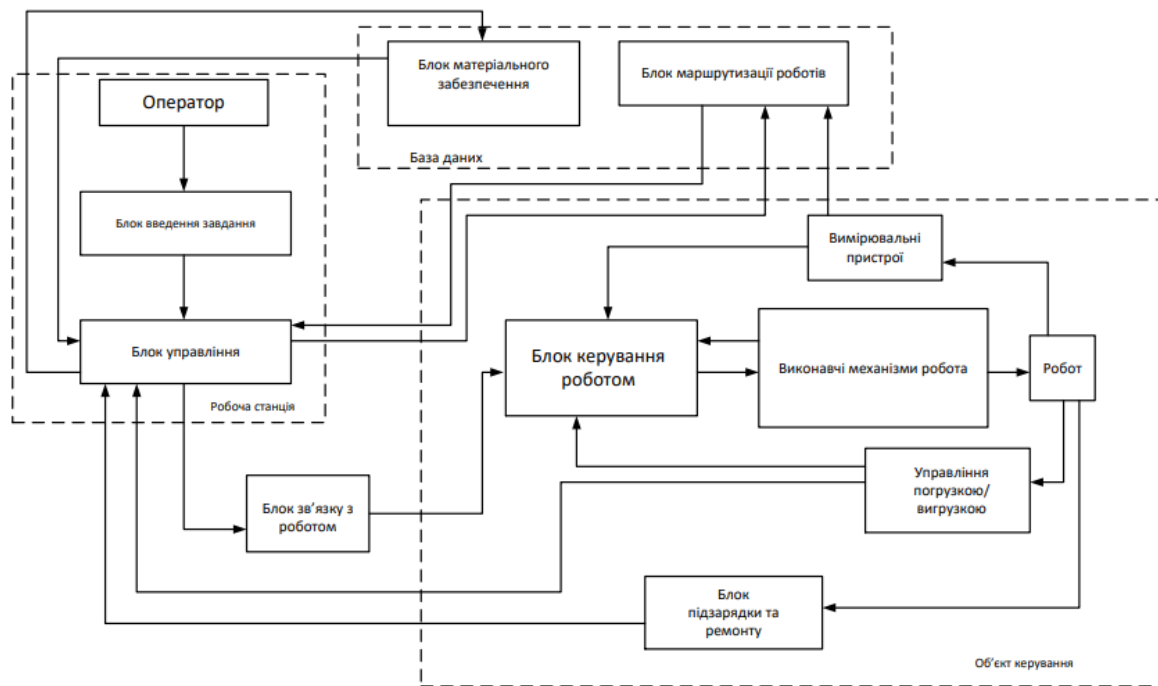


Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна

Блок-схема автоматизованої системи управління складом містить такі компоненти:

1. Оператор: цей блок ініціює роботу системи, виконуючи необхідні дії.
2. Блок введення завдання: зберігається список товарів, які необхідно доставити клієнту.
3. Блок управління роботом: цей блок відповідає за управління різними функціями робота, такими як доставка, навантаження, переміщення складом і відправлення даних у блок маршрутизації робота.
4. Блок маршрутизації робота: використовує такі інструменти, як антени, оптичні датчики і зчитувачі QR-кодів, щоб забезпечити точне позиціонування робота-трансфера.
5. Блок управління: керує всім складом, включно з роботами-трансформерами.
6. Блок зв'язку з роботами: забезпечує зв'язок між системою управління складом і окремими роботами.
7. Блок контролю і ремонту: відповідає за обслуговування системи управління.
8. Блок матеріального забезпечення: база даних, у якій зберігається інформація про положення і параметри матеріалів на складі.
9. Привід: забезпечує рухомі частини робота, як-от поршні для підйому й опускання, електродвигуни та механізми, що обертаються.
10. Робот: найважливіша частина системи, що виконує команди системи управління і досягає бажаного результату.
11. Управління навантаженням/розвантаженням: управляє навантаженням/розвантаженням продукції в/з робота, включно з визначенням висоти підйому і ваги завантаження поршня (кошика).

Ця блок-схема ретельно визначає ключові компоненти та їхні взаємозв'язки в автоматизованій системі управління складом і дає чітке уявлення про її функції в контексті комплектації авіаційних компонентів.

Відповідно до структурної схеми, автоматизована система управління складом працює наступним чином:

1. Введення завдання:
 - Оператор подає список матеріалів через блок введення завдань.
2. Отримання інформації про матеріали:
 - Блок управління надсилає сигнали про наявність та місцезнаходження товару до блоку постачання матеріалів, від якого отримує повну інформацію про наявність, місцезнаходження та параметри матеріалу.
3. Визначення координат робота:

- Блок управління визначає координати матеріалу і передає їх на блок визначення траєкторії руху робота.

4. Вибір робота.

- Блок маршрутизації робота визначає доступних роботів і робота, який знаходиться найближче до матеріалу.

5. Спрямування робота до матеріалу:

- Блок управління передає координати матеріалу обраному роботу через блок зв'язку з роботом.

6. Керування рухом робота:

- Блок керування роботом отримує сигнали про переміщення щодо координат до виробу та надсилає команди виконавчим механізмам для виконання рухів. Результат руху фіксується вимірювальним пристроєм у блоці "робота".

7. Навігація та вимірювання:

- Під час переміщення блок "Робот" передає дані про точне положення робота на складі в блок "Маршрутизація робота" через блок вимірювального пристрою для корекції руху і забезпечення стабільної роботи системи.

8. Завершення переміщення та підготовка до завантаження:

- Після того, як робот завершив переміщення, на блок "Управління завантаженням і розвантаженням" надсилається сигнал про те, що робот готовий до завантаження товару. Ця інформація надсилається до блоку управління, який отримує дані про положення робота від блоку маршрутизації робота та ініціює процес завантаження товару через блок управління роботом.

Алгоритм описує кроки від введення завдання до завершення завантаження продукту і показує, як різні блоки взаємодіють для ефективного управління автоматизованим складом, з акцентом на авіаційні компоненти.

Блок керування роботом ініціює процес завантаження матеріалу, подаючи сигнал виконавчим механізмам. За допомогою вимірювального пристрою робота визначає висоту підйому поршня та інформує блок керування завантаженням/розвантаженням про завершення цього етапу. Після завершення завантаження блок управління сигналізує про завершення процесу.

Коли блок керування отримує повідомлення про завершення завантаження, він отримує координати положення оператора-заявника від блоку керування траєкторією руху робота і надсилає їх до блоку керування роботом. Отримавши координати, блок керування дає команду приводу почати

переміщення робота. Дані про вагу вантажу, зібрані вимірювальним пристроєм, використовуються для обмеження максимальної швидкості та забезпечення балансу під час переміщення.

Результати переміщення перевантажувального робота фіксуються вимірювальним пристроєм і передаються на блок керування роботом для навігації. Коли робот завершує переміщення, він інформує блок управління навантаженням про готовність до розвантаження продукту.

Операція розвантаження аналогічна завантаженню, і в кінці цієї фази робот повертається на початкове місце з координатами. Після завершення цих операцій робот переходить в автономний режим і співпрацює з блоком зарядки і ремонту для забезпечення стабільної роботи на складі.

2.2 Опис функціональної структури системи керування для автоматизованого складу, спеціалізованого у комплектації літакобудівельних матеріалів

У даній магістерській роботі була розроблена функціональна схема для системи управління автоматизованим складом. На представленій на рисунку 2.2 (Додаток 2) функціональній схемі зображені пристрої, які виконують конкретні операції, а також відображені взаємозв'язки між ними, по яким передаються дані у формі як аналогового, так і цифрового сигналів.

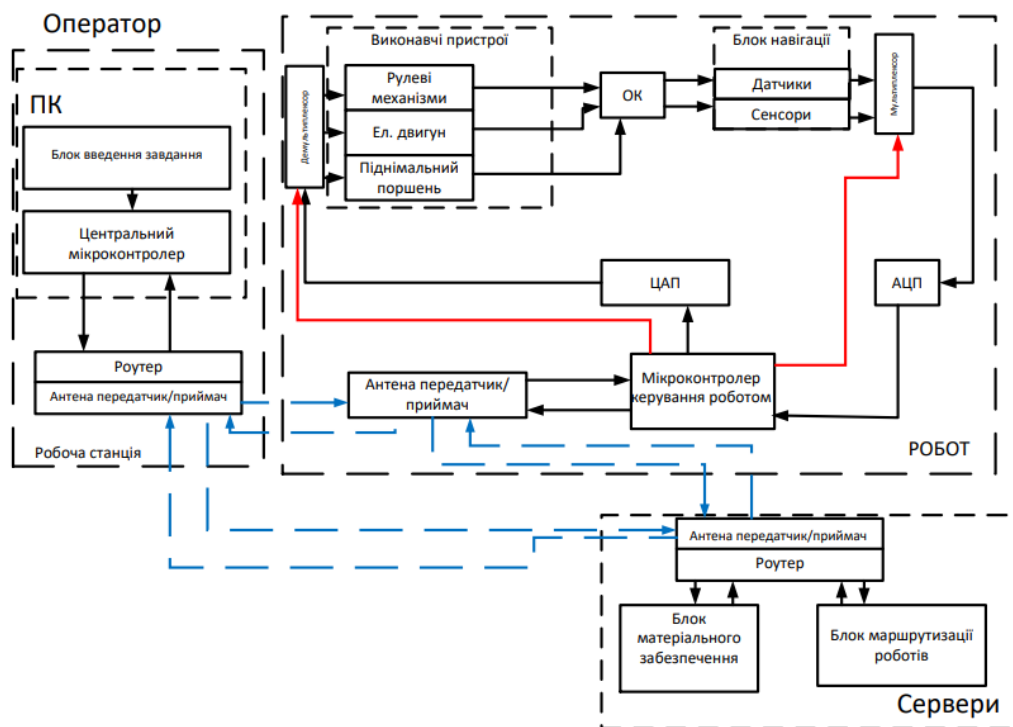


Рисунок 2.2 – Схема електрична функціональна

Автоматизована система управління складом включає такі основні компоненти:

1) Блок введення завдань: цей блок призначений для запису переліку матеріалів, які потрібно перевезти клієнту.

2) Центральний мікроконтролер: відповідає за управління всіма частинами системи управління складом, встановленими на складі.

3) Персональний комп'ютер (ПК): окремий функціональний блок, що містить блок введення завдань і центральний мікроконтролер.

4) Маршрутизатор з антеною: електронний пристрій для з'єднання мереж і управління процесом маршрутизації.

5) Робоча станція: цей блок включає в себе ПК і маршрутизатор і має персоналізований діапазон частот передачі даних для кожної групи роботів.

6) Приводи: забезпечують рухові функції робота, такі як рульові механізми, електродвигуни, підйомні та опускні поршні.

7) Блоки навігації: використовують датчики та енкодери для визначення точного положення робота в просторі.

8) Об'єкт управління (СО): інша частина системи, де дані збираються датчиками при спрацьовуванні виконавчих механізмів.

9) Мультиплексори та демультиплексори: забезпечують передачу цифрової інформації між різними частинами системи.

10) АЦП і ЦАП: відповідають за перетворення аналогових і цифрових сигналів відповідно.

11) Мікроконтролер керування роботом: керує рухом складського робота та реагує на сигнали помилок під час роботи системи.

12) Блок подачі матеріалів: містить дані про точне місцезнаходження матеріалів на складі.

13) Блок маршрутизації роботів: надає інформацію про точне місцезнаходження транспортних роботів для їх точної навігації та координації їх руху на складі.

Автоматизація складів стрімко розвивається і, безсумнівно, в найближчі роки обмежить людську працю. Використання таких елементів, як складські роботи, з урахуванням переліку матеріалів і автоматичної карти маршруту до стелажів, приносить ряд переваг у складських системах з найрізноманітнішими технологіями зберігання і обробки товарів.

Однак, незалежно від розміру складу, обсягу матеріалів і технічного оснащення, для підвищення ефективності таких систем необхідно вирішити кілька ключових питань:

- Ефективне використання складських площ: максимізація простору, доступного для зберігання товарів, і визначення їхнього точного місцезнаходження відповідно до місця призначення.

- Оптимізація та автоматизація складських операцій: планування розміщення товарів відповідно до найкращої стратегії для конкретного складу.

- Мінімізація непродуктивних завдань: зменшення кількості завдань, які не призводять до виробництва продукції.

- Ефективне управління навантажувальною технікою та персоналом: максимізація робочого часу та підвищення продуктивності.

- Управління кількома складами як єдиною системою: централізоване управління кількома складами.

- Контроль термінів придатності продуктів Відстежуйте та контролюйте терміни придатності продуктів.

- Збільшення товарообігу без збільшення ресурсів: максимізація товарообігу без залучення додаткових людських і технічних ресурсів.

Сучасні концепції автоматизації складу включають ретельний аналіз товаропотоку, проектування логістики та вибір оптимального рішення на основі повернення інвестицій. Великі склади, що обробляють велику кількість товарів, потребують автоматизованої інформаційної системи для ефективної організації роботи.

Зокрема, розглянемо один з ключових елементів автоматизованого складу - роботу транспортних роботів. Її роботу можна розглядати з точки зору трьох основних функцій або алгоритмів: позиціонування, завантаження і доставка.

2.3 Висновки

У висновку, система управління для автоматизованого складу, спеціалізованого у комплектації літакобудівельних матеріалів, представляє собою комплексну структуру, яка включає в себе блоки завантаження, розвантаження, навігації, та взаємодії з оператором. Завдяки цій системі, роботи здатні ефективно та точно виконувати завдання переміщення, завантаження та розвантаження, дотримуючись вимог щодо швидкості та балансу, забезпечуючи

тим самим оптимальне використання складського простору та збільшення продуктивності.

Функціональна структура системи управління включає в себе різноманітні компоненти, такі як блоки навігації, блоки введення завдань та центральні мікроконтролери, які спільно працюють для забезпечення ефективного та безперервного функціонування складу. Інтеграція цих компонентів дозволяє системі ефективно керувати роботами та матеріалами, що перебувають на складі, сприяючи підвищенню загальної продуктивності та ефективності управління логістичними операціями.

3 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

Для створення математичної моделі системи керування рухом транспортного робота було використано розрахунки з теорії автоматичного керування. Під час розроблення програмної частини моделі для спрощення й уточнення розрахунків використовували програмний пакет Matlab із надбудовами Simulink.

Розглянутий об'єкт являє собою складський робот із двома незалежними ведучими колесами, призначений для переміщення горизонтальною площиною. Існуючі математичні моделі цього робота (наведені в [1, 6]) мають певні недоліки. Наприклад, одні моделі ([2, 5]) не враховують динаміки електроприводу, інші ([1, 4, 6]) недостатньо докладно описують наслідки взаємодії коліс з опорною поверхнею; модель у, хоча й враховує вплив моментів тертя кочення, не враховує вплив криволінійної траєкторії руху робота. Вона не враховує зміни нормальних сил реакції на опорну поверхню, які виникають під час руху робота.

У зв'язку з вищезазначеним пропонується розробити рівняння руху робота, що враховують момент тертя кочення на ведучих колесах і зміну нормальної сили реакції на опорній поверхні. Ці рівняння розробляються на основі форми рівнянь Лагранжі для електромеханічних систем із неголономним зв'язком.

Для зручності визначення рівнянь руху використовується система координат, наприклад, нерухома система $Oxyz$ (площина Oxy збігається з горизонтальною площиною, якою рухаються колеса робота) або рухома система $Ax_1y_1z_1$, жорстко пов'язана з платформою робота. Ці системи також враховують певні умови та припущення, як-от відсутність ковзання й абсолютна гладкість опори.

- нерухому систему $Oxyz$, площина якої Oxy збігається з горизонтальним шорсткою площиною, по якій котяться колеса робота, - рухома система $Ax_1y_1z_1$ з початком в точці A , жорстко пов'язану з його платформою.

- При цьому приймемо, що центр мас робота C_1 лежить на осі Ax_1 , що є віссю симетрії шасі.

Також приймемо наступне допущення:

- робот являє собою систему абсолютно твердих тіл;
- рух виконується без прослизання;
- маси опори 2 і шестерню редукторів вважаються рівними нулю;
- в точці C_2 платформа має абсолютно гладку опору;

- робот рухається опорою вперед.

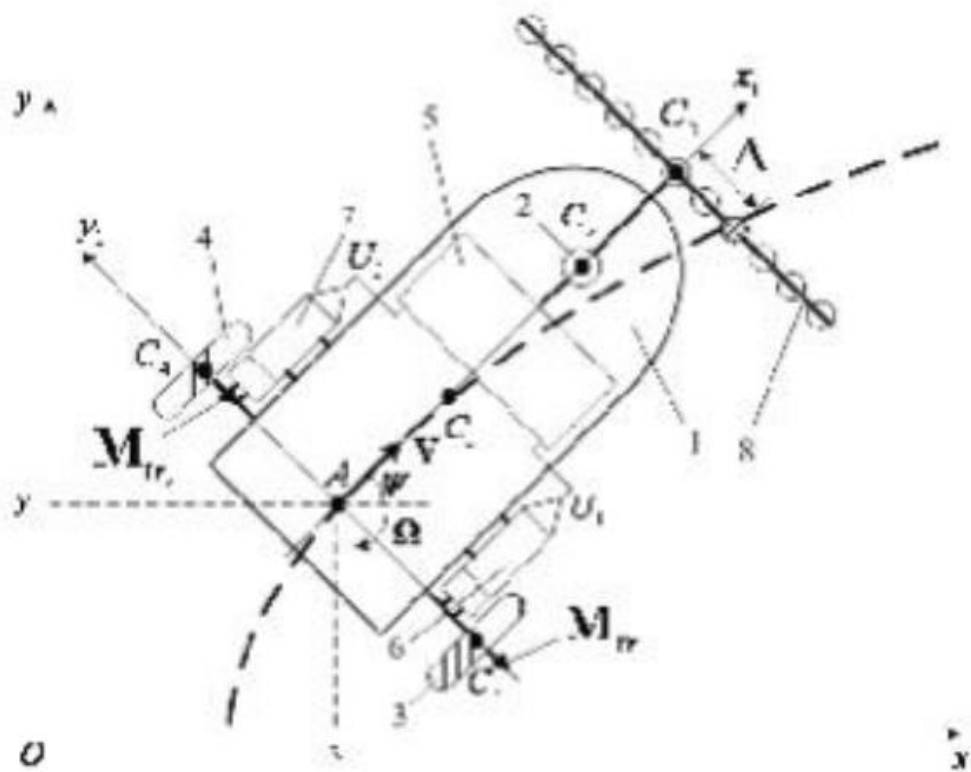


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема мобільного робота для виведення рівнянь руху

- 1 - платформа;
- 2 - абсолютно гладка опора;
- 3, 4 - провідні колеса;
- 5 - блок розрахунку керуючих напруг;
- 6, 7 - електроприводи;
- 8 - оптрона лінійка

Відповідно вектор узагальнених швидкостей розглянутої системи має вигляд:

$$\dot{q} = [\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{\psi} \quad \dot{\phi}_1 \quad \dot{\phi}_2 \quad \dot{e}_1 \quad \dot{e}_2]^T$$

Узагальнені швидкості задовольняють трьом рівнянням неголономних зв'язків:

$$\begin{cases} -\dot{x} \sin \psi + \dot{y} \cos \psi = 0, \\ \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi + l\dot{\psi} - r\dot{\phi}_1 = 0, \\ \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi - l\dot{\psi} - r\dot{\phi}_2 = 0, \end{cases}$$

Кінематичні рівняння руху робота, що описують залежність між узагальненими і псевдошвидкостями системи, в матричній формі мають вигляд

$$\dot{q} = \frac{1}{r} \begin{pmatrix} r \cos \psi & 0 & 0 & 0 \\ r \sin \psi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 \\ 1 & l & 0 & 0 \\ 1 & -l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \end{pmatrix} \dot{\pi},$$

Динамічні рівняння руху робота мають вигляд:

$$\begin{cases} m\dot{V} = \frac{nc}{r}(i_1 + i_2) + \frac{1}{r}(M_{f_1} + M_{f_2}) + m_1 a \Omega^2, \\ J\dot{\Omega} = \frac{ncl}{r}(i_1 - i_2) + \frac{l}{r}(M_{f_1} + M_{f_2}) - m_1 a V \Omega \\ L \frac{di_1}{dt} + Ri_1 + \frac{nc}{r}(V + l\Omega) = U_1, \\ L \frac{di_2}{dt} + Ri_2 + \frac{nc}{r}(V - l\Omega) = U_2, \end{cases},$$

$$\text{, де } m = m_1 + 2m_k + 2\frac{J_y}{r^2};$$

$$J = J_1 + (m_1 + 2m_k)a^2 + 2\frac{J_y}{r^2}l^2;$$

де m_1 представляє сумарну масу платформи та статорів електродвигунів;

m_k – сумарна маса ведучого колеса та ротора електродвигуна;

J_1 – момент інерції робота відносно вертикальної осі, яка проходить через його центр мас;

J_y – "наведений" момент інерції колеса;

J_r – момент інерції колеса відносно горизонтальної осі;

J_r – момент інерції ротора електродвигуна;

n – передавальне число редуктора;

a_1 – відстань від точки А до центру мас робота С1;

c – коефіцієнт електромеханічної взаємодії;

M_1, M_2 – моменти тертя кочення;

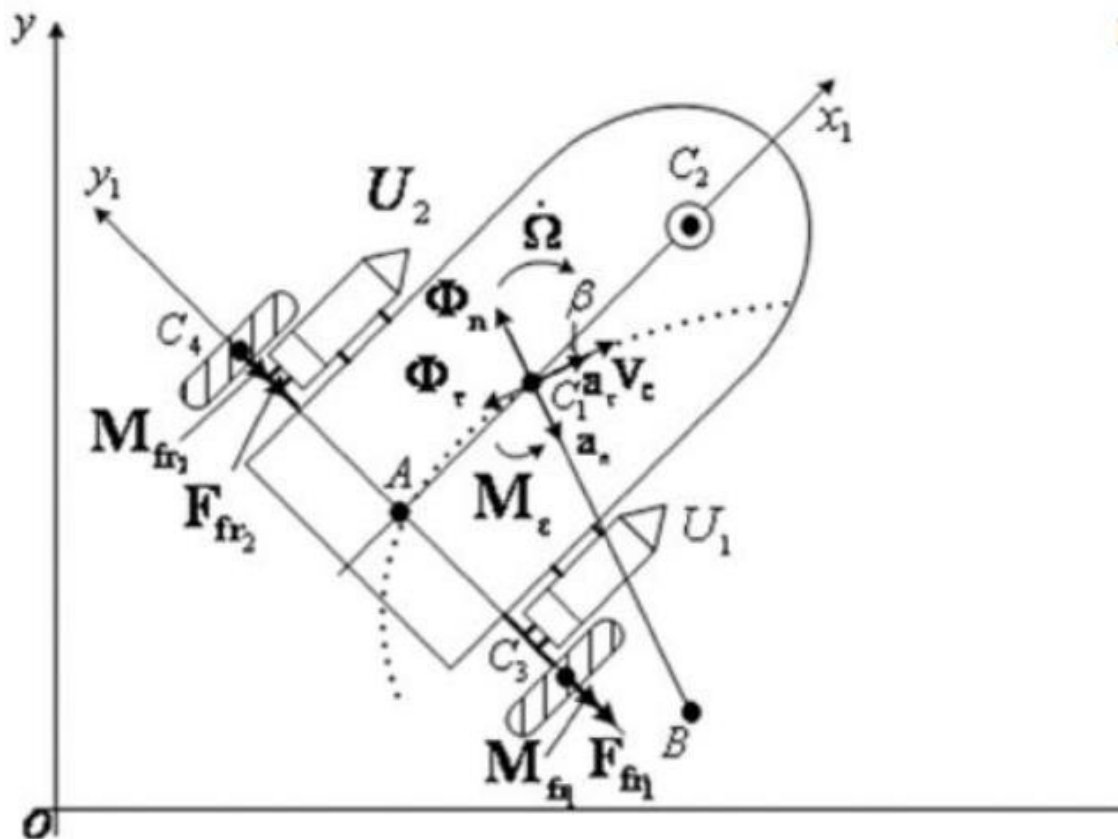
L – узагальнена індуктивність ланцюга електродвигуна;

R – опір ланцюга ротора;

U_1, U_2 – керуючі напруги, застосовані до електродвигунів.

$$M_{frK} = \begin{cases} -\delta N_K \text{sign}(\dot{\phi}_K), \dot{\phi}_K \neq 0, \\ -nci_K, \dot{\phi}_K = 0, |nci_K| \leq \delta N_K, \\ -\delta N_K \text{sign}(i_K), \dot{\phi}_K = 0, |nci_K| < \delta N_K, \end{cases} ,$$

де δ – коефіцієнт тертя кочення; N_K – сила нормальної реакції горизонтальної опорної площини, що діє на K -те провідне колесо. Для визначення значень N_1 і N_2 був використаний принцип Даламбера. Зазначений принцип дозволив розробити розрахункові схеми, представлені на рисунку 2, де Φ_n – відцентрова сила інерції, яка визначається нормальним прискоренням a_n ; Φ_τ – сила інерції, яка визначається тангенціальним прискоренням a_τ ; M_ϵ – момент інерції, який визначається прискоренням Ω ; M_{Z1} – рівнодіючих моментів M_ϵ , моментів, визначимими силами Φ_n і Φ_τ , і моменту, визначається силами $1 / M_{fr}^2$ і $2 / M_{fr}^2$; G – вага робота; V_c – швидкість центру мас робота.



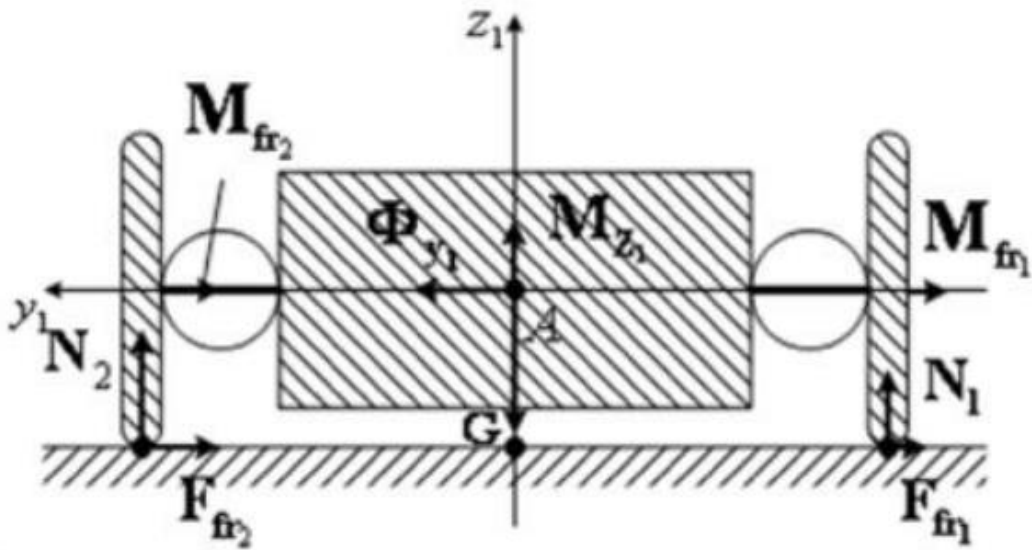


Рисунок 3.2 – Розрахункові схеми мобільного робота для визначення сил нормальної реакції шорсткою площині, що діють на провідні колеса

Рівнодіюча паралельних осі Ay_1 складових сил Φ_n і Φ_τ , $-1 \Phi_y$, спільно з рівнодіюча сил тертя ковзання (при спокою) F_{fr1} і F_{fr2} , утворює пару сил представлено на рисунку 4.2, вплив якої визначає зміна сил нормальної шорсткою площині N_1 і N_2 при русі робота уздовж криволінійних траєкторій. З урахуванням зазначеного зміни значення N_1 і N_2 при відсутності поперечного ковзання ведучих коліс визначаються наступним чином:

$$N_1 = \frac{m_1 + 2m_k}{2} \left(\frac{ga_1}{a + a_1} + \frac{r((V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \text{sign}(\Omega) + \dot{\Omega} a \rho)}{l\rho} \right),$$

$$N_2 = \frac{m_1 + 2m_k}{2} \left(\frac{ga_1}{a + a_1} + \frac{r((V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \text{sign}(\Omega) + \dot{\Omega} a \rho)}{l\rho} \right),$$

де g – прискорення вільного падіння; a_1 і a_2 – відстань від центру мас робота C_1 до точки кріплення опори C_2 ; $\rho = BC_1$ – радіус кривизни траєкторії руху центру мас робота. Радіус кривизни траєкторії руху центра мас робота C_1 визначається наступним чином:

$$\rho = \frac{a}{|\sin \beta|}.$$

Значення кута β визначається зі співвідношення

$$\beta = \begin{cases} \frac{\pi}{2}, V = 0, \\ \arctg\left(\frac{\Omega a}{V}\right), V \neq 0. \end{cases},$$

Рух робота без поперечного ковзання ведучих коліс передбачає виконання умови, що виражається наступним нерівністю (передбачається модель сухого тертя Кулона):

$$(m_1 + 2m_k) \left| \frac{(V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \operatorname{sign}(\Omega)}{\rho} + \dot{\Omega} a \right| < (N_1 + N_2) f, ,$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання Нехай на робот, встановлені два електродвигуна постійного струму, які забезпечують обертання провідних коліс платформи. Як і раніше вважаємо, що рух провідних коліс відбувається без прослизання, що призводить до трьох незалежним рівнянням неголомних зв'язків. В $q^* 0 =$,Матриця B , що входить в рівняння неголомних зв'язків, має вигляд:

$$B = \begin{pmatrix} -\sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos \psi & \sin \psi & l & -r & 0 & 0 & 0 \\ \cos \psi & \sin \psi & -l & 0 & -r & 0 & 0 \end{pmatrix} .$$

Так як вектор узагальнених координат q містить сім компонент, а швидкості системи задовольняють першим трьом рівнянням зв'язку

$$\begin{aligned} v p_{3y1} = v p_{4y1} &= -\dot{x} \sin \psi + \dot{y} \cos \psi = 0 \\ v p_{3y1} &= \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi + l \dot{\psi} - r \dot{\phi}_3 = 0 . \\ v p_{4y1} &= \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi - l \dot{\psi} - r \dot{\phi}_4 = 0 \end{aligned}$$

При цьому зв'язок між взаємопов'язаними і псевдошвидкостями визначається прямокутною матрицею H , так що:

$$\dot{x} = H \dot{\pi}$$

$$H = \frac{1}{r} \begin{pmatrix} r \cos \psi & 0 & 0 & 0 \\ r \sin \psi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 \\ 1 & l & 0 & 0 \\ 1 & -l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \end{pmatrix}.$$

Рівняння в скалярній формі мають вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \psi, \\ \dot{y} &= V \sin \psi, \\ \dot{\psi} &= \Omega \\ \dot{\phi}_1 &= \frac{V + l\Omega}{r}, \\ \dot{\phi}_2 &= \frac{V - l\Omega}{r}, \\ \dot{e}_1 &= i_1, \\ \dot{e}_2 &= i_2. \end{aligned}$$

Кінетична енергія системи визначається наступним чином

$$\begin{aligned} 2T &= (m_1 + 2m_k)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - 2m_1 a(\dot{x} \sin \psi - \dot{y} \cos \psi) \dot{\psi} + \\ &+ (m_1 a^2 + J_1 + 2m_k l^2 + 2J_{kz}) \dot{\psi}^2 + J_y (\dot{\phi}_3 + \dot{\phi}_4). \end{aligned}$$

m_1 - маса платформи робота, m_k - сумарна маса колеса і ротора електродвигуна, J_1 - момент інерції відповідно до вертикальної осі приходящої через центр мас С, J_{kz} - момент інерції відносно вертикальної осі, J_y - приведений момент інерції колеса, J_{kx} - момент інерції відносно горизонтальної осі, J_{ky} - момент інерції ротора електродвигуна, n - передаточне число редуктора.

Магнітну енергію та дисипативну функцію задаємо у вигляді:

$$\begin{aligned} 2W_m &= L(\dot{e}_1^2 + \dot{e}_2^2) + 2cn(\phi_3 \dot{e}_1 + \phi_4 \dot{e}_2) \\ \psi &= \frac{1}{2} R(\dot{e}_1^2 + \dot{e}_2^2). \end{aligned}$$

де L – індуктивність ланцюга електродвигуна, c – коефіцієнт електромеханічної взаємодії, R – опір ланцюга ротора. Потенціальна і електрична енергія рівні нулю при цьому лагранжеван розглядаємої електромеханічної системи визначається тільки кінетичною та магнітною енергією:

$$2L = (m_1 + 2m_k)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - 2m_1 a(\dot{x} \sin \psi - \dot{y} \cos \psi) \dot{\psi} + J_y(\dot{\phi}_3^2 + \dot{\phi}_4^2) + (m_1 a^2 + J_1 + 2m_k l^2 + 2J_k) \dot{\psi}^2 + L(i_1^2 + i_2^2) + 2cn\phi_3 i_1 + 2cn\phi_4 i_2.$$

Вектор узагальнених сил включає сторони ЕРС, прикладені до електродвигунів:

$$Q = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ U_1 \ U_2)^T.$$

Приймаючи до уваги попередні формули розрахунку і виконуючи необхідні розрахунки отримуємо динамічні рівняння роботи:

$$\text{, де } m = m_1 + 2m_k + 2 \frac{J_y}{r^2};$$

$$J = J_1 + J_k + (m - m_1)l^2 + m_1 a^2.$$

$$m\dot{V} - m_1 a \Omega^2 - \frac{nc}{r}(i_1 + i_2) = 0,$$

$$J\dot{\Omega} + m_1 a V \Omega - \frac{nc l}{r}(i_1 - i_2) = 0,$$

$$L \frac{di_1}{dt} + R i_1 + \frac{nc}{r}(V + l\Omega) = U_1,$$

$$L \frac{di_2}{dt} + R i_2 + \frac{nc}{r}(V - l\Omega) = U_2.$$

Зауважимо, що при $L = 0$, коли вказане «час запізнювання» дорівнює нулю, з останніх двох рівнянь визначаються струми в електродвигунах

$$i_1 = \frac{U_1}{R} - \frac{nc}{rR}(V + l\Omega)$$

$$i_2 = \frac{U_2}{R} - \frac{nc}{rR}(V - l\Omega)$$

Підстановка струмів до перших двох рівнянь приводить нас до системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} m\dot{V} - m_0 a \Omega^2 + \frac{2n^2 c^2}{r^2 R} V &= \frac{nc}{rR} (U_1 + U_2), \\ J\dot{\Omega} + m_0 a V \Omega + \frac{2n^2 c^2 l^2}{r^2 R} \Omega &= \frac{ncl}{rR} (U_1 - U_2). \end{aligned}$$

З диференціальних рівнянь та системи управління роботом за допомогою даних Річарада Дорфа та Роберта Бішопа з книги «Сучасні системи управління» в яких вже виведено, згідно методів вище, перехідну характеристику:

$$W = \frac{5s + 10}{0.25s^4 + 0.75s^3 + 1.5s^2 + s},$$

яку буде використано в подальшій розробці регулятора.

3.1 Розроблення цифрової моделі системи керування транспортними роботами

Система забезпечення якості руху транспортного робота під впливом завад є цифровою та дискретною за часом. Для створення цієї системи потрібно виконати Z-перетворення передавальної функції загального виду та обчислити передавальну функцію приведеної безперервної частини [8, 9]. Апарат Z-перетворення відіграє в цифрових системах роль, аналогічну ролі перетворення Лапласа в безперервних системах. Важливість методу Z-перетворення не повинна занижуватися, оскільки класичні методи аналізу та проектування систем управління завжди залишаються актуальними для практичних застосувань. Метод Z-перетворення пов'язаний із дискретним перетворенням Лапласа та впливає з нього. Заміни деяких значень у формулі дискретного перетворення Лапласа дають наступний вираз:

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f[n]z^{-n}$$

Незважаючи на те, що метод Z-перетворення є зручним інструментом для аналізу цифрових систем, при його використанні слід враховувати наступне:

1. Метод Z-перетворення ґрунтується на припущенні, що квантований сигнал представляє собою послідовність імпульсів, площа яких дорівнює амплітуді вхідного сигналу в дискретні моменти часу. Це припущення вірне лише у

випадку, якщо час квантування набагато менший за визначальну постійну часу системи.

2. Метод Z-перетворення визначає значення тимчасової функції вихідного сигналу в дискретні моменти часу для лінійної системи і не містить інформації між цими моментами квантування.

3. При аналізі лінійної системи методами Z-перетворення передавальна функція безперервної системи повинна мати полюсів принаймні на один більше, ніж нулів. В іншому випадку, процеси в системі, отримані за допомогою Z-перетворення, можуть бути неточними.

Для визначення передавальної функції приведені безперервної частини використаємо наступну формулу:

$$W_{\text{нб}}(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \frac{W(s)}{s} \right\}$$

Виконаємо аналітичне Z-перетворення передавальної функції.

$$W = \frac{5s+10}{0.25s^4 + 0.75s^3 + 1.5s^2 + s}$$

$T=0.15$ – час квантування.

Проведемо перетворення:

$$\begin{aligned} W(z) &= \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \frac{W(s)}{s} \right\} = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \frac{10(s+2)}{s(s+1)(0.25s^2 + 0.5s+1)} \right\} = \mathcal{Z} \left\{ \frac{A}{s} + \frac{B}{s+1} + \frac{C}{0.25s^2 + 0.5s+1} \right\} = \\ &= \frac{0.15}{z-1} + \frac{0.1393}{z-0.8607} + \frac{0.04052z + 0.03665}{z^2 - 1.664z + 0.7408} = \\ &= \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376} \end{aligned}$$

Згідно чого при проведенні всіх необхідних операцій отримаємо наступний вид цифрової передавальної функції

$$W(z) = \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376}.$$

Виконаємо розрахунки Z-перетворення за допомогою середовища Matlab: Для початку занесемо перетворення в Matlab

```
W=tf([5 10],[0.25 0.75 1.5 1 0])
```

```
T=0.15
```

```
W =
```

```
5 s + 10
```

```
-----  
0.25 s^4 + 0.75 s^3 + 1.5 s^2 + s
```

Тепер виконаємо перетворення з часом квантування – 0.15 >> wz=c2d(w,T)
Transfer function: W2 = 0.01079 z^3 + 0.03341 z^2 - 0.02067 z - 0.007416
z^4 - 3.524 z^3 + 4.697 z^2 - 2.81 z + 0.6376 Sampling time: 0.15

Порівнявши результати аналітичного визначення передавальної функції приведеної безперервної частини та виконання розрахунків за допомогою пакету Matlab, можна визнати, що вони повністю ідентичні.

3.2 Аналіз стійкості та якості цифрової системи управління рухом

Для вивчення стійкості проводимо аналіз характеристичного рівняння замкнутої цифрової системи та визначаємо передавальну функцію цієї системи.

$$W_3(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)}$$

Передавальна функція приведеної безперервної частини:

$$W(z) = \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376}$$

Знаходимо передавальну функцію замкнутої цифрової системи:

$$\begin{aligned} W_3(z) &= \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376} * \\ &* \frac{1}{1 + \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376}} = \\ &= \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.51321z^3 + 4.73041z^2 - 2.83067z + 0.630184} \end{aligned}$$

Знаходимо корені характеристичного рівняння за допомогою середовища Матлаб:

```

D(z)=z^4 -3.51321z^3 +4.73041z^2 -2.83067z+0.630184
>> w=tf([1],[1 -3,51321 4,73041 -2,83067 0,630184])
Transfer function:
          1
-----
s^4 - 3.513 s^3 + 4.73 s^2 - 2.831 s + 0.6302

>> pole(w)
ans =
1.0627 + 0.4053i
1.0627 - 0.4053i
0.6939 + 0.0752i
0.6939 - 0.0752i

```

Це означає що характеристичне рівняння має вигляд:

$$D(z)=(z-0.9793)(z-(0.7527 + 0.9669i))(z-(0.7527 - 0.9669i)).$$

$$|z_1|=1.0627 + 0.4053i=\sqrt{1.0627^2 + 0.4053^2} = 1.1373651 > 1$$

$$|z_2|=1.0627 - 0.4053i=\sqrt{1.0627^2 + 0.4053^2} = 1.1373651 > 1$$

$$|z_3|=0.6939 + 0.0752i=\sqrt{0.6939^2 + 0.0752^2} = 0.697963 < 1$$

$$|z_4|=0.6939 - 0.0752i=\sqrt{0.6939^2 + 0.0752^2} = 0.697963 < 1$$

Оскільки корені рівняння не відповідають умовам (3.3) система в даному випадку - нестійка.

Якість САУ – це показники якості в перехідному режимі і точність в усталених режимах. Показники якості перехідного процесу і точність в усталеному режимі прийнято називати прямими показниками якості. Якість цифрових систем залежить від обраного періоду квантування і його збільшення може призвести до її нестійкості.

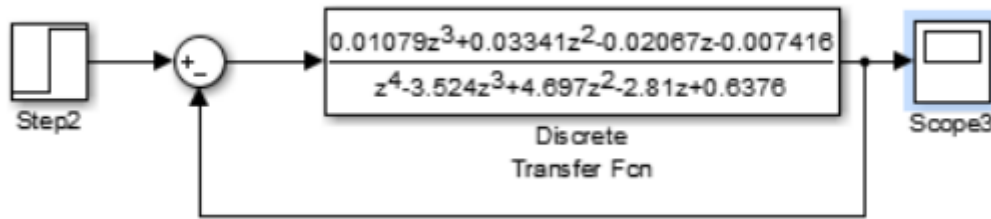


Рисунок 3.3 – Модель цифрової системи

Модель досліджуваної цифрової системи керування представлено на рисунку 3.3, а відповідний перехідний процес на рисунку 3.4:

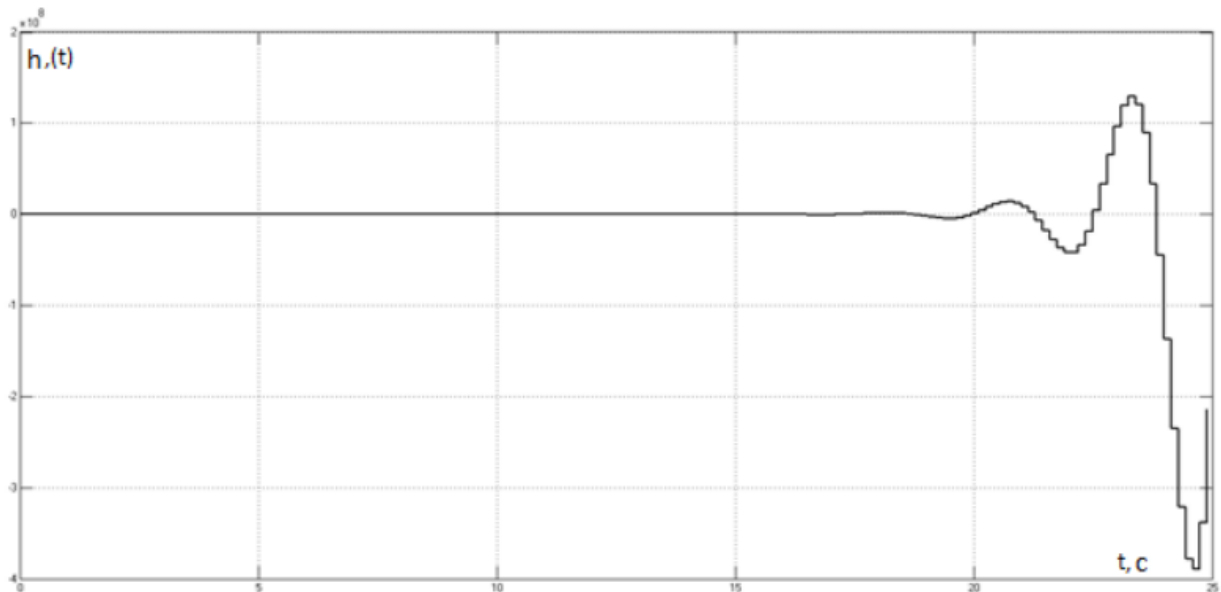


Рисунок 3.4 – Графік перехідної характеристики цифрової системи. Таким чином з графіку перехідної характеристики можна побачити, що наша система має не стійку структуру.

3.3 Висновки

Як можна визначити з аналізу перехідного процесу, цифрова система управління рухом складського робота проявляє нестабільність. Для вирішення цього питання необхідно розробити регулятор, який не лише стабілізує систему, але й забезпечить необхідну якість перехідного процесу.

4 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

4.1 Синтез регулятора системи

Синтезувати лінійні безперервні та цифрові системи керування з використанням методів змінних стану. Синтезувати системи керування В даний час. На даний час існує достатня кількість публікацій і модифікованих версій методу. Однак для безперервних систем, де є рекомендації щодо вибору коренів характеристичного рівняння Якщо є рекомендації щодо вибору бажаних коренів характеристичного рівняння, таких як біноміальний стандартний розподіл або розподіл Баттерворта Якщо існують рекомендації щодо вибору бажаних коренів характеристичного рівняння, наприклад, розподілів або розподілів Баттерворта, то для цифрових систем немає чіткого аналітичного обґрунтування. Немає чіткого аналітичного обґрунтування вибору характеристичного кореня. Дослідницькі публікації. З аналізу наукових публікацій можна виокремити основні шляхи вдосконалення цього методу. А саме, виведення аналітичних формул для визначення шуканих коренів характеристичних рівнянь. Йдеться про виведення аналітичних формул для визначення Завдання синтезу цифрової системи розв'язується таким формулюванням. Передбачається, що структура цифрової системи керування задається такою моделлю Передбачається, що вона задається у вигляді передавальної функції:

$$W(s) = \frac{K}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}$$

Тут розглядається випадок одного керуючого впливу. Об'єкт керування задовольняє умову повної керованості. Редукована матриця керованості Така матриця має вигляд Ранг $P \times n$ () \square . Завдання вибору потрібних коренів характеристичного рівняння полягає в тому, щоб надати замкнутій системі бажаних динамічних властивостей. Вона полягає в тому, щоб надати. Розглянемо аналітичне рішення задачі знаходження коренів характеристичного рівняння нульову помилку усталеного режиму і перерегулювання, а також звести до нуля перерегулювання і до нуля час перехідного процесу. Як відомо, корені характеристичного рівняння корені перебувають в околиці одиничного радіуса, то цифрова система стійка.

Із цієї системи рівнянь знайдіть корені характеристичного рівняння замкнутої системи. Коріння характеристичного рівняння системи рівнянь отримано. Помилка у сталому режимі зведена до нуля, а час перехідного процесу зменшено. Для систем із передавальними функціями четвертого порядку. Загальний вигляд матриці має вигляд.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \\ b_{41} \end{pmatrix}; C = (c_{11} \quad c_{12} \quad c_{13} \quad c_{14});$$

$D = 0$ Для системи четвертого порядку загальний вигляд матриці K :

$$K = (K_1(z_1, z_2, z_3, z_4), K_2(z_1, z_2, z_3, z_4), K_3(z_1, z_2, z_3, z_4), K_4(z_1, z_2, z_3, z_4))$$

Формули розрахунку N_n та V_n :

$$N_n = b_{11} \prod_{i=2}^n a_{i(i-1)}$$

$$V_n = \sum_{i=1}^m (c_{1i} N_i + \Delta_i (-1)^{i+1} - 1)$$

$$N_1 K_1 + N_2 K_2 + \dots + N_n K_n = V_n$$

Проаналізувавши формули розрахунку отримуємо системи спряжених рівнянь:

$$\begin{cases} N_1 = b_{11} \\ N_2 = b_{11} \cdot a_{21} \\ N_3 = b_{11} \cdot a_{21} \cdot a_{32} \\ N_4 = b_{11} \cdot a_{21} \cdot a_{32} \cdot a_{43} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 = c_{11} \cdot N_1 + a_{11} - 1 \\ V_2 = c_{11} \cdot N_1 + c_{12} \cdot N_2 + a_{12} \cdot a_{21} + a_{11} - 1 \\ V_3 = c_{11} \cdot N_1 + c_{12} \cdot N_2 + c_{13} \cdot N_3 + a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32} + a_{12} \cdot a_{21} + a_{11} - 1 \\ V_4 = c_{11} \cdot N_1 + c_{12} \cdot N_2 + c_{13} \cdot N_3 + a_{14} \cdot a_{21} \cdot a_{43} + a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32} + a_{12} \cdot a_{21} + a_{11} - 1 \end{cases}$$

Для розрахунку значень N_n та V_n складаємо систему рівнянь для перехідної функції четвертого порядку.

Для розрахунку значень N_n та V_n складаємо систему рівнянь для перехідної функції четвертого порядку.

$$\begin{cases} N_1 K_1 = V_1 \\ N_1 K_1 + N_2 K_2 = V_2 \\ N_1 K_1 + N_2 K_2 + N_3 K_3 = V_3 \\ N_1 K_1 + N_2 K_2 + N_3 K_3 + N_4 K_4 = V_4 \end{cases}$$

Виконаємо синтез цифрового регулятора за зворотнім зв'язком за станом, коли передавальна функція неперервної системи має вид:

$$\gg W = \text{tf}([5 \ 10], [0.25 \ 0.75 \ 1.5 \ 1 \ 0])$$

$$W(s) = \frac{5s + 10}{0.25s^4 + 0.75s^3 + 1.5s^2 + s}$$

Визначимо передавальну функцію приведені безперервної частини цифрової системи з періодом квантування за часом 0.15 с.

$$\gg T = 0.15$$

$$\gg W2 = \text{c2d}(W, T)$$

$$W(z) = \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376}$$

Та перейдемо до векторно-матричної моделі. Запишемо матриці A , B , C .

```
>>ss (W2) ;
>>A=ans.a
A =
    3.524  -1.174  0.7026  -0.3188
         4     0     0     0
         0     1     0     0
         0     0     0.5   0

>> B=ans.b
```

$$B = \begin{pmatrix} 0.125 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

```
>> C=ans.c
C = (0.08635  0.06683  -0.04133  -0.02966)
```

Об'єкт управління задовольняє умові повної керованості, тобто існує не вироджена матриця керованості:

```
>>P=ctrb (A, B)
>>rank (P)
P =
    0.125  0.4405  0.9655  1.6848
         0     0.5   1.7622  3.862
         0     0     0.5   1.7622
         0     0     0     0.25
rank = 4
```

Об'єкт є повністю керованим. Об'єкт управління задовольняє умові повної спостережуваності:

```
>>H=obsv (A, C)
>>rank (H)
H =
    0.0863  0.0668  -0.0413  -0.0297
    0.5716  -0.1427  0.0458  -0.0275
    1.4437  -0.6254  0.3879  -0.1822
    2.5865  -1.3075  0.9232  -0.4603
rank = 4
```

Об'єкт є повністю спостережуваним. Розрахуємо значення N_p та V_p , і складемо систему рівнянь для перехідної функції четвертого порядку викладені в таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 – Розраховані значення N_n та V_n ,

N_1	N_2	N_3	N_4	V_1	V_2	V_3	V_4
0.125	0.5	0.5	0.25	2.5351	-2.1285	0.6612	0.0161

$$\begin{cases} 0.125 \cdot K_1 = 2.5351 \\ 0.125 \cdot K_1 + 0.5 \cdot K_2 = -2.1285 \\ 0.125 \cdot K_1 + 0.5 \cdot K_2 + 0.5 \cdot K_3 = 0.6612 \\ 0.125 \cdot K_1 + 0.5 \cdot K_2 + 0.5 \cdot K_3 + 0.25 \cdot K_4 = 0.161 \end{cases}$$

Вирішивши систему рівнянь отримуємо кінцеве значення матриці зворотних зв'язків за станом:

$$\gg K1 = V1 / N1$$

$$\gg K2 = (V2 - N1 * K1) / N2$$

$$\gg K3 = (V3 - N1 * K1 - N2 * K2) / N3$$

$$\gg K4 = (V4 - N1 * K1 - N2 * K2 - N3 * K3) / N4$$

Матриця зворотного зв'язку має вигляд: $K = \begin{bmatrix} -20.2812 & 9.3273 & 5.5794 & 2.5802 \end{bmatrix}$ Виконаємо моделювання отриманого регулятора представленого на рисунку 5.1(Додаток 7) в середовищі MatLab:

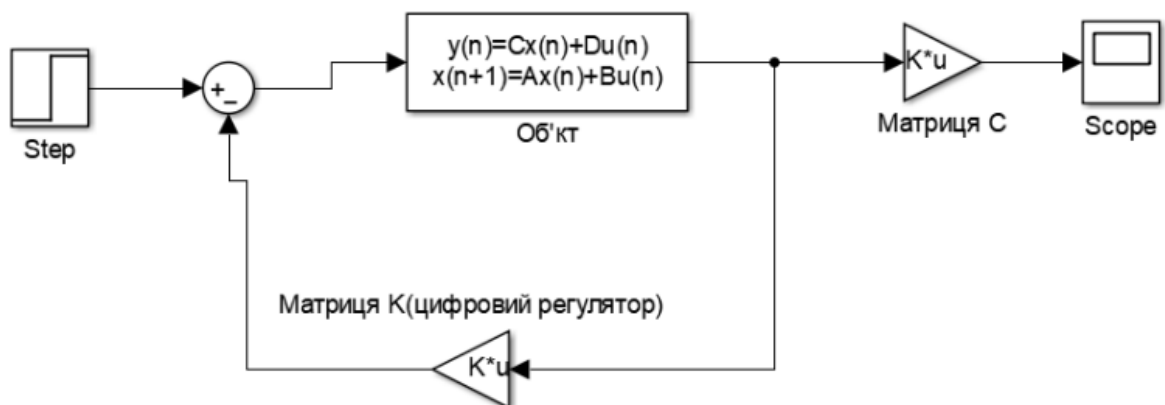


Рисунок 4.1 – Модель цифрової системи з регулятором
Результатом роботи регулятора є:

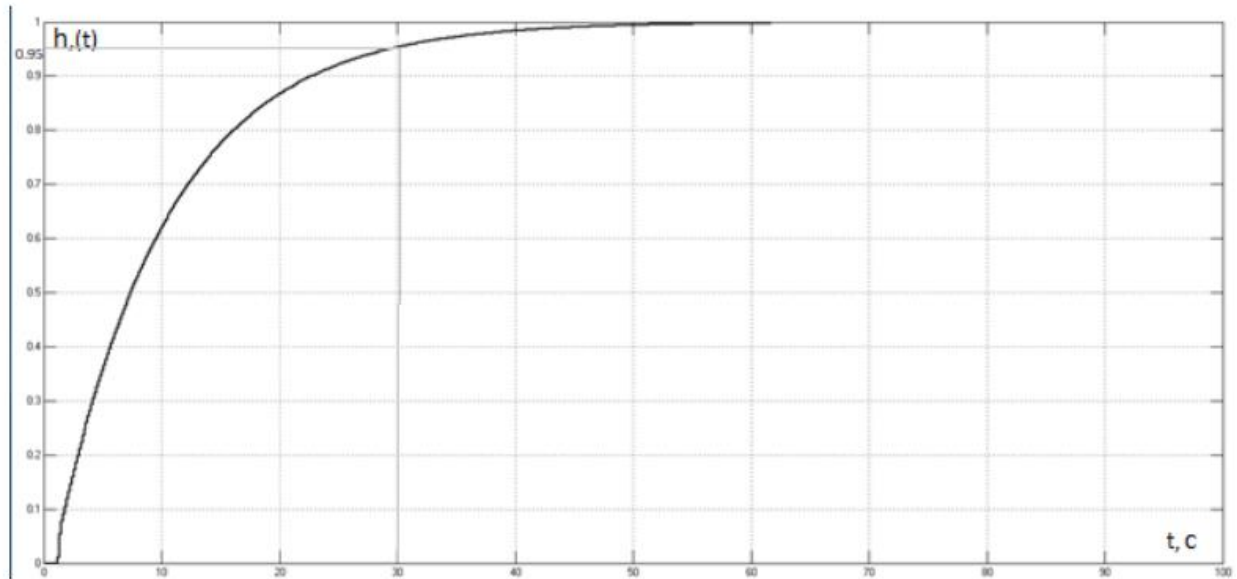


Рисунок 4.2 – Графік перехідного процесу системи з цифровим регулятором

4.2 Висновки

З результатів, представлених на рисунку 4.2, випливає, що метод синтезу з використанням керування із заданим розташуванням полюсів забезпечує час регулювання у 30с. , нульове перерегулювання та нульову помилку системи керування.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ РОБОТАМИ

5.1 Алгоритм «Позиціонування»

На рис. 5.1 наведено алгоритм визначення місця розташування транспортного робота у просторі автоматизованого складу.

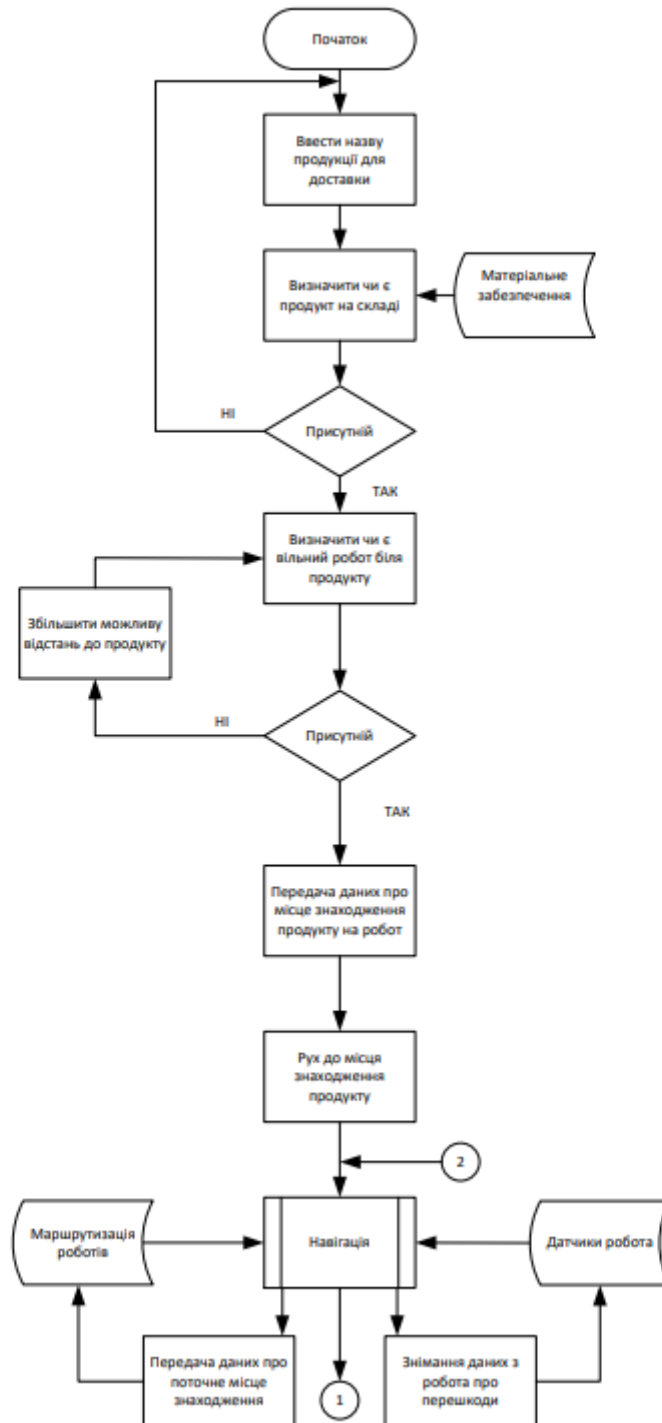


Рисунок 5.1 – Позиціонування



Продовження рисунка 5.1 – Позиціонування

Про початок роботи сигналізує фіксований список матеріалів, які необхідно перевезти, після чого наявність матеріалів на складі визначається за допомогою блоку матеріального забезпечення. Інформація про місцезнаходження та наявність матеріалів зберігається в цьому блоці.

Якщо продукт уже є на складі, виконується процес визначення доступних транспортних роботів для його доставки. Якщо товару немає в наявності, система повідомляє оператора й очікує надходження нового матеріалу.

Виявлення вільних роботів відбувається на різних частотах, розподілених між підгрупами роботів, що працюють у певному частотному діапазоні. Якщо найближчий робот уже зайнятий, система збільшує можливу відстань до матеріалу, щоб підвищити ймовірність виявлення вільного робота.

Коли вільний робот виявлений, йому надсилаються координати положення товару, і транспортний робот починає рух до цієї точки. Навігація заснована на даних, отриманих від датчиків робота і маршрутизатора.

Робот визначає свою швидкість і виявляє можливі перешкоди на шляху. Якщо на шляху зустрічається перешкода, робот повідомляє про це і змінює швидкість, щоб уникнути зіткнення. Щоб уникнути зіткнень з іншими роботами, робот передає своє положення на маршрутизатор.

Коли робот досягає місця призначення, він зупиняється і починає завантаження матеріалу. На робочу станцію надсилається сигнал про те, що робот закінчив роботу і готовий до завантаження. Після цього робот готовий приступити до навантаження і доставки продукції в зазначене місце.

5.2 Алгоритм «Завантаження»

Алгоритм «Завантаження» представлено на рисунку 5.2:



Рисунок 5.2 – Завантаження



Продовження рисунку 5.2 – Завантаження

Після отримання сигналу "Почати завантаження" робот-трансформер запускає задану функцію. Починається завантаження продукту, і завантажувальний плунжер піднімається. У цей час контролюються такі параметри.

- Достатня висота для безперешкодного переміщення;
- Достатня висота для підтримки максимальної швидкості;
- стабільність конструкції.

Коли поршень досягає висоти, що задовольняє всім заданим параметрам, починається процес визначення основних параметрів вантажу в певному порядку:

- Визначення ваги стійки.
- Визначення максимально допустимої швидкості руху.

Потім надсилається сигнал про готовність вантажу до доставки із зазначенням встановленої швидкості (для коригування маршруту руху інших роботів).

Наприкінці алгоритму робот очікує сигналу із зазначенням координат місця доставки.

5.3 Алгоритм «Доставка»

Алгоритм «Доставка» представлено на рисунку 5.3:

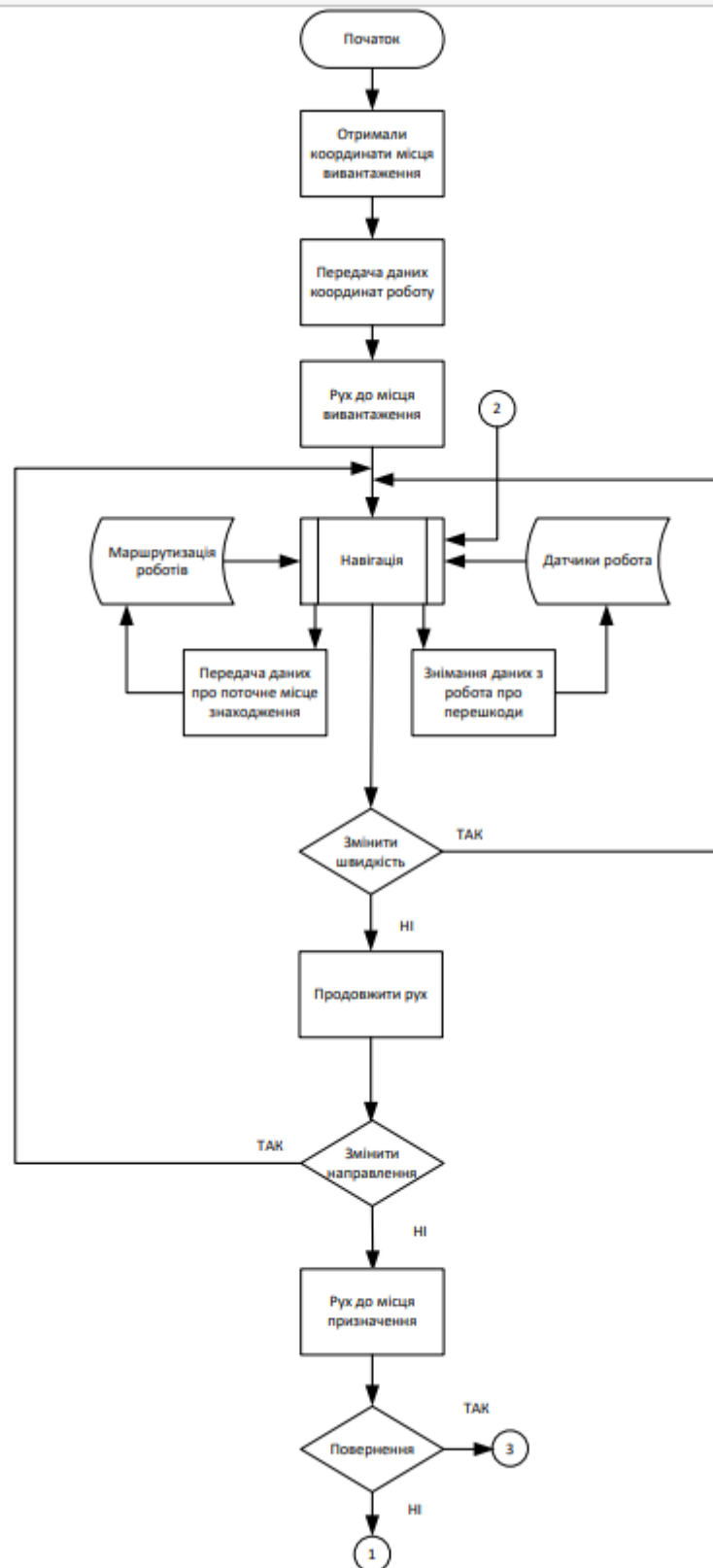
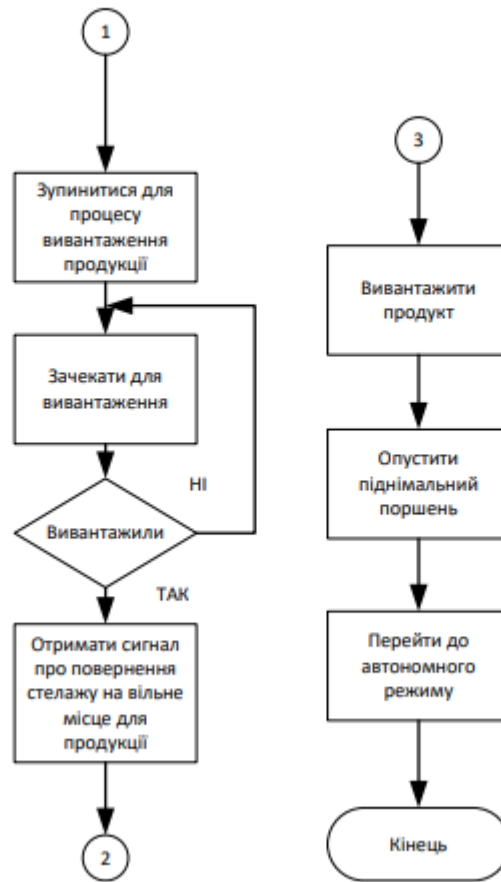


Рисунок 5.3 – Доставка



Продовження рисунку 5.3 – Доставка

Алгоритм "Доставка" починається з отримання сигналу (від оператора) із зазначенням координат місця доставки матеріалу, як показано на малюнку 5.3.

Навігація руху робота заснована на наступних кроках:

- Навігатор отримує дані від датчиків робота і системи маршрутизації робота.

- Коли робот починає рух, визначається його швидкість і можливі перешкоди, і ці дані збираються датчиками робота.

- Якщо робот стикається з перешкодою, він сигналізує про необхідність змінити напрямок руху і змінює швидкість.

- Щоб уникнути зіткнень з іншими роботами, робот передає своє положення на маршрутизатор.

Коли робот досягає місця призначення, він зупиняється і починає вивантажувати матеріал. У цей момент система управління чекає, поки

оператор дістане необхідний матеріал і введе цю інформацію в основну систему (блок обробки матеріалів).

Після вивантаження матеріалу робот виконує навігаційний процес, щоб повернути стелаж на колишнє місце або в інший вільний простір, призначений для нього.

Як тільки координати повернення досягнуті, робот починає процес опускання підйомних поршнів.

Після завершення алгоритму доставки робот переходить в автономний режим і виконує такі функції:

- Зарядка.
- Ремонт.
- Обслуговування.

5.4 Експериментальне дослідження

Синтез моделі керування складським роботом у MATLAB представлено на рис. 5.4.

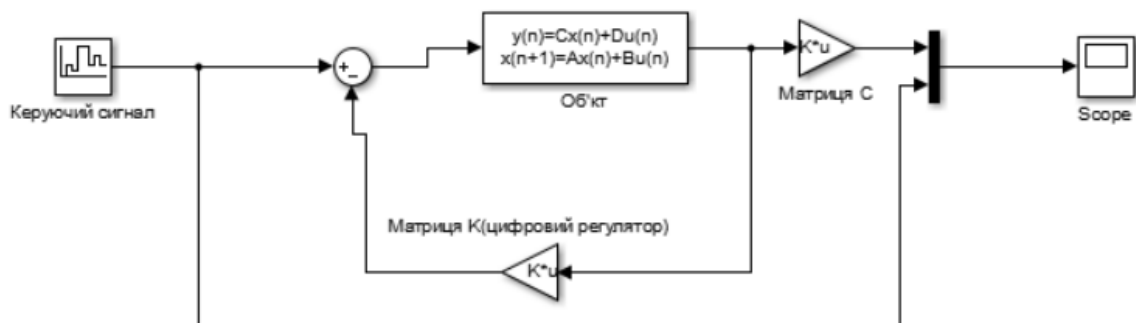


Рисунок 5.4 – Модель руху складського робота

Проаналізуємо кожен елемент операційної моделі складського робота:

1. Керувальні сигнали показано на рисунку 5.5:

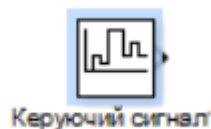


Рисунок 5.5 – Repeating Sequence Stair

Розглянемо його більш детально представлено на рисунку 5.6:

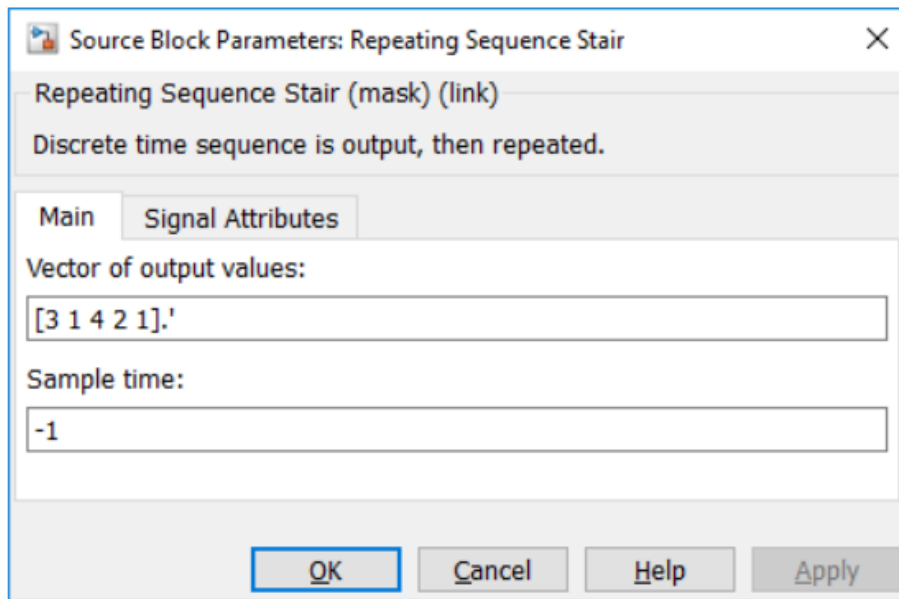


Рисунок 5.6 – Властивості Repeating Sequence Stair

У цій моделі цей блок функціонує як сигнал мікропроцесора. Сигнал керування роботом показано на рис. 5.7.

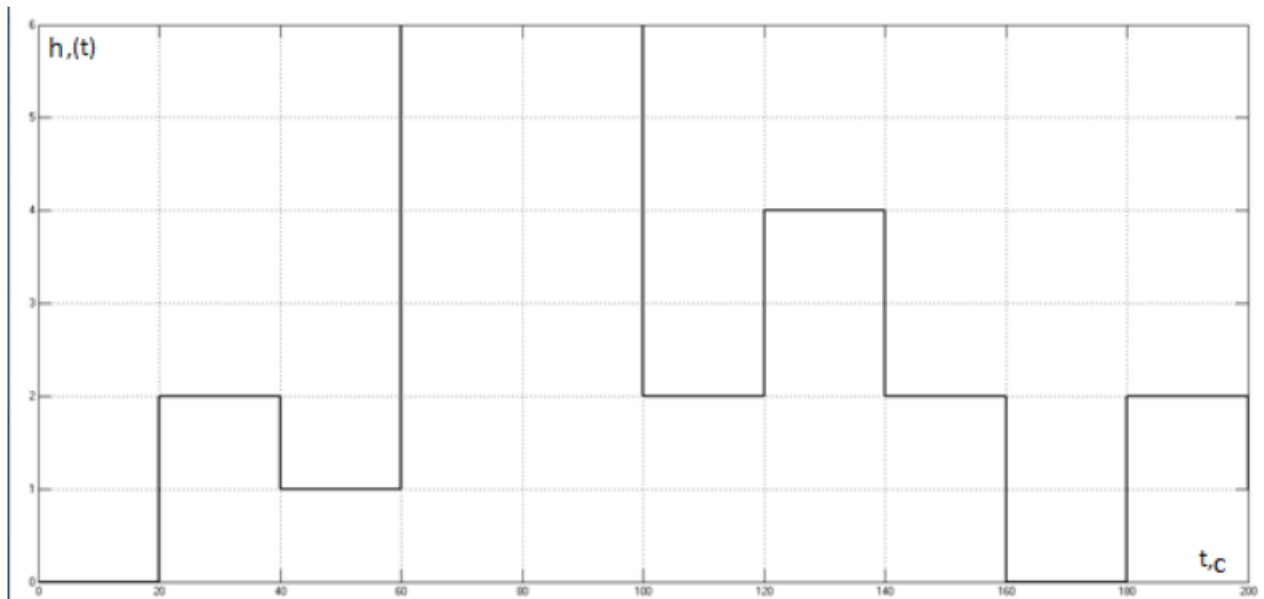


Рисунок 5.7 – Графік сигналу керування мікропроцесора

2. Об'єкт з регулятором представлено на рис. 5.8

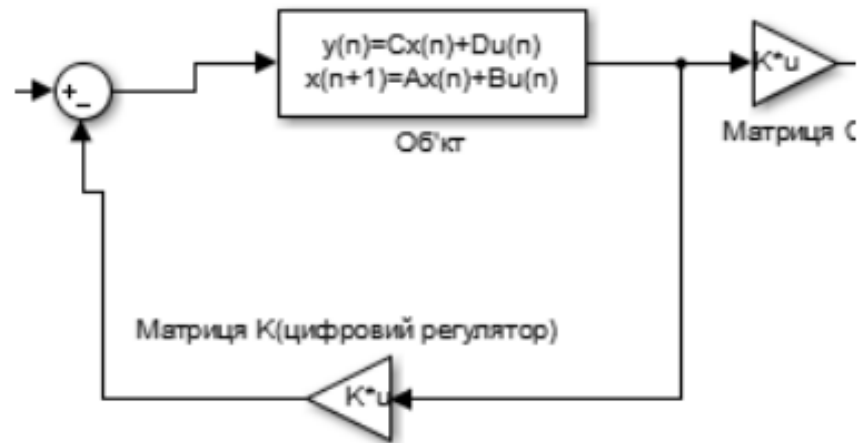


Рисунок 5.8 – Модель об'єкта керування

Модель керованого об'єкта з контролером складається з чотирьох частин:

- Суматор, який обчислює контрольовану помилку.
- Об'єкт являє собою векторно-матричну модель із матрицями А, В і С.
- Контролер - матриця зворотного зв'язку за станом.

Виконаємо моделювання системи та визначимо її результати:

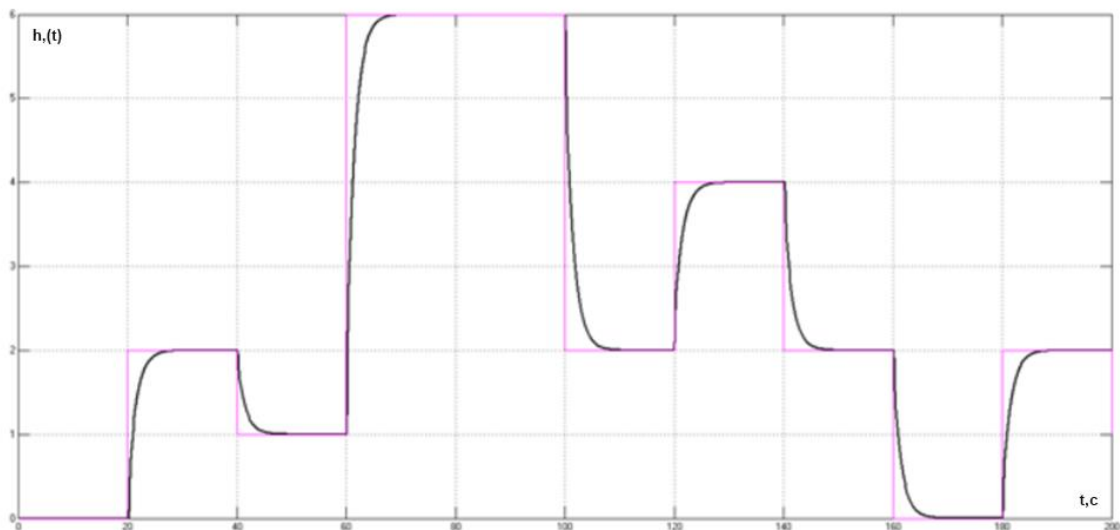


Рисунок 5.9 – Результат моделювання

Результати моделювання показують, що складський робот реагує на керуючі сигнали мікропроцесора в дуже точно реагує на керівні сигнали мікропроцесора.

Для визначення швидкості та прискорення складського робота було розроблено схему моделювання.

Схема моделювання була розроблена, як показано на рис. 5.10.

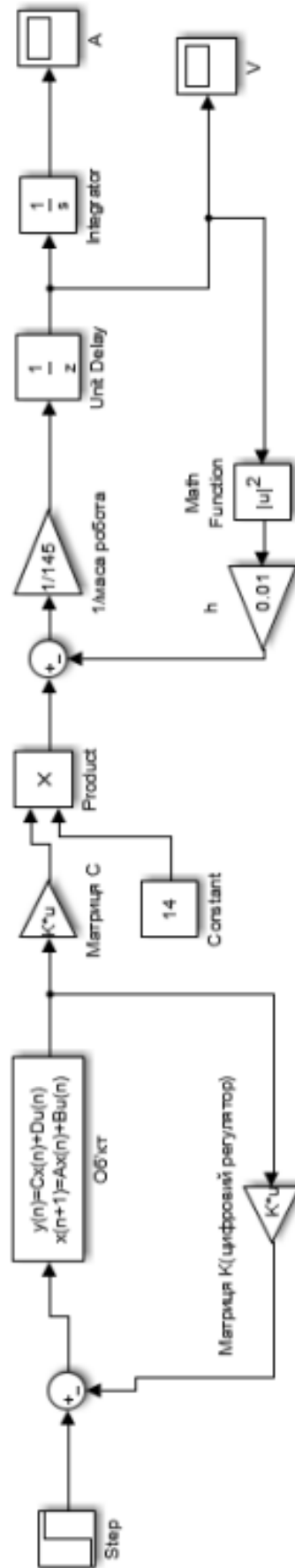


Рисунок 5.10 – Модель визначення швидкості та прискорення

Одну й ту саму схему використовують із різними керувальними сигналами, як показано на рис. 5.11.



Рисунок 5.11 – Блок Step

Який є аналогом максимальної швидкості руху складського робота. Розглянемо даний блок більш детально на рис. 5.12:

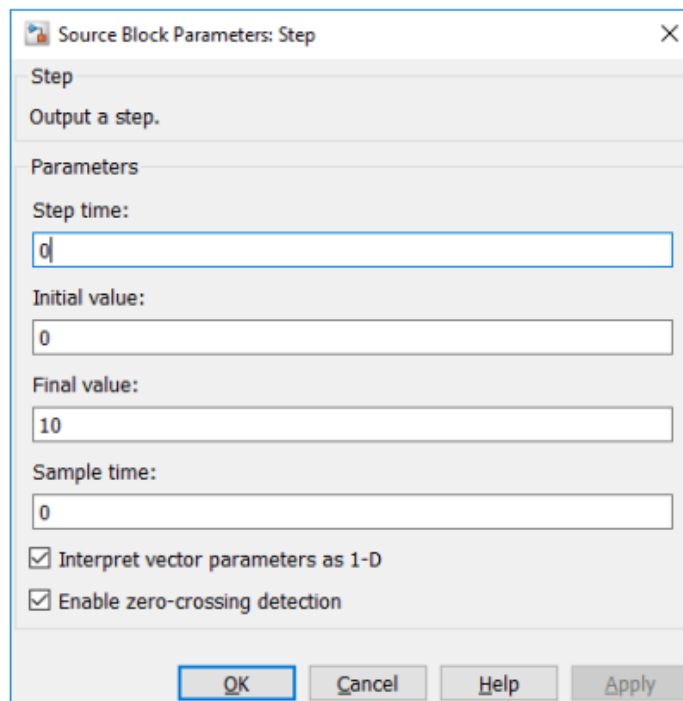


Рисунок 5.12 – Властивості блока Step

При найближчому розгляді виявляється, що система починає рухатися з нульової секунди. Кінцева швидкість системи дорівнює 10 м/с.

Тепер розглянемо іншу частину діаграми, показаної на рисунку 5.13:

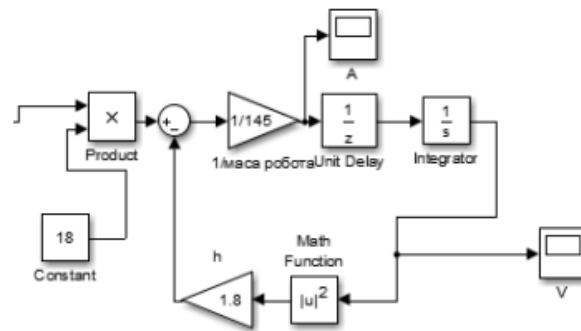


Рисунок 5.13 – Модель датчика системи

Давайте подивимося, як працює ця частина моделі:

Складський робот, що рухається в горизонтальній площині в MatLab/Simulink, показаний на малюнку 5.10.

Модель об'єкта управління, показана на малюнку 5.8, моделює поведінку приводної частини, яка складається з силової частини.

Модель об'єкта управління, показана на малюнку 5.8, імітує поведінку приводної частини, що складається з силового перетворювача, двигуна і коліс. Вона імітує роботу

Перехідний процес для визначення прискорення показано на рисунках 5.11 і 5.12.

Перехідний процес для визначення прискорення показано на рис. 5.11, а графік швидкості - на рис. 5.14:

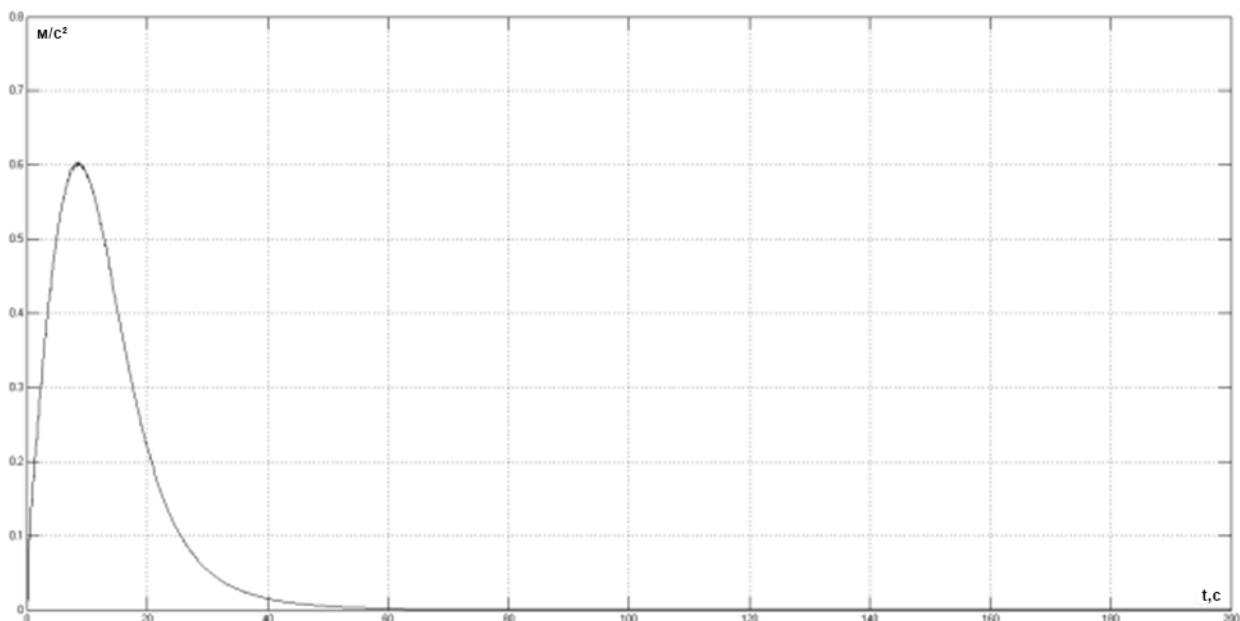


Рисунок 5.14 - Графік зміни прискорення

Подальше інтегрування дає швидкість, виражену на рис. 5.15

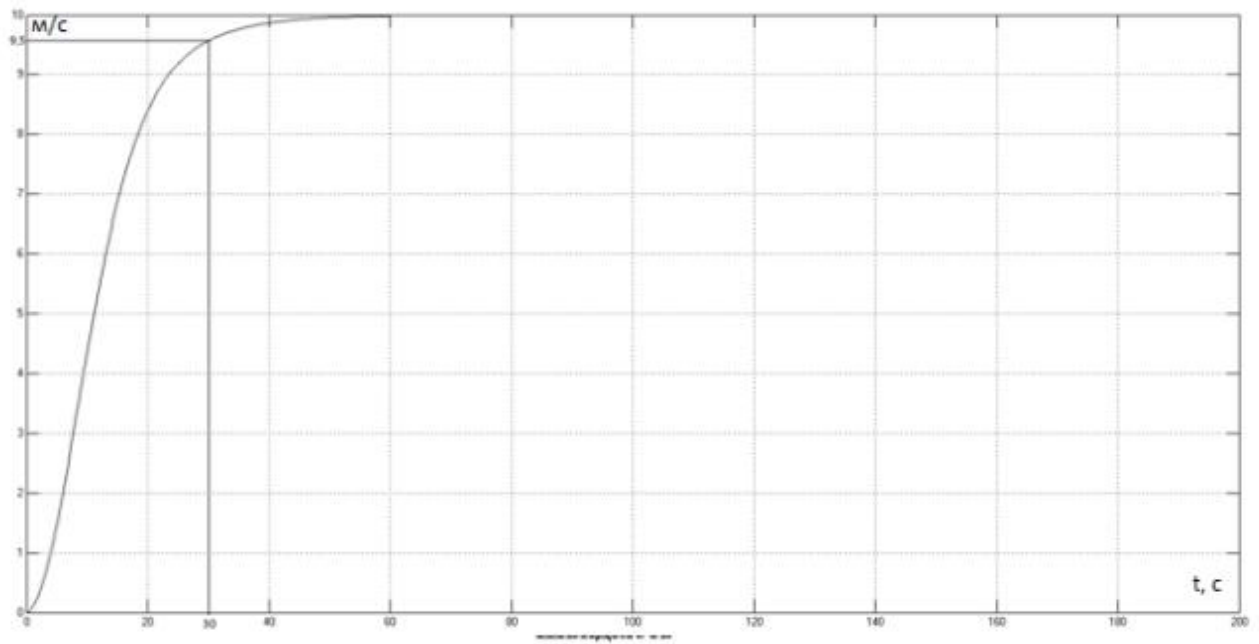


Рисунок 5.15 – Графік зміни швидкості

Цей графік показує, що система досягає максимальної швидкості в перші 30 секунд після початку роботи, як видно з графіка прискорення, показаного на малюнку 5.15.

5.5 Висновки

Під час експериментального дослідження було встановлено, як система реагує на вплив керуючих сигналів, а також визначено ступінь затримки та керованості системи. Також було визначено час, необхідний системі для досягнення оптимальної швидкості для ефективного переміщення по складу. Цей час становить 30 секунд, протягом яких на транспортний робот впливають зовнішні чинники, такі як повітря, тертя тощо.

6 МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКИМ РОБОТОМ- ТРАНСПОРТУВАЛЬНИКОМ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЛІТАКОБУДУВАННЯ

6.1 Засоби реалізації

Для розробки мобільного додатку для управління рухом транспортного робота в складському приміщенні можна використовувати різні мови програмування та технології. Вибір конкретної мови залежить від специфіки проекту, ваших навичок та уподобань. Ось деякі популярні мови програмування та їх плюси та мінуси: В додатку Б вказано лістинг коду мобільного додатку для керування роботом транспортувальником на складі авіазапчастин .

1. Java:

- Плюси:

- Наявність багатьох бібліотек та фреймворків для розробки Android-додатків.

- Крос-платформенність (може використовуватися для розробки на різних платформах).

- Широкі можливості для взаємодії з різними сенсорами та обладнанням.

- Мінуси:

- Значний обсяг коду порівняно з іншими мовами.

- Не є найшвидшою мовою виконання.

2. Kotlin:

- Плюси:

- Офіційно підтримується Google для розробки Android-додатків.

- Виразний та компактний синтаксис, що полегшує розробку.

- Мінуси:

- Може вимагати додаткового часу для вивчення порівняно з Java.

3. Swift:

- Плюси:

- Створений спеціально для розробки iOS-додатків.

- Висока продуктивність та ефективність використання ресурсів.

- Мінуси:

- Обмежений використанням тільки для платформи iOS/macOS.

4. Python (з використанням фреймворку Kivy):

- Плюси:

- Крос-платформенність.
- Швидка розробка завдяки зручному синтаксису Python.
- Мінуси:
- Може бути менш продуктивним у порівнянні з нативними мовами.

5. React Native (JavaScript/TypeScript):

- Плюси:
- Крос-платформенність.
- Використовується JavaScript, що може бути зручним для веб-розробників.
- Мінуси
- Може вимагати додаткових зусиль для оптимізації та роботи з нативним кодом.

6. Flutter (Dart):

- Плюси:
- Крос-платформенність.
- Висока продуктивність завдяки компіляції в нативний код.
- Мінуси:
- Може бути новим для деяких розробників.

Обирайте мову програмування в залежності від ваших потреб та досвіду, а також враховуйте характеристики конкретного проекту.

6.2 Можливості мобільного додатку

Стартап проект мобільного додатку для робота транспортувальника у складському приміщенні може включати в себе різноманітні функції та можливості для оптимізації та автоматизації процесів у складі. Ось кілька ідей та прикладів функціоналу, які можна врахувати в такому стартапі:

Навігація та Маршрутизація:

Зручний Мапінг Складу: Можливість відображення реального часу та інтерактивного мапінгу складського приміщення для кращого розміщення та визначення місця розташування вантажів.

Оптимальні Маршрути: Розробка алгоритмів для визначення оптимальних маршрутів руху роботів для максимізації ефективності та швидкості доставки.

Керування Вантажами та Завантаження:

Автоматичне Завантаження/Розвантаження: Включення механізмів автоматичного завантаження та розвантаження для ефективності та зменшення часу.

Моніторинг Вантажів: Система відстеження в реальному часі для контролю за місцезнаходженням та станом вантажів.

Управління Енергоспоживанням:

Система Управління Віддалено:

Дистанційне Керування та Моніторинг: Можливість віддаленого керування та моніторингу робіт для впровадження управлінської ефективності.

Інтеграція з Іншими Системами:

Системи Інтеграції з Іншими Роботами: Забезпечення можливості взаємодії та координації з іншими роботами або системами, які використовуються на складі.

Ці ідеї можна комбінувати в один цілісний продукт, який полегшить та оптимізує управління рухом транспортного робота у складському приміщенні.

6.3 Робота мобільного додатку

Мобільний додаток для керування роботом-транспортувальником на складі літакових запчастин може бути вирішальним для оптимізації та ефективності складської логістики. Ось опис його можливих функцій та робочого процесу:

1. Авторизація та аутентифікація:

- Кожен користувач (оператор, логіст, складський робітник) повинен мати особистий обліковий запис.

- Вхідження в систему може відбуватися за допомогою електронної пошти, пароля або інших методів аутентифікації.

2. Головне меню:

- Перегляд загального стану робота та запчастин на складі.
- Доступ до основних функцій та опцій.

3. Керування роботом:

- Переміщення робота вручну або через автономний режим.
- Вибір маршруту для автономного руху (визначення оптимального маршруту до місця призначення).

4. Моніторинг стану:

- Перегляд живого відео з камер, встановлених на роботі.
- Зчитування даних з датчиків (наприклад, ваги, температури, стану батареї).

5. Ідентифікація та логістика:

- Сканування та розпізнавання штрих-кодів або RFID міток на запчастині для точності та контролю інвентарю.

- Введення додаткової інформації про категорію, тип та стан запчастини.

6. Завдання та розпорядження:

- Видача завдань роботу для перевезення запчастин в певні локації.

- Автоматизований або ручний пріоритет завдань для оптимізації часу та ресурсів.

7. Інтеграція з системою управління:

- Взаємодія з іншими системами управління складом, такими як система інвентаризації, система замовлення та інші.

- Отримання інформації про стан запасів та потребу в поповненні.

8. Система сповіщень:

- Отримання сповіщень щодо статусу завдань, стану робота, або будь-яких виняткових ситуацій.

9. Аналітика та звітність:

- Збір та аналіз даних про продуктивність робота.

- Генерація звітів щодо руху, завдань та інших ключових показників продуктивності.

Цей мобільний додаток дозволяє вам ефективно керувати та контролювати робота-транспортувальника на складі літакових запчастин, підвищуючи при цьому ефективність та точність складських операцій. На рис. 7.1 зображено дизайн мобільного додатку для керування роботом транспортувальником.

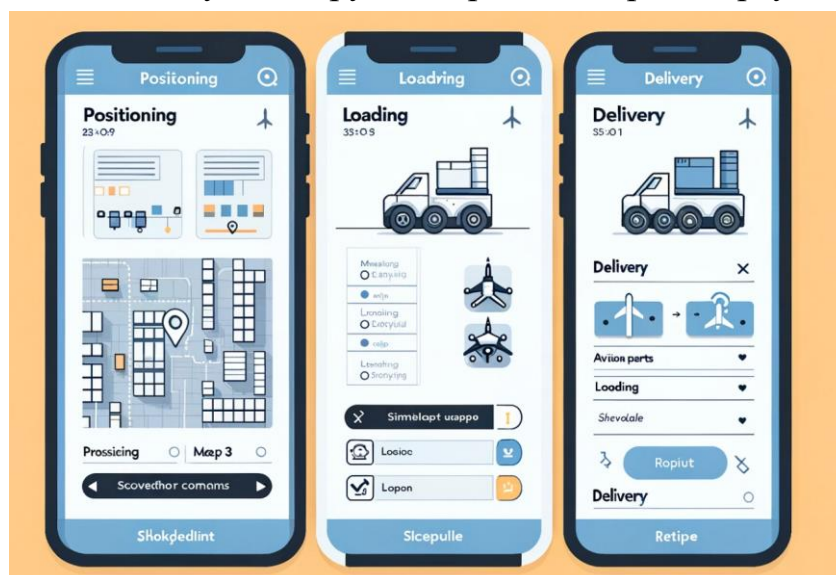


Рисунок 6.1 - Дизайн мобільного додатку для керування роботом транспортувальником

6.4 Висновки

Стартап проект мобільного додатку для керування роботом-транспортувальником на складі літакових запчастин представляє собою перспективний інструмент для оптимізації та автоматизації складських операцій. Розглянуті ідеї та функціонал враховують потреби управлінців, логістів та операторів, щоб забезпечити ефективну роботу транспортного робота.

Функціонал додатку охоплює всі аспекти управління роботом, від навігації та маршрутизації до контролю вантажів та енергоспоживання. Ідеї, такі як автоматичне завантаження та розвантаження, система відстеження в реальному часі та інтеграція з іншими системами, дозволяють підвищити продуктивність та точність управління складським простором.

Мобільний додаток пропонує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів різних рівнів доступу та взаємодії. З врахуванням сучасних технологій, таких як віддалене керування, сканування штрих-кодів та аналітика даних, створюється повноцінний інструмент для оптимізації логістики на складі.

Отже, розробка такого додатку може сприяти підвищенню ефективності управління роботами-транспортувальниками та зробити складські операції більш точними та пристосованими до сучасних стандартів управління логістикою.

7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

7.1 Аналіз стартапу

В ході виконання магістерської роботи було проведено маркетинговий аналіз галузі автоматизованого складування та її ринкової реалізації в контексті логістики авіаційних запчастин. Проблема дефіциту вітчизняних автоматизованих складів виникла саме в цій галузі, яка має справу з масовими перевезеннями та широким спектром товарів.

У сучасних умовах для ефективної роботи складів, що спеціалізуються на авіаційних запчастинах, необхідні наступні параметри

- Технічна гнучкість
- Універсальні характеристики товарів
- Додаткова місткість і пропускна здатність
- Прибутковість.

Напрямки розвитку таких складів включають будівництво великих, високих, одноповерхових складів з сучасними технологіями та організацію інтегрованих складських комплексів. Важливими аспектами девелопменту є раціональне планування простору, технічне оснащення та використання стандартів[14].

З метою оптимізації логістичних процесів та забезпечення високої ефективності пропонується запровадити єдині сервіси з експлуатації матеріально-технічної інфраструктури та підвищити вимоги до стандартизації складів. Цільові розробки також включають створення інтегрованих складських груп та автоматизованих інформаційно-диспетчерських служб.

У контексті логістики авіаційних запчастин, яка передбачає багато етапів руху товару від приймання до підготовки до продажу, увагу слід приділяти не лише оптимізації та автоматизації логістичних процесів, а й підвищенню точності та контролю запасів.

стартап-компанія, яка має на меті розробити та впровадити систему управління складським роботизованим транспортом для комплектації авіаційних деталей. Система поєднує в собі передові технології автоматизації, штучного інтелекту та Інтернету речей для оптимізації логістичних процесів на складах авіаційної промисловості.

Ключові особливості та функції

Автономна мобільність:

Розробка транспортного робота з інтегрованою системою автономного пересування.

Навігація та уникнення перешкод завдяки комп'ютерному зору та сенсорним технологіям.

Керування через мобільні додатки:

Розробка інтуїтивно зрозумілих мобільних додатків для дистанційного керування роботом.

Він може прокладати маршрути, визначати завдання та відстежувати їхній статус.

Оптимізація маршруту:

Використання алгоритмів штучного інтелекту для оптимізації маршрутів і завдань.

Автоматично реагує на зміни в розкладі та надходження нових деталей.

Інтеграція з інтернетом речей (IoT):

Відстежує стан і статус зберігання деталей за допомогою датчиків і вимірювальних пристроїв.

У разі виявлення аномалій або несправностей надсилаються повідомлення.

Система управління якістю:

Вбудована система контролю якості може виявляти і виправляти помилки під час складання.

Інтеграція з ERP-системами:

Забезпечує сумісність зі стандартними ERP-системами та автоматизує облік і звітність.

Бізнес-модель:

Бізнес-модель AeroLogiBot базується на продажу та оренді систем управління складом, а також наданні послуг з підтримки та модернізації. Клієнтами є виробники літаків, які хочуть оптимізувати свої логістичні процеси та досягти ефективного відбору деталей.

Основні переваги.

Ефективна автоматизація логістичних процесів.

Підвищення продуктивності та точності комплектування.

Скорочення витрат на оплату праці та робочого часу.

Масштабованість та можливість інтеграції з іншими системами.

Ринок і конкуренція:

Компанія націлена на ринок логістики авіаційних деталей, прагнучи підвищити ефективність та автоматизувати процеси. Конкурентами можуть бути інші виробники роботів для складських операцій та компанії, що пропонують подібні рішення.

Фінансування:

Для реалізації проекту необхідно залучити інвестиції на етапах розробки та впровадження продукту. Фінансування може бути надане інвесторами, венчурними фондами або шляхом участі в капіталі стартапу.

7.2 Мета економічної частини

Мета цього розділу у дипломному проекті полягає в економічному обґрунтуванні розробки системи супроводу транспортного робот. Економічне обґрунтування включає наступне:

- 1) Визначення трудомісткості виконання роботи;
- 2) Розрахунок витрат на виконання роботи;
- 3) Визначення можливої (договірної) ціни роботи.

7.3 Трудомісткість виконання роботи

Для визначення трудомісткості виконання роботи було проведено аналіз переліку всіх основних етапів робіт, які необхідно виконати. Особлива увага приділялася логічному упорядкуванню послідовності окремих видів робіт та виявленню можливостей їх паралельного виконання. Це дозволяє значно скоротити загальний час проведення робіт[15].

Таблиця 7.1 – Розподіл робіт по етапах і видам, оцінка їх трудомісткості

№	Етап розробки	Вид роботи на даному етапі	Трудомісткість виконання роботи, люд. x год.
1	Підготовчий	1. Постановка задачі	10
		2. Збір матеріалу та аналіз існуючих розробок	50
2	Постановочний	Вибір технічних засобів для розробки	50
3	Коригуючий	Підготовка попередніх висновків	20
4	Заключення	1. Підведення підсумків	10
		2. Оформлення результатів	20
5	РАЗОМ трудомісткість виконання дипломної роботи		160

Кількість годин активності, пов'язаної з дослідженням, становить 160 годин.

Робочий час, виділений на дослідження, становить 8 годин на день.

Таким чином, термін виконання цього проекту становить 20 днів.

7.4 Розрахунок витрат на виконання робіт

Цей проект призначений для отримання та зберігання даних з роботів. Та для розробки мобільного додатку. Для досягнення поставлених цілей необхідно розрахувати витрати на розробку та тестування додатку, витрати на фінальний дизайн та витрати на закупівлю відповідного обладнання.

Необхідно розрахувати витрати на розробку та тестування додатку, витрати на остаточний дизайн, витрати на придбання відповідного обладнання та витрати на відшкодування витрат.

Тому необхідно розрахувати витрати на розробку та тестування програми, витрати на остаточний дизайн, витрати на придбання відповідного обладнання та витрати на відшкодування витрат.

На першому етапі дослідження були використані наступні технічні інструменти

Використані інструменти:

- 1) Комп'ютер
- 2) програмне забезпечення
- 3) монітор.

Загальна сума витрат на матеріальні ресурси ($Z_{\text{мр}}$) було розраховано за формулою (8.1).

$$Z_{\text{мр}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i, \quad (7.1)$$

де P_i – витрати i -го виду матеріального ресурсу;

C_i – ціна за одиницю i -го виду матеріального ресурсу, грн;

i – вид матеріального ресурсу;

n – кількість видів матеріальних ресурсів.

Таблиця 7.2 – Витрати на технічне оснащення

№	Найменування матеріального ресурсу	Одиниця виміру	Кількість використаного матеріалу	Ціна за одиницю, грн	Разом, грн
1	Комп'ютер	Шт.	1	40000	40000
2	Монітор	Шт.	1	10000	10000

Продовження Таблиці 7.2

№	Найменування матеріального ресурсу	Одиниця виміру	Кількість використаного матеріалу	Ціна за одиницю, грн	Разом, грн
3	Програмне забезпечення	Шт.	1	5000	5000
4	Підсумкові витрати				55000

Оскільки для виконання завдання використовується електрообладнання, необхідно провести обчислення витрат на електроенергію. За допомогою формули (8.2) здійснюється розрахунок загальної суми витрат на електроенергію.

$$Z_{ен} = \sum_{i=1}^n M_i \cdot K_i \cdot T_i \cdot C, \quad (7.2)$$

де M_i – паспортна потужність i -го електрообладнання, кВт;

K_i – коефіцієнт використання потужності i -го електрообладнання;

T_i – час роботи i -го обладнання за весь період розробки;

i – вид електрообладнання;

n – кількість електрообладнання.

Таблиця 7.3 – Витрати на електроенергію

№	Найменування	W, кВт	Коефіцієнт використання, W	Час роботи обладнання для ПП	Ціна, $\frac{\text{грн}}{\text{кВт}\cdot\text{год}}$	Σ , грн
1	Комп'ютер	1.6	1	160	2,5	640
2	Монітор	0,25	1	160	2,5	100
3	Загалом					740

Зарплата за виконану роботу визначається на основі тарифної ставки розробника за годину праці та часу, витраченого на кожний етап роботи.

Загальна сума витрат на оплату ($Z_{тр}$) визначається за формулою (7.3).

$$Z_{\text{ТР}} = \sum_{i=1}^n ЧС_i \cdot T_i, \quad (7.3)$$

де $ЧС_i$ – годинна ставка i -го робітника, грн;

T_i – трудомісткість розробки ПП, люд.·год.;

i – категорія робітника;

n – кількість робітників.

Розрахунок основної заробітної плати дослідників по даній роботі приведено в табл. 7.4.

Таблиця 7.4 – Витрати на оплату праці

№	Категорія робітника	Кваліфікація	Трудомісткість розробки ПП	Годинна ставка, грн	Σ , грн
1	Науковий керівник	Керівник проекту	10	250	2500
2	Розробка документації	Керівник проекту	10	170	1700
3	Проектувальник	Розробник	100	100	10000
4	ЗАГАЛОМ				14200

Соціальний податок складає 11% від суми фонду оплати праці (ФОП). Пенсійні відрахування не підлягають оподаткуванню соціальним податком. Розрахунок основних засобів здійснюється за допомогою визначеної формули. (8.4).

$$ОЗ = (ФОП - ПВ) \cdot 11\%, \quad (7.4)$$

де ПВ – пенсійні відрахування, що розраховуються за формулою (7.5).

$$ПВ = ФОП \cdot 10\% = 7000 \cdot 0,1 = 700 \text{ грн}, \quad (7.5)$$

$$ОЗ = (ФОП - ПВ) \cdot 11\% = (7000 - 700) \cdot 0,11 = 700 \cdot 0,11 = 770 \text{ грн}, \quad (7.6)$$

Загальна сума амортизаційних відрахувань визначається за формулою (7.7).

$$Z_{AM} = \sum_{i=1}^n \frac{\Phi_i \cdot H_{Ai} \cdot T_{pi}}{100 \cdot T_{efi}}, \quad (7.8)$$

де Φ_i – вартість i -го основного фонду;

H_{Ai} – річна норма амортизації i -го ОФ;

T_{pi} – час роботи i -го ОФ за весь період виконання роботи, год;

T_{efi} – ефективний фонд часу роботи i -го ОФ за рік, л/год;

i – вид ОФ;

n – кількість ОФ.

1) Комп'ютер:

$$Z_{AM} = \frac{40000 \cdot 20 \cdot 160}{100 \cdot 2920} = 438,35 \text{ грн};$$

2) Монітор:

$$Z_{AM} = \frac{10000 \cdot 20 \cdot 160}{100 \cdot 2920} = 109,58 \text{ грн};$$

3) Програмне забезпечення:

$$Z_{AM} = \frac{5000 \cdot 15 \cdot 160}{100 \cdot 2920} = 41,09 \text{ грн};$$

Амортизаційні відрахування приведено в табл. 7.5.

Таблиця 7.5 – Амортизація основних фондів

№	Обладнання	Первісна вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Ефективний фонд часу роботи обладнання, л/рік	Час роботи обладнання для виконання роботи, год	Сума, грн
1	Комп'ютер	40000	20	2920	160	438,35
2	Монітор	10000	20	2920	160	109,58

Продовження таблиці 7.5

№	Обладнання	Первісна вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Ефективний фонд часу роботи обладнання, л/рік	Час роботи обладнання для виконання роботи, год	Сума, грн
3	Програмне забезпечення	5000	15	2920	160	41,09
4	ПІДСУМОК					416,42

Результати табл. 7.2 – 7.5 представлено в табл. 7.6.

Таблиця 7.6 – Кошторис витрат на виконання роботи

№	Статті витрат	Сума, грн
1	Матеріальні витрати	55000
2	Витрати на оплату праці	14200
3	Витрати на електроенергію	740
4	Соціальний податок	1405,8
5	Амортизація основних фондів	589,02
6	ПІДСУМОК	71934,82

Загальна сума по статті витрат становить 71934,82грн.

7.5 Визначення можливої (договірної) ціни роботи

Розмір можливої (договірної) ціни за виконання робіт повинен враховувати продуктивність, якість та термін їх виконання на рівні, що відповідає економічним інтересам як замовника (споживача), так і виконавця.

Договірна ціна (C_D) для прикладних робіт розраховується за формулою (7.7).

$$C_D = Z_{\text{роб}} \left(1 + \frac{P}{100} \right), \quad (7.7)$$

де $Z_{\text{роб}}$ – витрати на виконання роботи (табл. 8.6);

P – середній рівень рентабельності роботи, % (прийнято 25%);

$$C_d = Z_{\text{роб}} \left(1 + \frac{P}{100} \right) = 71934,82 \left(1 + \frac{25}{100} \right) = 89918,52 \text{ грн.}$$

Для визначення ціни реалізації потрібно урахувати податок на додану вартість (ПДВ). З 1 березня 2022 року застосовується ставка ПДВ у розмірі 14 відсотків. Ціна реалізації розраховується за формулою (8.8).

$$C_p = C_d + C_d \cdot \text{ПДВ}, \quad (7.8)$$

$$C_p = 89918,52 + 89918,52 \cdot 0,14 = 25177,18 \text{ грн}$$

Ціна реалізації 25177,182 грн.

7.6 Висновки

Створення цього дипломного проекту зайняло 20 днів. Цей період включав в себе всі етапи від формулювання завдання до перспективи реалізації. По закінченню зазначеного терміну дослідження повністю завершено і всі необхідні матеріали готові для подальших досліджень та впровадження технології.

Ця робота виконується двома співробітниками: керівником проекту, який відповідає за постановку завдання, визначення системних та апаратних вимог, підбір інструментів та випуск документації, та студентом, який збирає матеріали, аналізує існуючі розробки та проводить безпосередні дослідження. Дослідження існуючих конструкцій квадрокоптерів вже були проведені, і матеріал для подальших досліджень є в наявності.

З прикладного боку, метою є спрощення управління транспортним роботом шляхом автоматизації управління. В процесі роботи також були розраховані економічні характеристики розробки. Важливо зазначити, що вартість даної роботи становить 89918,52 грн., а ціна конструкторської розробки - 25177,182 грн.

ВИСНОВОК

У своїй магістерській дисертації він розробив автоматизовану систему управління складом, покликану забезпечити високу ефективність і керованість. Сучасні компанії активно використовують інформаційні рішення в управлінні складом для підвищення ефективності та поліпшення відносин із клієнтами. Важливим аспектом успіху і конкурентоспроможності є правильний вибір логістичних рішень.

Автоматизація та ефективне управління складом впливають на швидкість і якість роботи компанії, що зі свого боку позначається на прибутковості. Впровадження систем автоматизації складу стає важливим розв'язанням цілої низки проблем, як-от складська діяльність, швидкість збирання товарів, точна інформація про місцезнаходження товарів та ефективність управління товарами з обмеженим терміном зберігання.

Зокрема, для розв'язання цих завдань було розроблено та впроваджено автоматизовану систему управління складом із використанням транспортних роботів. Це рішення має використовуватися не тільки у великих розподільчих центрах, а й на невеликих складах, у розподільчих центрах, архівах і на авіабудівних підприємствах. Автоматизація дає змогу оптимізувати процеси обліку, зберігання та переміщення товарів і забезпечити ефективне використання складських площ.

Розв'язання цих завдань передбачало створення структурної та функціональної схем системи, моделювання та аналіз якості та стійкості. У зв'язку з нестабільністю системи було розроблено цифровий контролер, що гарантує відсутність помилок і оптимальний час перехідного процесу в 30 секунд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Захист інформації в інформаційно-комп'ютерних системах : навч. посіб. до лаб. практикуму / Д. І. Чумаченко ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т". - Харків. - Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2017. - 66 с . - <http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/>.
2. Репнікова Н. Б. ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ - 2. ТЕОРІЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ / Н. Б. Репнікова, А. В. Писаренко. – Київ: НТУУ (КПІ), 2012. – 67 с
3. Репнікова Н. Б. ТЕОРІЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ / Н. Б. Репнікова, А. В. Писаренко. – Київ: НТУУ (КПІ), 2012. – 87 с.
4. Robots in Warehousing [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/TH_RIA_Larry_Sweet_distribution.pdf.
5. Autonomous Transport Agents [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.doc.ic.ac.uk/teaching/distinguished-projects/2010/j.moschetta.pdf>.
6. Роботи KIVA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://prezi.com/4hhzwrl5iqfd/kiva-robots/>.
7. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ua.kursoviks.com.ua/metodychni_vkazivky/article_post/5087-metodichni-rekomendatsii-do-vikonannya-rozdilu-magisterskikh-disertatsiy-z-kursu-rozroblennya-startap-proyektu-ntuu-kpi.
8. Clark, M.L.; Clark, D.B.; Roberts, D.A. Small-footprint lidar estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape. Remote Sens. Environ. 2004, 91, 68–89.
9. Base Power Generating Facilities And Technologies: Principles, Design And Environmental Aspects/ Workbook on a learning module to support teaching in Environmental Engineering and Management / Edited by Vitalij. A. Maliarenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof.– Kharkov –Dandy–Vaasa. Printing and Publishing Division,
KSAME 2002.– 282 pp.;

10. Dr. Christian Wurl. ROBOGISTICS [Електронний ресурс] / Dr. Christian Wurll – Режим доступу до ресурсу: https://www.ostwestfalen.ihk.de/fileadmin/user_upload/20151022-PR-WuC-E-1-Robogistics - Robotics in Logistics.public Vortrag Dr. Wurl.pdf.

11. Persson, Å.; Holmgren, J.; Söderman, U. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. Photogramm. Eng. Remote Sens. 2002, 68, 925–932.

12. Bilozerskyi, V., Dergachov, K. & Krasnov, L. Analiz i poperednya obrobka videodanykh dlya pidvyshchennya yakosti roboty system tekhnichnoho zoru [Analysis and pre-processing of video data to improve the quality of computer vision systems]. Problemy keruvannya ta informatyky – Problems of control and informatics, 2023, vol. 68, no. 2, pp. 50–66. DOI: 10.34229/1028-0979-2023-2-4. (In Ukrainian).

13. Буданов В. М., Девянин Е. А. Про рух колісних роботів // ПММ. - 2003. - Т. 67. вип. 2. - С. 244-255.

14. Конспект лекцій за дисципліною «ТАУ», 5-6 семестри, Кулік А. С./ Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

15. Aurélien Géron Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems 2nd Edition 2019 – 856 page.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Результати патентного пошуку

Код патенту	Країна, рік	Назва	Автор	Реферат
120668	Україна 20.06.2018	Крокуючий пристрій мобільного робота	Струтинський Василь Борисович Юрчишин Оксана Ярославівна Бондаренко Наталія Борисівна Келавець Юрій Русланович	Винахід належить до загального машинобудування і може бути використаний при розробленні наземних роботизованих комплексів. Новим є те, що між кінцем верхнього важеля та керованим приводом нижнього важеля встановлено демпфер у вигляді торсіона в оболонці, між якими розміщена еластична вставка, при цьому кінець верхнього важеля з'єднано з торсіоном, а керований привід з оболонкою. Ефект оптимізації динамічних характеристик покрокового переміщення пристрою, виключення ударних навантажень, зниження енерговитрат в приводах за рахунок синхронізації параметрів синусоїдальних вертикальних

Таблиця А1 – Результати патентного пошуку

Код патенту	Країна, рік	Назва	Автор	Реферат
45369	Україна 10.11.2009	Колесо-рушій мобільного робота	Кондратенко Юрій Пантелійович Запорожець Юрій Михайлович	Колесо-рушій мобільного робота містить маточину з геометричною віссю колеса, обід зі стрижнями з їх геометричними осями, розміщеними на сторонах правильного багатокутника, точка взаємного перетину бісектрис внутрішніх кутів якого розміщена на геометричній осі колеса, вузол для з'єднання маточини з ободом у місцях, розміщених у вершинах цього багатокутника, і шину, розділену між цими місцями по окружності колеса на секції, а багатокутник розміщений у площині колеса чи паралельній їй площині. Додатково введений багатоканальний блок керування елементами вузла для з'єднання маточини з ободом з двома групами керованих вихідних каналів.

Таблиця А1 – Результати патентного пошуку

Код патенту	Країна, рік	Назва	Автор	Реферат
2127019С1	Україна 2015	Пульт дистанционного управления устройствами бытовой техники и компьютерными системами	Рижов В.А.	Винахід відноситься до засобів дистанційного контролю та управління переважно приладами побутової техніки, а також комп'ютерними системами і може бути використане для керування безліччю одиниць одночасно працюючих приладів. Технічним результатом є розширення області застосування багатофункціональних пристроїв віддаленого контролю, що використовують портативний та автономний пульт управління, для одночасного управління безліччю одиниць зовнішніх пристроїв та роботи з різними типами та платформами комп'ютерних систем. Пульт містить приймач-передавач

ДОДАТОК Б

ЛІСТИНГ КОДУ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

```

import 'package:flutter/material.dart';

class WarehouseRobotApp extends StatelessWidget {
  final NavigationService navigationService = NavigationService();
  final LoadingService loadingService = LoadingService();
  final DeliveryService deliveryService = DeliveryService();

  @override
  Widget build(BuildContext context) {
    return MaterialApp(
      home: Scaffold(
        appBar: AppBar(
          title: Text('Warehouse Robot App'),
        ),
        body: Center(
          child: Column(
            mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.center,
            children: [
              ElevatedButton(
                onPressed: () async {
                  // Позиціонування
                  RobotPosition currentPosition = await
navigationService.getCurrentPosition();
                  print('Current Position: $currentPosition');

                  // Завантаження
                  await loadingService.startLoading();
                  await loadingService.checkLoadingStatus();
                  await loadingService.finishLoading();
                  print('Loading Complete');

                  // Доставка
                  RobotPosition deliveryDestination = RobotPosition(10.0, 10.0);
// Приклад пункту доставки
                  await deliveryService.startDelivery(deliveryDestination);
                  await deliveryService.checkDeliveryStatus();
                  await deliveryService.finishDelivery();
                  print('Delivery Complete');
                },
                child: Text('Start Robot Task'),
              ),
            ],
          ),
        ),
      );
    }
}

void main() {
  runApp(WarehouseRobotApp())
}

```

ДОДАТОК С



**Презентація до дипломного проекту магістра
на тему:**

**Розробка і дослідження системи управління
складським роботом-транспортувальником
комплектуючих для літакобудування**

Здобувач: Носов Іван Іванович Гр.362

Спеціальність: 151 "Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані
технології"

Освітня програма: « Інженерія мобільних додатків »

Керівник: к.т.н., доц. каф.301 Немшилов Ю.О.

Дата захисту: ___ січня 2024 р.



МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Робота описує важливість сучасних технологій для управління складськими процесами в авіаційній промисловості. Зосереджено увагу на автоматизації та впровадженні спеціалізованого програмного забезпечення, яке максимально адаптується до існуючих логістичних процесів на складі. Автоматизовані системи управління складом спрямовані на підвищення ефективності, оптимізацію роботи, усунення "вузьких місць" та підтримку сучасних вимог до логістики.

Також розглядається використання індустріальних роботів у складських процесах, які виконують різноманітні завдання від допоміжних операцій до основних виробничих завдань. Підкреслюється, що використання автоматизованих рішень, які інтегрують сучасні технології, забезпечує важливий вклад в оптимізацію логістичних процесів, особливо в такій складній сфері, як виробництво літаків.





АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Системи управління складом (WMS) є основним інструментом для автоматизації та оптимізації роботи складів в авіаційній промисловості. Вони сприяють прискоренню обробки товарів, точному відстеженню розташування компонентів, ефективному управлінню товарами з обмеженим терміном придатності та оптимальному використанню складського простору.



Імплементація WMS включає автоматизацію процесів приймання та зберігання товарів, використання QR-кодів для ідентифікації та аутентифікації товарів, а також управління складськими процесами для ефективного використання складського простору.

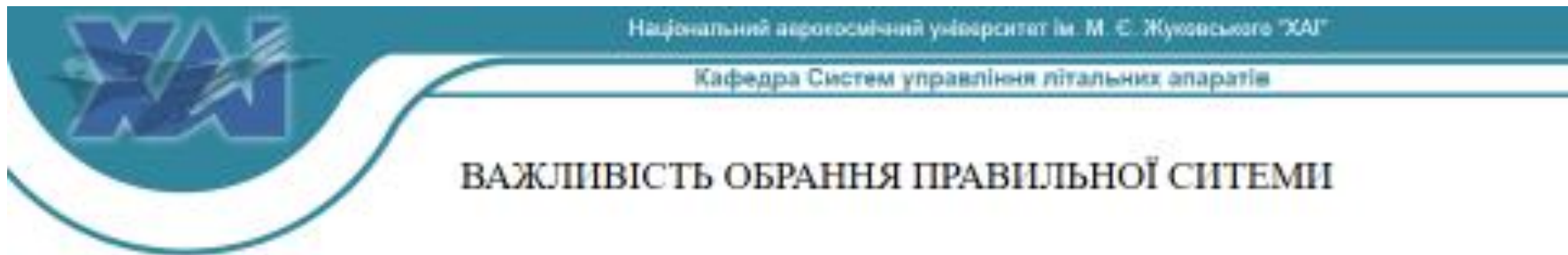


Рисунок 1.2 – Статистика прибутку компанії Amazon

Технологічний прогрес у галузі складської автоматизації включає розвиток адаптивних архітектур, що дозволяють швидко адаптувати систему до нових технічних вимог, а також використання роботизованих систем для підвищення ефективності та безпеки складських операцій.

Важливо вибирати WMS з урахуванням потреб бізнесу, оскільки існують різні рівні систем: від базових облікових систем до складних конфігурованих систем, які дозволяють вибирати варіанти виконання для кожного складського процесу.

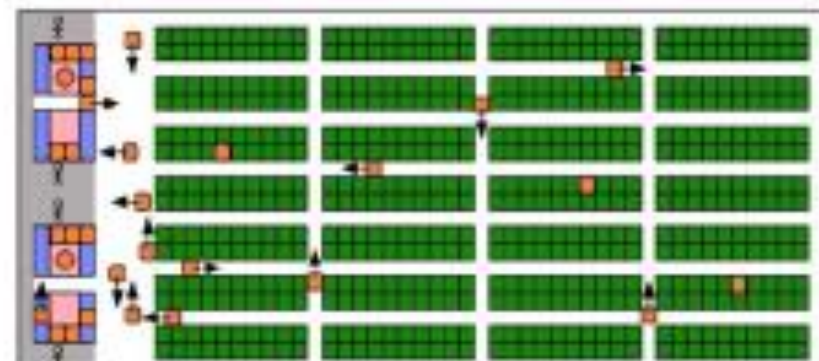


Рисунок 1.3 – Автоматизований склад Amazon

РОЗРОБКА ТА ПОДАННЯ ОПИСУ СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ

Алгоритм описує кроки від введення завдання до завершення завантаження продукту і пошки, як різні блоки взаємодіють для ефективного управління автоматизованим складом, з акцентом на авіаційні компоненти.

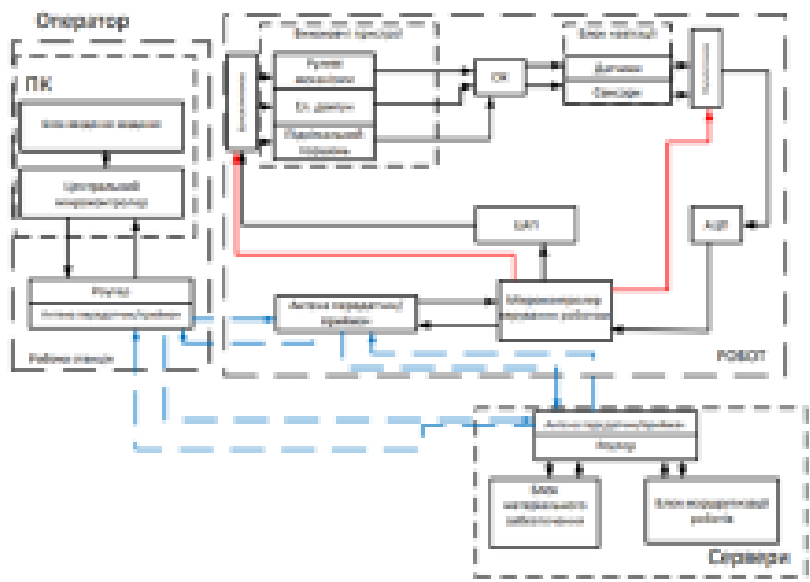


Рисунок 2.2 – Схема функціональна

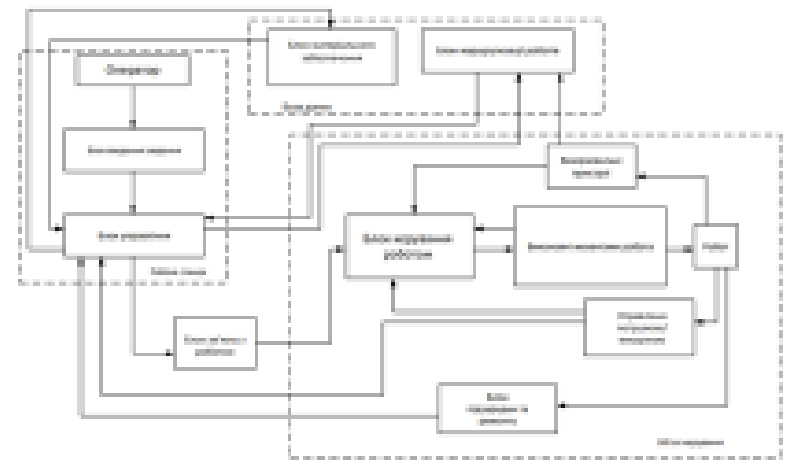
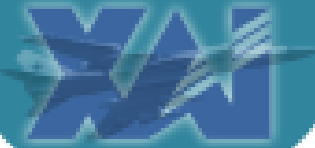


Рисунок 2.1 – Схема структурна

У функціональній схемі зображені пристрої, які виконують конкретні операції, а також відображені взаємозв'язки між ними, по яким передаються дані у формі як аналогового, так і цифрового сигналів



РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

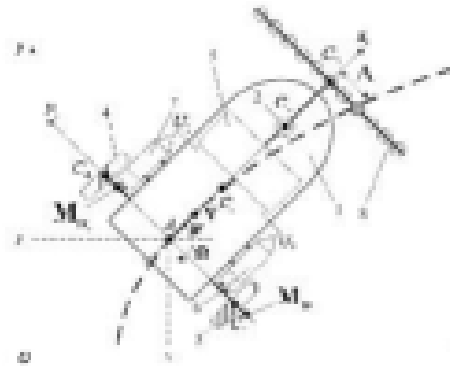
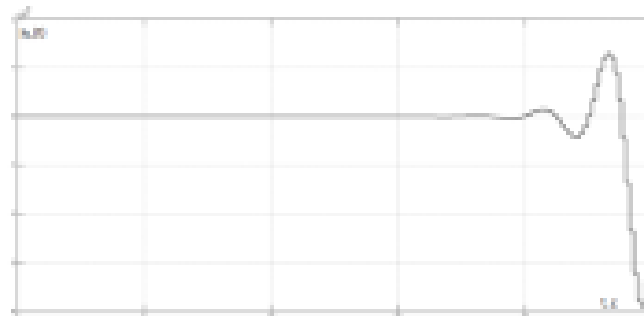


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема мобільного
робота для виведення рівнянь руху



Графік перехідної характеристики цифрової системи має
не стійку структуру

Динамічні рівняння руху робота мають вигляд:

$$\begin{cases} m\dot{V} = \frac{mc}{r}(i_1 + i_2) + \frac{1}{r}(M_{p1} + M_{p2}) + m_0 a \Omega^2, \\ J\dot{\Omega} = \frac{mcr}{r}(i_1 - i_2) + \frac{l}{r}(M_{p1} + M_{p2}) - m_0 a V \Omega, \\ L \frac{di_1}{dt} + R i_1 + \frac{mc}{r}(V + R\Omega) = U_1, \\ L \frac{di_2}{dt} + R i_2 + \frac{mc}{r}(V - R\Omega) = U_2, \end{cases}$$

$$D(x) = (z - 0.9793)(z - (0.7527 + 0.9669i))(z - (0.7527 - 0.9669i)).$$

$$|z_1| = 1.0627 + 0.4053i = \sqrt{1.0627^2 + 0.4053^2} = 1.1373651 > 1$$

$$|z_2| = 1.0627 - 0.4053i = \sqrt{1.0627^2 + 0.4053^2} = 1.1373651 > 1$$

$$|z_3| = -0.6939 + 0.0752i = \sqrt{0.6939^2 + 0.0752^2} = 0.697963 < 1$$

$$|z_4| = -0.6939 - 0.0752i = \sqrt{0.6939^2 + 0.0752^2} = 0.697963 < 1$$

Оскільки корені рівняння не відповідають умовам
у динамічному рівнянні руху робота, система в даному
випадку - нестійка.



СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

Для цифрових систем чіткого аналітичного обґрунтування вибору бажаних характеристичних коренів не існує

Структура цифрової системи керування передбачається заданою у вигляді моделю передавальних функцій виду

$$W(s) = \frac{K}{a_0 s^4 + a_1 s^3 + \dots + a_n}$$

Розглядаємо випадок одиничного управляючого впливу

Для системи з передавальною функцією четвертого порядку маємо такі матриці у загальному вигляді

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \\ b_{41} \end{pmatrix}; C = (c_{11} \ c_{12} \ c_{13} \ c_{14});$$

$$\gg K1 = V1 / M1$$

$$\gg K2 = (V2 - M1 * K1) / M2$$

$$\gg K3 = (V3 - M1 * K1 - M2 * K2) / M3$$

$$\gg K4 = (V4 - M1 * K1 - M2 * K2 - M3 * K3) / M4$$

кінцеве значення матриці зворотних зв'язків за станом

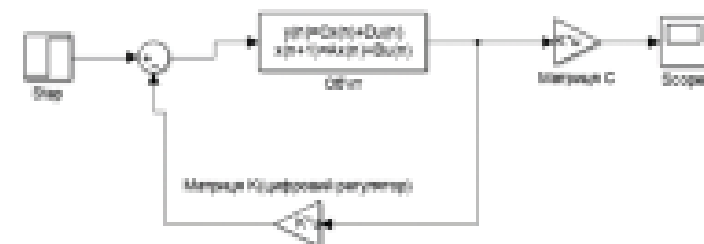


Рисунок 4.1 – Модель цифрової системи з регулятором

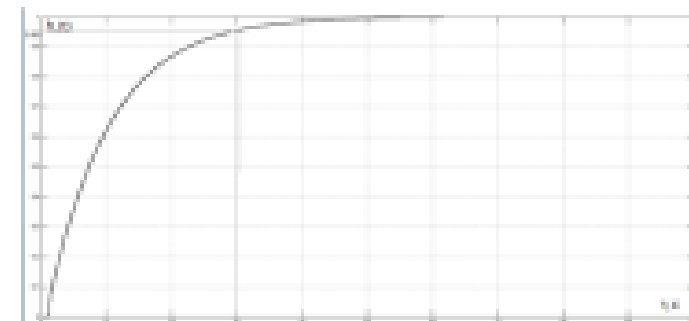
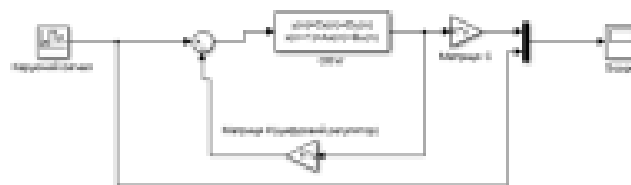


Рисунок 4.2 – Графік перехідного процесу системи з цифровим регулятором

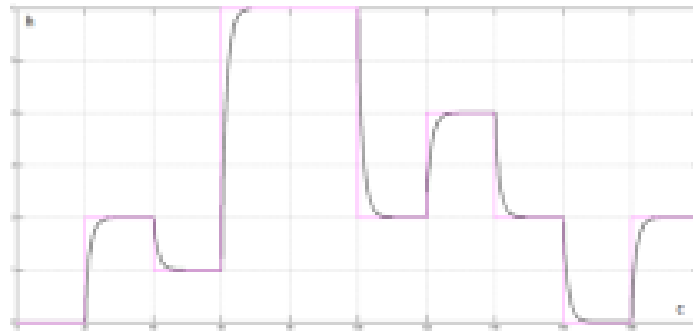


ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ РОБОТАМИ

Синтез моделі керування складським роботом у
середовищі MATLAB

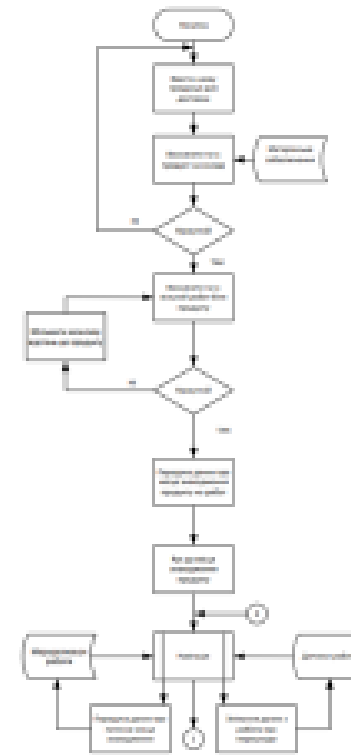


Модель руху складського робота



Результат моделювання

З результатів моделювання можна визначити що складський робот відпрацьовує сигнал керування з мікропроцесора достатньо точно.



алгоритм позиціонування транспортного робота





МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК ДЛЯ УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКИМ РОБОТОМ- ТРАНСПОРТУВАЛЬНИКОМ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ЛІТАКОБУДУВАННЯ

Мобільний додаток для керування роботом-транспортувальником на складі літакових запчастин може бути вирішальним для оптимізації та ефективності складської логістики.



Функціонал додатку охоплює всі аспекти управління роботом, від навігації та маршрутизації до контролю вантажів та енергоспоживання.



РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Таблиця 7.4 – Витрати на оплату праці

№	Категорія робітника	Кваліфікація	Трудомісткість розробки ПП	Годинникова ставка, грн	Σ, грн
1	Науковий керівник	Керівник проекту	10	250	2500
2	Розробка документації	Керівник проекту	10	170	1700
3	Проектувальник	Розробник	100	100	10000
4	ЗАГАЛОМ				14200

З прикладного боку, метою є спрощення управління транспортним роботом шляхом автоматизації управління. В процесі роботи також були розраховані економічні характеристики розробки. Важливо зазначити, що вартість даної роботи становить 89918,52 грн., а ціна конструкторської розробки - 25177,182 грн.

Таблиця 7.6 – Кошторис витрат на виконання роботи

№	Статті витрат	Сума, грн
1	Матеріальні витрати	55000
2	Витрати на оплату праці	14200
3	Витрати на електроенергію	740
4	Соціальний податок	1405,8
5	Амортизація основних фондів	589,02
6	ПІДСУМОЖ	71934,82





ВИСНОВОК

Робота зосереджується на розробці автоматизованої системи управління складом, яка забезпечує високу ефективність та керованість для сучасних компаній. Автоматизація та ефективне управління складом впливають на швидкість і якість роботи компанії, що відбивається на прибутковості. Система вирішує ряд проблем, пов'язаних із складською діяльністю, швидкістю збирання товарів, точною інформацією про місцезнаходження товарів та ефективністю управління товарами з обмеженим терміном зберігання.



Розроблено та впроваджено автоматизовану систему управління складом із використанням транспортних роботів, яка може бути застосована не тільки в великих розподільчих центрах, а й на невеликих складах, у розподільчих центрах, архівах та на авіабудівних підприємствах. Автоматизація дозволить оптимізувати процеси обліку, зберігання та переміщення товарів та забезпечити ефективне використання складських площ.



Дякую за увагу!