

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**  
**Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 126 Інформаційні системи та технології \_\_\_\_\_  
(код і назва)

на тему: \_\_\_\_\_ Система управління автоматизованим складом \_\_\_\_\_

Виконав студент 2 курсу, групи \_\_\_\_\_ ІА-73мп \_\_\_\_\_  
(шифр групи)

Якимчук Владислав Вікторович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ доцент кафедри АУТС, к.т.н., доцент Репнікова Н. Б. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) \_\_\_\_\_ інформатики і обчислювальної техніки  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ автоматичного управління в технічних системах  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О. І. Ролік  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Якимчуку Владиславу Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Система управління автоматизованим складом»

науковий керівник дисертації доцент кафедри АУТС, к.т.н., доцент Репнікова Н. Б.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження складський (транспортний) робот автоматизованого складу

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) система управління автоматизованим складом, максимальна швидкість транспортного робота складає 10м/с, маса 145 кг

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Аналіз існуючих рішень в області автоматизації виробництв за допомогою складських роботів; розроблення схеми електричної структурної та електричної функціональної; розроблення динамічної моделі автоматизованої системи; розроблення регулятора засобом простору станів та розроблення стартап-проекту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу схема електрична структурна, схема електрична функціональна, схеми алгоритмів роботи автоматизованого складу, синтез систем керування автоматизованим складом, експериментальні дослідження

7. Орієнтовний перелік публікацій «Керування складськими роботами на базі алгоритму синтезу з бажаними коренями цифрової системи»

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання та узгодження вихідних даних		
2	Вивчення об'єкту дослідження		
3	Розробка математичної моделі		
4	Розробка програмної моделі		
5	Проведення експерименту		
6	Оформлення документації		
7	Подання роботи до попереднього захисту		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

В.В. Якимчук  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_  
(підпис)

Н.Б. Репнікова  
(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація за освітньо-професійною програмою інтегровані інформаційні системи підготовки на тему «Система управління автоматизованим складом». 106 сторінок, 27 рисунків, 23 таблиці, 9 додаток, 25 джерел.

Об'єктом дослідження є складський(транспортний) робот автоматизованого складу.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективної роботи складського приміщення на базі впровадження комплексної системи керування складськими роботами.

Методи дослідження – метод простору станів у середовищі MatLab/Simulink. Розроблена система управління автоматизованим складом. Яка дозволяє підвищити ефективність роботи складського приміщення за рахунок зменшення часу переміщення транспортних роботів, які виконують процес складування.

ТРАНСПОРТНІ РОБОТИ, СКЛАДСЬКЕ ПРИМІЩЕННЯ , ЦИФРОВИЙ РЕГУЛЯТОР, КЕРОВАНІСТЬ, MATLAB/SIMULINK

## SUMMARY

Master's dissertation on the educational-professional program integrated information systems of training on the topic "Automated warehouse management system". 106 p., 27 Drawings., Table 23, annex 9, 25 sources.

The object of research is a warehouse (transport) automated warehouse.

The purpose of the master's dissertation is to increase the efficient operation of the warehouse premises on the basis of the implementation of an integrated system of warehouse management.

Research methods are the method of space state in the MatLab / Simulink environment. An automated warehouse management system is developed. Which allows to increase the efficiency of the warehouse space by reducing the time of movement of transport robots, which carry out the process of storage.

TRANSPORTATION, WAREHOUSING, DIGITAL CONTROLLER, CONTROL,  
MATLAB / SIMULINK

## Зміст

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ .....	11
1.1 Основні рішення щодо автоматизації складського приміщення.....	11
1.2 Автоматизація складського приміщення на базі транспортних роботів .....	22
2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ .....	33
2.1 Опис структурної схеми системи управління автоматизованим складом .....	34
2.2 Опис функціональної схеми системи управління автоматизованим складом .....	38
3 ОПИС АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ .....	42
3.1 Алгоритм «Позиціонування» .....	42
3.2 Алгоритм «Завантаження» .....	46
3.3 Алгоритм «Доставка» .....	48
4 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА .....	51
4.1 Розроблення цифрової моделі системи керування транспортними роботами.....	61
4.2 Аналіз стійкості та якості цифрової системи управління рухом.....	63
5 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА.....	67
6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ РОБОТАМИ.....	73
7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	80
ВИСНОВОК .....	102
ЛІТЕРАТУРА .....	104
Додаток Публікації	
Додаток 1	
Додаток 2	
Додаток 3	
Додаток 4	
Додаток 5	
Додаток 6	
Додаток 7	
Додаток 8	

## ВСТУП

Сучасний склад – це складна технологічна споруда, яка має в своєму складі численні взаємопов'язані елементи, має певну структуру і виконує кілька функцій по обробленню матеріальних потоків, та по накопиченню і розподілу вантажів між споживачами[2].

Оброблення матеріальних потоків на складі пов'язано з багатьма параметрами, що приймаються і видають партії вантажів.

Існуючі складські системи відрізняються розмірами і складністю, типами збережених виробів, витратами, пов'язаними з їх роботою, характером які відбуваються в них, випадкових процесів і характером інформації, що надходить до осіб, які приймають рішення.

Аналіз спеціальної літератури, яка викладена на спеціалізованих сайтах і в журналах показала, що для ефективного впровадження спеціалізованого програмного забезпечення(ПЗ) необхідно визначити розробникам правильні алгоритми бізнес-процесів на складі, так як кожне підприємство має свої внутрішні особливості і зовнішні особливості, а першочерговим завданням розробників повинно мало бути максимальне приближення до опису вже існуючих логістичних процесів на складі. А в кращому випадку має бути впровадженню ПЗ, яке повинне бути першим при детальному опрацюванні існуючих фізичних процесів на складі і усунення "вузьких місць" проходження матеріального потоку і вже потім встановлення та впровадження програмних засобів[1].

Управління транспортуванням продукції на складі складається з логістичних функцій, таких як:

- приймання вантажів від постачальників;
- приймання товарів на склад;
- підготовка товарів до складування;
- складування товарів;
- зберігання товарів;
- підготовка товарів для відправки;

- підготовка товарів для перевезення;
- відправка товарів користувачам (споживачам);
- сервісні послуги;
- облік транспортування товарів.

Кожна функція включає визначені процедури, а окремій процедурі відповідні логістичні операції. При наскрізному управлінні матеріальним потоком неоціненну допомогу надають інформаційні технології(ІТ), які використовуються на складі, так як дозволяють відслідковувати всі процеси на складі в режимі реального часу. Це в свою чергу спрощує таку функцію, як "Облік руху товарів". Ця функція включає в себе процедури: оперативного обліку та аналітичного обліку.

Основою сучасного високотехнологічного складу є автоматична система управління складськими процесами.

Індустріальні роботи в наш час все більш ширше використовуються для виконання не тільки допоміжних завантажувально-розвантажувальних і транспортних операцій, але також допоміжних для виробництва операцій, таких, як:

- підготовка та сортування деталей,
- чищення поверхонь перед зварюванням/склеюванням,
- консервація, пакування та вимірювання готових деталей чи виробів, та ін.

Індустріальні роботи все більше знаходять застосування та й на таких основних виробничих операціях, як, для фарбування вузлів і деталей, з'єднання їх болтами, зварюванням і т.д.. Індустріальні роботи, що виконують допоміжні переходи або операції переміщення, їх ще можна назвати обслуговуючими; до них відносяться:

- завантажувально-розвантажувальні,
- транспортні(складські) роботи.

Складський робот може з легкістю справлятися з роботою на складі, який по розміру приблизно тотожний шістьом футбольним майданчикам. Він може працювати 24 години, без перерви і не вимагає зарплату.

### **Актуальність теми**

Актуальність тематики магістерської дисертації полягає в тому, що сучасне підприємство, якого склади спрямовані на конкурентоспроможність та ефективну роботу, повинні використовувати сучасні методи організації управління – ІТ-технології, орієнтованих на чітке планування та координацію компонентів усіх торгово-технологічних процесів.

Автоматизація складу передбачає використання комплексів робото-технічних пристроїв, управління якими повинно виконуватися з заданою якістю. Тому розробка ефективних практичних методів керування складськими роботами задача актуальна.

### **Мета і задачі дослідження**

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективної роботи складського приміщення на базі впровадження комплексної системи керування складськими роботами.

Для вирішення наступної мети були поставлені та вирішені наступні задачі:

- Дослідження існуючих рішень в області автоматизації виробництв за допомогою складських.
- Розроблення схеми електричної структурної системи управління автоматизованим складом.
- Розроблення схеми електричної функціональної системи управління автоматизованим складом.
- Розроблення динамічної моделі автоматизованої системи на базі транспортних роботів

**Об'єктом** дослідження виступає – складський(транспортний) робот автоматизованого складу.

**Предметом** дослідження виступає – система управління автоматизованим складом.

### **Апробація результатів роботи**

Результати виконаних досліджень докладались на науково-професійній конференції «Summer InfoCom Advanced Solutions 2018», на тему «Керування складськими роботами на базі алгоритму синтезу з бажаними коренями цифрової системи».

## 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

### 1.1 Основні рішення щодо автоматизації складського приміщення

На сьогодні найбільше використання набула система автоматизації складського приміщення під назвою «Система Управління Складом (WMS)»

Warehouse Management System (Система Управління Складом) – це система управління, що забезпечує автоматизацію та оптимізацію всіх процесів складської роботи підприємства[20].

WMS-системи створені спеціально для того, щоб максимально оптимізувати функції оперативного управління складом яке має в своєму арсеналі адресне зберігання чим підвищує тим самим ефективність бізнесу в цілому. WMS-система – це інструмент для реалізації стратегічних і тактичних цілей покликаний для здійснення:

- 1) активного управління складом;
- 2) збільшення швидкості збору товару;
- 3) отримання точної інформації(координатів) про знаходження товарів на складі;
- 4) ефективне керування товаром, що має обмежений термін придатності;
- 5) отримання інструментів для підвищення ефективності процесів по обробці товарів на складі;
- 6) оптимізоване використання складського приміщення.

WMS-система вирішує такі завдання, як:

- 1) приймання товару і матеріалів:
  - приймання товарів у режимі реального часу з використанням терміналів або паперових носіїв;
  - друк QR-кодів;
  - гнучка автентифікація, як з замовленням на закупівлю що надійшли від постачальника за попередніми повідомленнями про відвантаженні, так і без них;
  - гарантійне зберігання товарів у відповідному вигляді;

- перевірка відповідності і на основі її відбувається коректування даних.

## 2) складування:

- автоматичне складування;
- настроювання правил складування для оптимального використання складського простору в свою чергу для збільшення продуктивності складських операцій;
- всеохоплюючий критерій побудови місць для зберігання;
- настроювання створеного завдання по складуванню;
- підготовка різнопланового, нефасованого товару від різних постачальників.

3) автоматизація процесів, які відбуваються одноразово таких, як приймання та відвантаження товару:

- транспортування отриманого товару для відправки замовникам;
- транзитне відвантаження товарів через склад.

## 4) гнучке управління, як замовленням так і групами замовлень:

- комплексне згрупування замовлень.
- оброблення та виведення замовлень групами з використанням оптимізації процесів і ресурсів;
- об'єднання і розподіл партій товарів;
- настроювання функцій ідентифікації товару по упаковці при транспортуванні чи поверненні.

## 5) поповнення запасів:

- настроювання параметрів при поповненні за необхідністю;
- поповнення наполовину пустими піддонами;
- комплексне поповнення групи товарів на одному піддоні;
- автоматизоване формування і відправлення завдань при поповненні;
- настроювання стратегій для поповнень;
- різноманітні види поповнень (штука, коробка, піддон).

## б) комплектація(зборка) замовлень:

- управління логістичним центром складу
- автоматизоване формування і відправлення завдань співробітникам на комплектацію(збір) замовлень;
- комплектація прямо на піддон з урахуванням вимог ергономіки, а також розміру, маси та інших параметрів товарів;
- комплектація на транспортну стрічку;
- комплектація партією товару;
- підтримка вибірки різними способами: штуками, коробками, повними піддонами;
- комплектація з використанням терміналів або етикеток, як допоміжних інструментів;
- комплектація по згідно голосовій команді, що надається з системи;
- упакування;
- різноманітні методи збору (дискретний, груповий, об'єднаний);
- персоналізація під час збору замовлень;
- генерування ідентифікаційного номеру контейнерів, які відправляються і в свою чергу їх відстеження.

#### 7) навантаження:

- створення розкладів відвантаження товарів з урахуванням наявних пріоритетів;
- упорядкування та групування товарів при транспортуванні в залежності від послідовності доставки;
- керування терміналами таких операцій, як погрузка, перевірка і закриття;
- перевірка і після чого закриття операцій відправки;
- вибір перевізників;
- відповідне маркування;
- створення супровідного документу.

#### 8) управління запасами:

- відстеження контейнерів;
- надання повної функціональності для роботи з масивним товаром;
- гнучкість при виконанні операцій: переміщення та коригування, зі складськими запасами;
- опосередкована часткова інвентаризація;
- повноцінна фізична інвентаризація з фіксацією маси на вході і виході;
- контроль інформації(стану і отримання) про складські запаси в режимі реального часу;
- консолідація запасів ;
- локалізуванню запасів і конфігурування площ і розмежовування складу;
- відстеження атрибутів товарів (партія, код, серійний номер);
- облік дати та відстеження термінів реалізації товару;
- відстеження власників товарів, що зберігаються;
- гнучка система повторної відправки, розділення на партії, переміщення запасів.
- гнучкі методики видання FIFO, FPFO, FEFO, BBD.

9) управління завданням для персоналу, які автоматично формуються та відправляються такими завданнями є:

- приймання;
- розміщення;
- переміщення;
- підрахунок оборотності;
- поповнення запасів;
- комплектація;
- навантаження;
- відправка.

10) планування роботи розподільного центру:

- складання графіку на виконання завдань з їх зміною в черзі відповідно до пріоритетів;

- диспетчеризація і чергування завдань;
- масове переміщення .

#### 11) управління контейнерами

- нанесення патентної інформації;
- збір в контейнер кількох різних товарів;
- ідентифікація товарів по упаковці при відвантаженні і поверненні;
- визначення обмежень при спільному зберіганні товарів.

#### 12) управління зберіганням і виробничою продуктивністю:

- визначення точного місця положення зберігання;
- оптимізація зберігання;
- автоматизоване поповнення і переміщення на допоміжні склади;
- переміщення всередині організації;
- управління та адаптація зберігання по термінах придатності;
- контроль і обробка небезпечних матеріалів;
- інвентаризація складського обладнання.

#### 13) управління людськими ресурсами:

- розрахунок робочого часу;
- відстеження завдань для персоналу;
- звітність людських ресурсів;
- проектування стандарту трудових ресурсів;
- планування продуктивності праці.

Таким чином, WMS-система управління забезпечує автоматизацію та оптимізацію всіх процесів складської роботи підприємства.

WMS-системи створені спеціально для того, щоб максимально оптимізувати функції оперативного управління складом та підвищити тим самим ефективність бізнесу в цілому.

#### Класифікація та принцип роботи WMS

Компанія, яка хоче впровадити WMS, неминуче стикається з різноманітними пропозиціями на ринку. При цьому заявлений функціонал рішення завдань у всіх

приблизно схожий, а відмінність у цінах досить суттєва. Головним ж принципом вибору тут, є наявність того чи іншого функціоналу, а то, як він реалізований в системі, і чи можливо оптимізувати реалізований в системі функціонал під особливості процесів замовника:

### 1. WMS-системи початкового рівня

Це системи, які розпочали свій рух на концепції облікових систем. Як правило, в таких системах присутній документарний підхід: головним є не процес, а документ, який має бути або відкритий, або проведений, або закритий. Таким чином, в даних системах немає адаптації при виконанні процесів, немає автоматизованої генерації завдань. З цієї причини, як правило, вони не використовують термінали і не працюють в онлайн. Тобто дані системи є проміжними ланками між обліковими системами і системами управління складом.

### 2. Коробкові системи управління

Це система, яка має умовну готовність до установки з сильним обмеженням при наборі функціоналу, що не мають на увазі будь-яку модифікацію або налаштування бізнес-процесів. Але саме ці: оперують та управляють процесами та завданнями. У них є визначений рівень оптимізації процесів, але схеми виконання процесів є незмінно задані. Іноді є можливість вибору варіанта виконання операції, установкою прапорців. При цьому змінити алгоритм процесу або будь-які його елементи, що не винесені в прапорці, неможливо.

Такі системи підходять для складів, готових прийняти типові технологічні процеси, тобто налаштувати свої складські процеси під технологію, яка реалізована в системі. Як правило, дану технологію обирають невеликі склади, де не стоїть питання нестандартної обробки товару, складних правил чи алгоритмів обробки товару.

### 3. Конфігуровані системи

Це системи принцип впровадження яких полягає в тому, що для кожного складського процесу вибирається один з варіантів його виконання, закладений в систему. Але можливостей вибору варіанта значно більше, ніж в коробкових

системах. Вибір варіанту виконання процесу проводиться не тільки установкою прапорців, а й вибором правил та стратегій .

Іноді в декількох системах, для певних процесів є можливість створювати власні правила обробки товару, з урахуванням обмежень системи. Можливість створювати свої правила, вводити параметри, на основі яких буде будуватися обробка товару, – це прогресивний крок, до можливості оптимізувати, адаптувати процеси, закладені в системі, до вимог замовника.

Різні системи даного класу мають різні можливості по створенню таких правил. При виборі системи даного класу необхідно чітко уявляти свої вимоги і вимагати від потенційного постачальника показати, як він збирається реалізувати цю вимогу. Часто такі системи мають модульний принцип:

- базова система, що виконує основні складські операції;
- набір модулів, що надають: додатковий функціонал чи додаткові можливості оптимізації.

Однак навіть такі системи не можуть реалізувати всіх особливостей технологічних процесів замовника. Вони ґрунтуються на вислові «кращі практики» - на тому, як організовані бізнес-процеси в більшості компаній. Але варто задуматися, чи все може бути організовано на конкретному складі так, як для більшості компаній, є якісь особливості в обробці товару, в наданні послуг доданої вартості. На прикладі такої системи можна проілюструвати підклас систем замовлення. Це коробкові або конфігуровані системи, що відрізняються тим, що у компанії, яка впроваджує дані системи, в руках є вихідний код. Тобто теоретично, якщо якийсь функціонал системи не влаштовує замовника, то компанія може перепрограмувати цей функціонал під його вимоги, якщо мова йде про додаткове програмування, то це - значне збільшення термінів. Це дорого і вимагає якісної постановки завдання. Буває, що розробники можуть відмовитися від реалізації деяких вимог, так як вони складні в реалізації.

Крім того, потрібно враховувати, що індивідуальні розробки під клієнта, швидше за все, не ввійдуть в наступну версію системи, а це означає, що при

переході на наступну версію доведеться їх переробляти і тестувати з новою версією, тому на будь-які зміни, апгрейди, необхідно буде оформлювати нові замовлення на роботи постачальнику.

#### 4. Адаптовані системи

Це системи, побудовані на архітектурі сервісно орієнтованій(SOA), які на додаток до можливості конфігурації базової системи, дозволяють змінювати логіку бізнес-процесів і повністю адаптувати їх під особливості бізнес-процесів замовника, без застосування програмування і зміни вихідного коду. Концепція таких систем полягає в тому, що система повинна повністю підтримувати всі особливості бізнес-процесів замовника, а не змушувати його змінювати свої бізнес-процеси під той варіант, який реалізований в системі. Під адаптацією розуміється:

- зміна алгоритму виконання будь-якої операції,
- зміна терміналів,
- зміна логістичної обробки,
- зміна стаціонарних місць .

На сьогодні адаптивна архітектура присутня в системах: HighJump, Provia, Marc, Global, RedPrairie, Click Commerce та в деяких інших. В HighJump кожен процес розбивається на елементарні об'єкти процесу. Кожен об'єкт процесу виконує елементарну дію. Об'єкти процесу формуються в єдиний процес, складаючи логіку його виконання. За допомогою об'єктів процесу можна змінити будь-який бізнес-процес, або зібрати новий бізнес-процес.

На відміну від замовних систем, адаптовані системи мають логіку впровадження нових технологічних процесів, що може змінити не тільки постачальник, але й адміністратор системи замовника так як не використовуються будь-яка мова програмування. Постачальник при встановленні системи адаптує логіку процесів під вимоги впровадження нових технологічних процесів замовника і потім передає замовнику весь інструментарій адаптації. Далі, в процесі експлуатації, системний адміністратор може змінити процеси в системі і будувати, з

використанням тих же інструментальних засобів, якими користуються фахівці постачальника.

Територія складу розбивається на відділи за видами технологічної операції:

- прийом,
- розміщень,
- зберігання,
- оброблення,
- транспортування,

що дозволяє систематизувати роботу персоналу на різних ділянках і ефективно розподіляти відповідальність.

На стадії впровадження в систему заноситься такі параметри, як опис фізичних характеристик складу, опис вантажної техніки, параметри обладнання, що використовується і правила роботи з ним. Всі матеріали, що поступають позначені кодами(штрих-, QR-). Проведення технологічної складської операції під контролем системи проводиться на підставі даних кодів. Вантажно-розвантажувальні роботи що виконують працівники складу оснащуються терміналами введення-виведення даних, які представляють собою переносний комп'ютер, що спілкується з головним сервером системи по каналу зв'язку. Система в свою чергу може, як використовувати будь-який з існуючих типів кодів так і створювати свій метод ідентифікації. При проведенні інвентаризації робітники за допомогою терміналів зчитують коди, які автоматично заносяться в бази даних. Система враховує всі вимоги до умов зберігання при розподілі місць зберігання для поставки на склад товарів. Умовами зберігання можуть бути: вологість, температура, термін придатності, виробник, термін реалізації, постачальники і будь-які інші параметри. WMS автоматично підбирає місця зберігання вантажів після поставки і формує завдання для працівників складу. Завдання надходять на екран терміналів у вигляді елементарних поетапних команд, індивідуально для кожного працівника.

При формуванні команд для кожного працівника система розробляє оптимальний маршрут переміщення техніки по території складського приміщення,

що дозволяє збільшити продуктивність вантажних засобів. При виконанні операцій система призначає вантажну техніку, яка найбільше відповідає поставленому завданню. Виконання завдання підтверджується скануванням коду. Таким чином, система контролює всі дії працівника і дозволяє скоротити до мінімуму можливість помилки при розміщенні вантажу або неправильного комплектування замовлення. В системі в режимі реального часу оновлюється вся інформація про місцезнаходження вантажів, наявність товару на складі, дій працівників і проведені операції. Для зручності можна представляти роботу складу в режимі двомірного відображення. За результатами роботи система дозволяє формування звітів, які можуть, як виводитися на друк, так і передаватися в корпоративну систему.

Система дозволяє покращити якість клієнтського обслуговування за рахунок збільшення точності при зборі та комплектації замовлення.

Підвищення якості послуг, що надаються неминує тягне за собою в свою чергу надає такі можливості, як підвищення лояльності клієнтури і, як результат, зростання рентабельності і прибутку компанії.

Впровадження WMS системи у компанію, надає такі переваги: вона стає унікальним носієм знань про внутрішньо-складську вантажопереробку, видаючи співробітникам через термінали готове завдання на виконання операцій. У завданнях визначається оптимальний варіант виконання тієї чи іншої операції.

Жоден, співробітник навіть дуже досвідчений, не може так оперативно і швидко приймати рішення про управління складом. Система також накопичує всю статистичну інформацію складського процесу, що дозволяє проводити інвентаризацію без зупинки роботи складу і формує звітність, як по товарах, так і по співробітниках. Все це перетворює WMS систему в невід'ємний інструмент прийняття рішень.

WMS система здійснює моніторинг роботи складу і формує детальну статистику по його співробітникам. На підставі отриманих даних визначаються коефіцієнти трудової участі (КТУ) кожного окремого співробітника (бригади, зміни). Важливими показниками ефективності використання трудових ресурсів

організації є коефіцієнти, що інтегруються в систему Key Performance Indicators (KPI) або в систему збалансованих показників компанії. Маючи в розпорядженні точні дані по ефективності роботи співробітників, керівництво може будувати найбільш адекватну систему мотивації персоналу складу.

Крім того, сучасні WMS системи допускають установку, крім спеціалізованого обладнання для збору даних, електронних табло, на якому відображаються результати складських груп. Це дозволяє утворити елемент змагання персоналу, тим самим ще більше збільшивши ефективність роботи складу.

В сучасних умовах WMS система забезпечує потреби автоматизації складських операцій. Система сприяє взаємозв'язку і забезпечує відкритість процесів для всіх партнерів в ланцюжку доставок.

Система генерує і обробляє інформацію в єдиному, зрозумілому усім учасникам ланцюжком поставок, в форматі, тим самим дозволяє інтегрувати і персоналізувати системи всіх торгових партнерів. Таким чином, інформація оброблюється в стандартному в миттєвому форматі (режим реального часу), що робить роботу всіх учасників поставок коригованою та оперативною.

Таким чином в розробленій системі автоматизованим складом необхідно забезпечити:

- оптимальне використання ресурсів складу;
- розміщення матеріалів в найбільш зручному місці, знижуючи всі можливі ризики;
- раціональне використання як висоти, так і всього обсягу складського простору і збільшення його пропускної здатності завдяки методу динамічного розміщення;
- збільшення продуктивності праці персоналу за рахунок зниження кількості пауз між завданнями.

Сьогодні нерідко вершиною дерева цілей компанії є збільшення її рентабельності. В умовах конкуренції прибуток, збільшується за рахунок зниження фінансових витрат.

## 1.2 Автоматизація складського приміщення на базі транспортних роботів

Новою методикою на сьогодні є використання системи автоматизації складського приміщення на базі транспортних роботів.

На даний момент у світі роботи знаходять все більш широке застосування у різних галузях діяльності[15]. Робот – це універсальна автоматизована машина, що запрограмована на виконання багатьох послідовних команд на здійснення рухових функцій, аналогічних функціям людини. Їх універсальність, можливість швидкої зміни налаштувань в разі заміни умов або об'єктів виробництва представлених на рисунку 1.1, висока надійність, тривалий термін служби надають автоматизацію серійного та дрібносерійного виробництва.



Рисунок 1.1 – Автоматизований склад

Впровадження системи управління автоматизованим складом має економічний сенс там, де здійснюються: зберігання, переміщення та облік, таких товарів, як поштових відправлень, архівних даних та інше. Існує декілька окремих проблем ефективності роботи складських операцій, вирішення яких гарантує підвищення ефективності функціонування складського господарства, його розташування, кількості систем складування та розміру складської мережі, вибір між складом загального користування або власним[14].

Застосовувати системи управління складськими роботами можна не тільки у великих логістичних центрах, а й у порівняно невеликих складських господарствах,

розподільних центрах, архівах та виробництві. У складському господарстві при великій кількості операцій можуть виникати проблеми з таким параметром, як керованість до цього призводять такі процеси, як облік товарів, їх зберігання та переміщення, збір замовлень і підготовка до відправки, інвентаризація. Управління великим складським господарством на сьогоднішній день не може бути ефективним без системи управління складом. Для максимального ефективного забезпечення потреби бізнесу необхідно автоматизування складської логістики. Від того, як ефективно працює складська логістика, залежить ефективність роботи підприємства в цілому.

Апаратно-програмний комплекс, що призначений для повного відображення та оптимізації процесів логістики, що містять великий набір функцій та варіантів дій, які в свою чергу дозволяють ефективно управляти розміщенням і переміщенням матеріалів на складі, все це виконує система автоматизації складу. Система вміщає в собі: програмне забезпечення, обладнання, концептуальні рішення щодо організації системи управління, розробленого для конкретного підприємства. На думку закордонних фахівців, правильне використання програмних продуктів в управлінні складським господарством є найважливішим моментом в організації складського господарства, яке приносить помітно значущі переваги. Від досвіду та кваліфікації фахівців, що розробляють проект на підприємстві, залежить на скільки ефективною буде впровадження системи управління. Програмне забезпечення та обладнання можуть бути використанні різними способами в залежності від організації складських приміщень, особливості товарів та організованості при управлінні складським господарством. Ціль впровадження та функціональні вимоги до системи необхідно чітко визначити, виконати аналіз функціональних можливостей, вартості та термінів введення у виробництво, витрат на тривалу експлуатацію, оцінити об'єм можливості апгрейду, кількість успішних проектів які використовують схоже направлення на підприємствах. Автоматизація складу може дозволити такі дії, як збільшення пропускнуої спроможності складських приміщень, прискорити складські процеси, а також уникнути втрати товару [10].

Переваги робототехніки:

- можливість виключити вплив шкідливих факторів на персонал на виробництвах з підвищеною небезпекою;
- досить швидко окупається.

Роботи не тільки заміняють монотонну ручну працю, а також заміняють людей які працюють з радіоактивними, токсичними, вибухонебезпечними речовинами, у складних температурних умовах, та в умовах підвищеної вібрації, шуму, забруднення повітря і т. д.. Завдяки роботизації підвищується ефективність виробництва в будь-якій сфері діяльності, це в свою чергу надає зростання економіки і питомої ВВП на людину. У висновку саме завдяки автоматизації і роботизації людина може працювати всього 40 годин на тиждень, споживаючи, при цьому, багато благ цивілізації. На даний момент робот виконує найрізноманітніші роботи і завдання, такі як звичайне переміщення вантажів, а також складні технологічні операції. В даній дисертації розглядається роботи, що будуть забезпечувати переміщення вантажу по складському приміщенню компанії[11].

Особливими рисами товарів є:

- дуже широка номенклатура;
- значний добовий потік товарів.

Ці передумови призводять до необхідної автоматизації роботи складу, що можуть бути реалізовані з застосуванням роботизованих систем. Така система повинна забезпечувати безперервну роботу складських роботів по складу так, як кожен робот виконує свою функцію прописаною програмою. При цьому цей алгоритм є циклічним і відбувається цілодобово. Для визначення маршруту та переміщення потрібного товару, використовуються QR код, які розміщено на упаковці товару. Система управління вказує роботу QR код з якого робот повинен перемістити вантаж на визначений стелаж чи полку. Роботи транспортери перевозять товар згідно системи по визначеному маршруту нанесеному на підлозі. Для зчитування QR коду в роботів вмонтовано оптичний зчитувач[13].

Розроблювана роботизована система має містити вимірювання таких параметрів, як маса та відстань. Вимірювання маси пов'язано з визначенням швидкості руху. Для вимірювання маси використовується тензодатчик за допомогою нього можна визначити можливість переміщення робота по заданому маршруту, а також обрати оптимальну швидкість для комфортного переміщення (в даному випадку:  $m=0$  кг,  $v=6$  км/год;  $m>0$  кг,  $v=1.3$  км/год). Похибка вимірювань каналу маси становить всього 0,5%. Для вимірювання ж відстані використовується ультразвук. Це забезпечує безпечне переміщення роботів по складському приміщенні, тобто запобігає зіткненню роботів між собою та стелажми. Похибка якого становить всього 2%. Ці два модулі передають інформацію до системи управління, яка в свою чергу корегує їхнє подальше переміщення по складу, задає маршрути роботам[14].

### Прогноз і статистика

Автоматизування складів йде високими темпами, що представлено на рисунку 1.2, немає сумнівів, що в найближчі роки кількість вакансій на дану роботу зменшиться для людей.

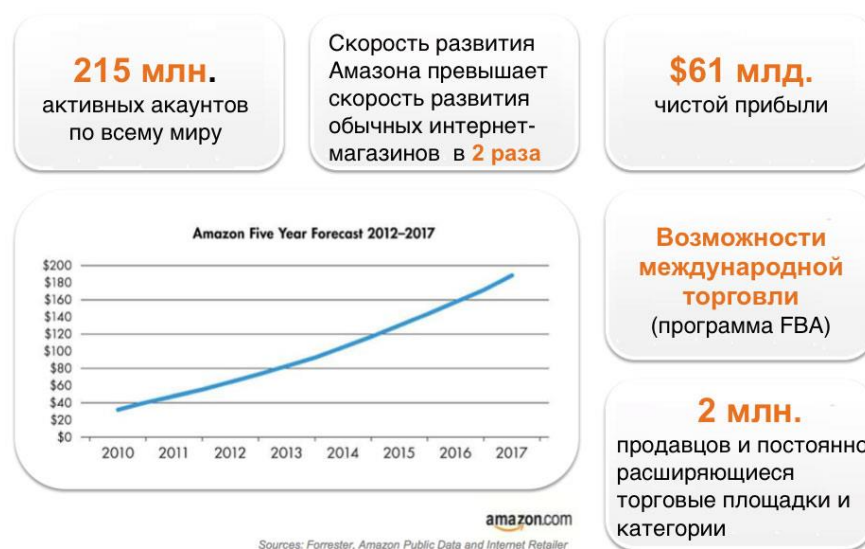


Рисунок 1.2 – Статистика прибутку компанії Amazon

У США же автоматизація у продуктовому середовищі йде дуже повільно, тільки на середину 2016 року було автоматизовано не більше 8% від розподілених центрів.

## Практичне застосування

У березні 2012 року, вимагаючи максимально ефективно використовувати свої центри дистрибуції (DCs), компанія Amazon придбала компанію Kiva Systems, на суму 775 мільйонів доларів[16].

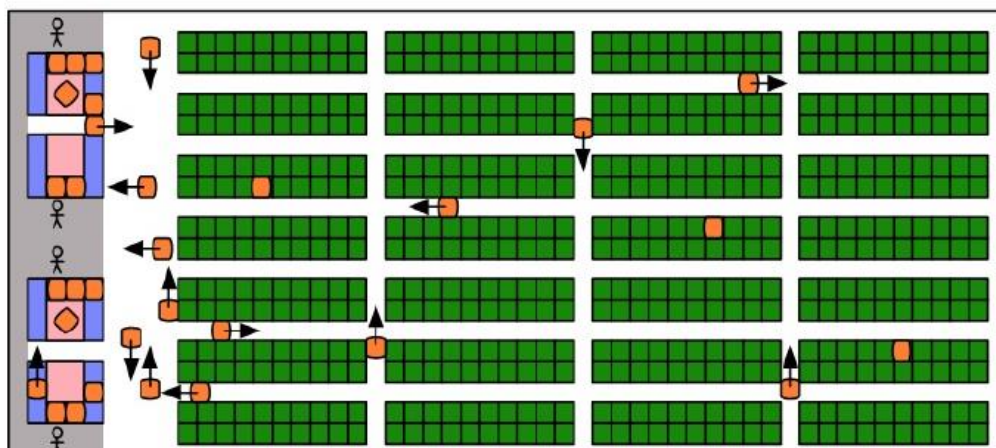


Рисунок 1.3 – Автоматизований склад Kiva Systems

Роботи, які займаються транспортуванням замовлень на складах компанії Amazon виявилися у 4-5 разів ефективнішими за співробітників компанії, які працюють на складі. Операції, що виконуються людиною становлять 60-75 хвилин, робот може виконати за 15. Про це повідомляє Business Insider з посиланням на звіт Deutsche Bank.

В кінці 2014 року компанія Amazon почала користуватися 15 000 роботами на 10 складах, а через рік вже 30 000 роботами які були задіяні на 13 складах компанії.

Після придбання з'явилася плутанина, чи буде компанія Kiva продовжувати надавати DCs свої послуги. Хоча власник компанії заявив, що вони будуть продовжувати продавати свою технологію, представлену на рисунку 1.4, іншим роздрібним торговцям, незабаром з'ясувалося, що Amazon купила не тільки всю продукцію компанії Kiva, а й те що компанія в майбутньому взагалі перестане підтримувати свою існуючу клієнтську базу і повністю зосередиться на Amazon, що сталося в квітні 2015, коли компанія Amazon перейменувала Kiva в Amazon Robotics, і визначила, що технології Amazon Robotics та Amazon Services, будуть забезпечувати роботами лише склади Amazon.

Отже, було утворено суперечку між новими провайдерами, і щоб заповнити порожнечу, що залишилася від технології компанії Kiva, складських програмних систем та роботів, які вилучилися з ринку. Було продемонстровано багато стартапів своєї робототехнічної системи в MODEX 2016, що проходила у Світовому конгресному центрі Грузії в Атланті. MODEX - це велике об'єднання ярмарок на яких було продемонстровано системи для обробки матеріалу, технології та методи. MODEX складався з 850 експонентів, мав 250 000 м<sup>2</sup>(23 225 м<sup>2</sup>) простору, та включав 100 інформаційних семінарів та понад 25 000 відвідувачів.

Роботи та система керування запасами компанії Kiva були проривними технологіями у 2011 та 2012 роках, завдяки чому предмети, які повинні були бути відправлені, повинні були бути доставлені до пакувальника до дверей вантажівки замість більш традиційного способу збирання, пакувальника на склад, підбираючи товари, і повертаючись, щоб упакувати і відправити їх. У той час, коли компанія Kiva розпочала операції робототехнічного підбору це було ще передчасною наукою. Компанія Kiva зосередилася на управлінні іншим процесом: прийомом, депалетуванням та зберіганням предметів та поставки динамічно збережених полиць із замовленими предметами для збирача / пакувальника для збору, пакування та відправки, в цей час робот повертав полиці до найбільш відповідних зон у вільних місцях динамічного складу і після чого автоматично переходив виконувати нові операції, щоб довести наступну полку до іншого збирача / пакувальника.

Незважаючи на те, що система зору та технології захоплення з того часу були вдосконалені, вони все ще не є достатньо швидкими та достатньо гнучкими, щоб замінити людей таким чином. Замість цього більшість нових систем намагаються збільшити кількість людей, зменшуючи їхні транспортні витрати та відстані, які вони повинні подолати, щоб отримати предмети, які були замовлені.

Робот компанії Kiva є квадратною конструкцією на колесах, висотою 40 сантиметрів і вагою приблизно 130 кілограмів. Він пересувається зі швидкістю приблизно 7,5 кілометрів на годину і здатний перевозити вантажі вагою близько 280 кілограмів. За рахунок роботів Amazon можна не тільки скоротити час на

транспортування замовлень, а й заощадити місце в приміщеннях. На складах, де задіяні роботи, можна розмістити на 50 відсотків більше товарів в порівнянні з тими, де працюють люди[17].

Автоматизація складів в період з 2017 по 2022 піде високими темпами, демонструючи середньорічний ріст в 11,8%. До кінця періоду обсяг ринку зросте до \$ 4.44 млрд - прогнозує Markets and Markets Research Pvt. Ltd.

У звіті Deutsche Bank говориться, що роботи дозволили знизити операційні витрати кожного складу приблизно на 20 відсотків (22 мільйони доларів). За оцінками фахівців Deutsche Bank якщо Amazon задіє роботів на всіх 110 складах, вони дозволять компанії заощадити близько 2,5 мільярдів доларів. Незважаючи на те, що установка роботів в кожному складі обійдеться в 15-20 мільйонів доларів, одноразова економія складе близько 800 мільйонів.

Подібні системи:

- Iam Robotics, запуск Pittsburgh, заснований парою CMU grads, є єдиним постачальником, який використовує робо-руку для роботи з товарами. Він сканує 3D та ідентифікує елементи, які потрібно вибирати у хмарну бібліотеку, а потім використовує мобільний робот-збирач, щоб перейти до предметів і помістити їх, на піддон, а потім додати закінчено зібраний піддон з матеріалами до найближчого конвеєра до пакувальної станції.

- Компанія Locus Robotics, штаб-квартира в штаті Массачусетс, заснована спеціально у відповідь на ситуацію в компанії Kiva, використовує флот роботів, інтегрованих у поточні системи управління складом, для забезпечення роботизованих платформ для транспортування відібраних предметів на конвеєр або на упаковку станцію таким чином зменшуючи дистанцію людини та покращуючи загальну ефективність вибору.

- 6 River Systems(штат Массачусетс), це компанія яка склалася з колишніх виконавців Kiva, мала стенд на конференції, але навіть не показала фотографій свого рішення. Проте VCs побачили в 6 River Systems потенціал і

оцінили її дуже високо, 6 River отримала лише 6 мільйонів доларів США у фінансуванні від групи VCs, включаючи iRobot.

- Magazino, німецький запуск, який не був у MODEX, має систему складського збору, яка має висувну та поворотну колонку з системою захвату для знімної полиці. Він здатний сприймати прямокутні предмети від маленьких м'яких покривів козушок до важких футлярів. Робот зберігає елементи у своїй вбудованій полиці та доставляє його до транспортної станції.

- GrayOrange, індійський запуск, який також не був у MODEX, має систему та продуктову лінійку, яка вражає схожа на оригінальні пропозиції компанії Kiva, за винятком того, що їхній робот квадратний, а Kiva - круглий. У компанії GreyOrange працює понад 300 співробітників, а його роботи забезпечують обслуговування гігантів електронної комерції в Індії Flipkart, Jabong і Mahindra, а також підписують договори з партнерами з продажу в Японії та в усій Азії та Тихому океані.

- InVia Robotics, також не був на MODEX, - запуск відбувся в Южній Каліфорнії з двома роботами, дуже схожими на Fetch Robotics, за винятком методу збирання InVia, подібний до Magazino's. Він захоплює елементи та переміщує їх на платформу, яка потім переміщує предмет у комірку, і, коли замовлення завершено, перетягує його автономно-мобільною доставкою.

- IoT. Традиційно одиниці зберігання переміщуються по складах і іншим розподільним центрам за допомогою конвеєрів або навантажувачів. Компанія розробила принципово новий підхід, при якому елементи зберігання знаходяться на спеціальних модулях і переміщуються рухомими роботами. При введенні замовлення в базу даних системи, програма знаходить найближчий транспортний робот і направляє його до модуля зберігання за допомогою штрих-кодів нанесених на підлозі складу. Зіткнення роботів виключаються за допомогою спеціальних датчиків. Після досягнення модуля зберігання, робот під'їжджає до нього захоплює та піднімає у транспортне положення. Потім вантаж переміщується в задалегідь визначене місце для подальшої ручної обробки. Компанія виготовляє дві моделі роботів: вантажопідйомністю 500 кг і понад 1 500 кг . Максимальна швидкість руху

роботів становить 1,3 м/с. Для зарядки акумуляторів потрібно п'ять хвилин раз на годину .

У порівнянні з традиційними методами складського транспорту, технологія Kiva забезпечувала більш високу ефективність і точність, в результаті чого цей новий підхід до автоматизації складських систем набуває популярності в різних галузях промисловості і сфери послуг.

Мобільні платформи;

1. Системи мобільних платформ призначені для роботи в різних середовищах - DCs, складах, фабриках , які можуть бути обладнані спеціальними корисними операціями, такими як прийом, відновлення, інвентаризація, переміщення матеріалу з робочої осередки до робочої осередки, збір , що допомагає збирати вантажі, пакувати та палетизувати. Багато постачальників надають перевагу візкам, підйомникам та буксирам, і це робиться вже багато років. Старі версії цих систем використовували маркування, стрічки, маяки, датчики та інші матеріали на підлозі та стелі, щоб надавати інформацію про місце розташування. Новітні системи використовують найновіші системи 3D-зору, що запобігає зіткненню та картографічне програмне забезпечення, щоб легко вмикати автономну навігацію між точками-точками.

2. Clearpath Robotics пропонує 2 транспортера один для важких вантажів до 3,300 фунтів, а інший - для легких навантажень до 220 фунтів представлено на рисунку 1.5. Обидва можуть бути оснащені транспортною кошиком, контейнером для вантажів або рівною плоскою пластиною, і обидва мають інтуїтивну систему освітлення, схожу на білі фари на передній панелі, та червоні – ззаду.



Рисунок 1.4 – Роботи Clearpath Robotics

Clearpath - це постійний постачальник робототехнічних допоміжних автомобілів для військових та наукових кіл, а також використовує цей досвід, щоб забезпечити надійні платформи мобільності для клієнтів, щоб забезпечувати високу перевагу над іншими платформами.

3. MiR Mobile Industrial Robots, датський запуск на чолі з Томасом Вісті (який був віце-прем'єр-міністром на «Всеросійських роботах зі славою про спільних роботів») почав продавати невеликий транспорт для логістики та охорони здоров'я. Він працює як буксир, так і платформа. Він має 2 сканери та 3D-камеру, щоб переконатися, що він бачить людей та перешкоди[22].

Висновки:

Під час виконання аналізу існуючих рішень було визначено, що система управлінням автоматизованим складом має виконувати такі завдання, як:

- активне управління складом;
- збільшення швидкості збору товару;
- отримання повної інформації про місце дислокації товару на складі;
- ефективне управління товаром, з обмеженим терміном придатності;

- отримання інструментів для підвищення ефективності та розвитку процесів;

- оптимальне використання складської площі.

Їх виконання можна забезпечити використовуючи на складі метод логістичного складування WMS. А також часткову роботизацію яка надасть складу такі можливості, як:

- виключення впливу шкідливих факторів на персонал на виробництвах з підвищеною небезпекою;

- досить швидка окупність.

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ОПИС СТРУКТУРНОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ

Структурна схема — схема, яка призначена для відображення загальної структури пристрою представлено на рисунку 2.1(Додаток 1), тобто його основних блоків, вузлів, частин та головних зв'язків між ними. Із структурної схеми зрозуміло, навіщо потрібний даний пристрій і як він працює в основних режимах роботи, як взаємодіють його частини.

В даній магістерській дисертації розроблена структурна схема системи управління автоматизованим складом, яка представлена на рисунку 2.1:

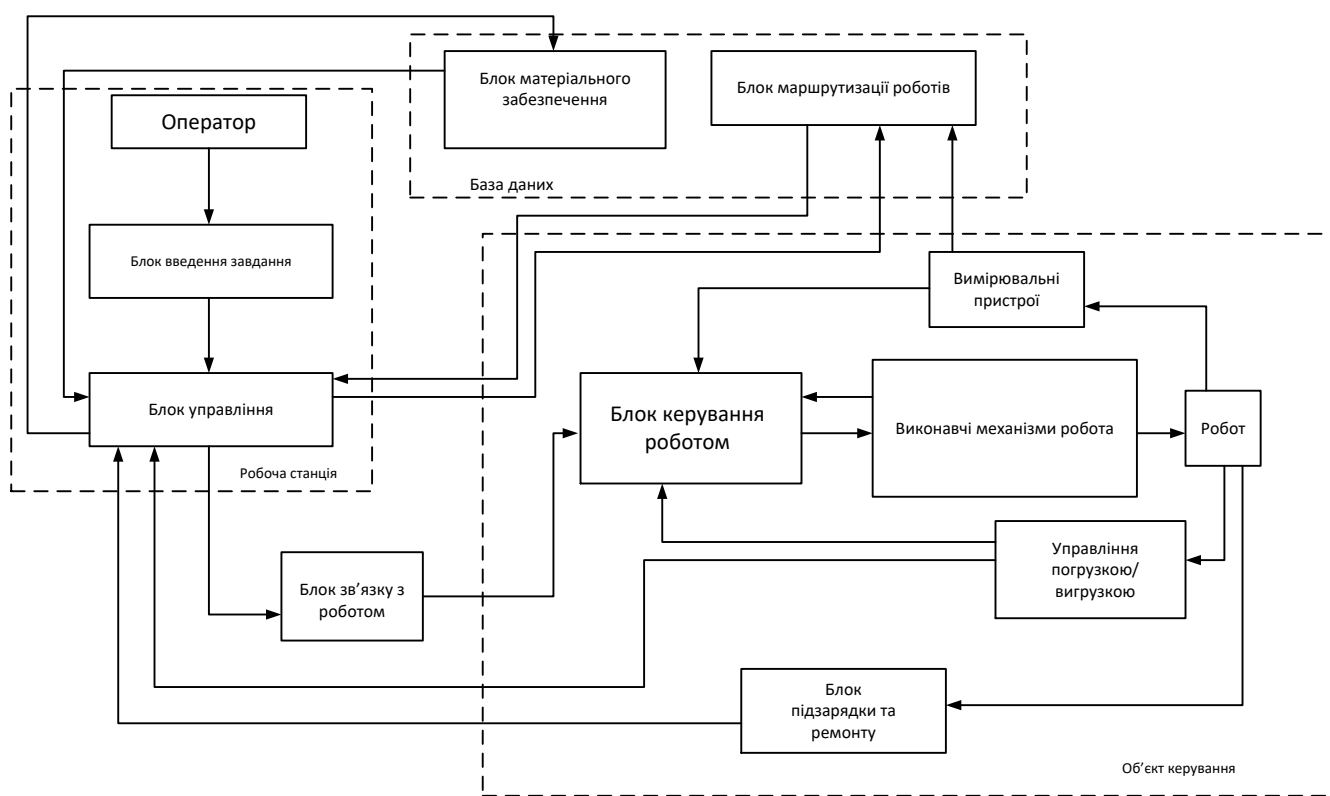


Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна

## 2.1 Опис структурної схеми системи управління автоматизованим складом

До складу структурної схеми системи управління автоматизованим складом входить:

1. Оператор – це блок за допомогою якого виконується дія, що дає початок роботи системи.
2. Блок введення завдання – це блок в який записується список продукції для транспортування до замовника.
3. Блок керування роботом – це блок, що керує всіма функціями робота такими як:
  - доставка;
  - завантаження продукції;
  - переміщення по складу;
  - передача даних на блок маршрутизації роботів.
4. Блок маршрутизації роботів – це блок, що має дані про точне положення транспортного робота, що дає змогу точно відтворювати позиціонування по складу. Цей блок має багато інструментів для визначення координат роботів таких, як: антена, оптичний датчик, зчитувач QR коду та інших.
5. Блок управління – це блок завдяки якому проводиться управління усім складом не тільки транспортними роботами, а й іншими пристроями які розташовані на складі.
6. Блок зв'язку з роботом – це блок, що взаємопов'язує складну систему управління всім складом та поодиноких роботів, що виконують складування.
7. Блок підзарядки та ремонту – це блок який виконує роль технічного обслуговування об'єкта керування.
8. Блок матеріального забезпечення – це база даних в якій записано всі місця, де знаходяться матеріали та їх основні параметри : кількість, вага, спосіб транспортування, координати на складі та інші.

9. Виконавчі пристрої – це блоки що мають в своєму складі всі рухомі частини робота основними з яких є : піднімальний поршень, електричний двигун та поворотні механізми
10. Робот – це умовно відокремлена частина системи, на яку впливає система керування для досягнення необхідного результату.
11. Управління завантаженням/вивантаженням – це блок який управляє процесам завантаження/вивантаження продукції на/з робот(а) серед основних функцій є визначення висоти підйому поршня(корзини) та визначення ваги вантажу.

Згідно структурної схеми система управління автоматизованим складом працює наступним чином:

На блок управління подається список матеріалів з блоку введення завдання, оператором. Для початку розглянемо процес перевезення однієї одиниці продукції зі списку. Дані про матеріали на складі знаходяться у блоці матеріального забезпечення. Блок управління подає сигнал про наявність та місце знаходження продукту на блок матеріального забезпечення звідки отримує повну інформацію про наявність, місце знаходження та параметри матеріалу.

Отримавши координати матеріалу, блок управління посилає сигнал на блок маршрутизації всіх роботів з якого отримує інформацію про вільних роботів та тих, які знаходяться найближче до матеріалу. Визначивши код робота та групу в якій він знаходиться, блок управління передає координати на робот через блок зв'язку з роботом про місце знаходження матеріалу.

Блок керування роботом отримавши сигнал про рух по координатам до продукту посилає сигнал на виконавчі механізми для виконання руху. Результати руху знімаються з блоку «Робот» вимірювальними пристроями, які фіксуються блоком керування роботом для навігації роботів в просторі на складі.

Під час руху з блоку «Робот» через блок вимірювальних пристроїв на блок маршрутизації роботів передаються дані про точне місце знаходження робота на складі, для корекції руху та підтримки стабільної роботи системи.

Закінчивши рух по координатам робот передає сигнал на блок «Управління погрузкою/вигрузкою, який в свою чергу передає сигнал, що даний робот готовий до завантаження продукції, на блок управління, який дізнається про знаходження робота з блоку маршрутизації роботів. Який в результаті передає сигнал про початок процесу завантаження продукції на блок керування роботом.

Блок керування роботом подає сигнал на виконавчі пристрої про початок роботи завантаження матеріалу на робота. Визначаючи висоту підйому піднімального поршня вимірювальними пристроями робот сигналізує про завершення процесу завантаження матеріалів на блок управління погрузкою/вигрузкою. При завершенні завантаження подається сигнал на блок управління, що завантаження було завершено.

Блок управління передає на блок керування роботом координати про місце знаходження оператора заявника на дані матеріали.

Отримавши координати блок керування передає керуючий сигнал про початок руху на виконавчі пристрої, з отриманих даних про масу вантажу з вимірювальних пристроїв, обмеживши максимальну швидкість. Також для підтримки балансування при виконанні поворотів робот зменшує швидкість руху.

Результати руху транспортного робота фіксуються вимірювальними пристроями, які перенаправляються блоку керування роботом для навігації роботів в просторі на складі.

Закінчивши рух по координатам, робот передає сигнал на блок «Управління погрузкою/вигрузкою, який в свою чергу передає сигнал, що даний робот готовий до вивантаження продукції, на блок управління. Блок управління сигналізує отримані дані оператору після чого передає сигнал на блок керування.

Блок керування роботом подає сигнал на виконавчі пристрої про початок роботи вивантаження матеріалу. Визначаючи висоту підйому піднімального поршня вимірювальними пристроями, робот сигналізує про завершення процесу вивантаження продукції на блок управління погрузкою/вигрузкою. При завершенні вивантаження подається сигнал на блок управління, що вивантаження було

завершено. Після чого робот повертає стелаж з матеріалами на початкове місце з перших координат.

Після виконаних операцій робот переходить в автономний режим, в якому співпрацює з блоком підзарядки та ремонту для підтримки стабільної роботи складу.

## 2.2 Опис функціональної схеми системи управління автоматизованим складом

В даній магістерській дисертації була розроблена функціональна схема системи управління автоматизованим складом. На функціональній схемі представленої на рисунку 2.2(Додаток 2) зображені пристрої, що виконують певні операції та зв'язки між ними, по яким передаються дані у аналоговому та цифровому вигляді.

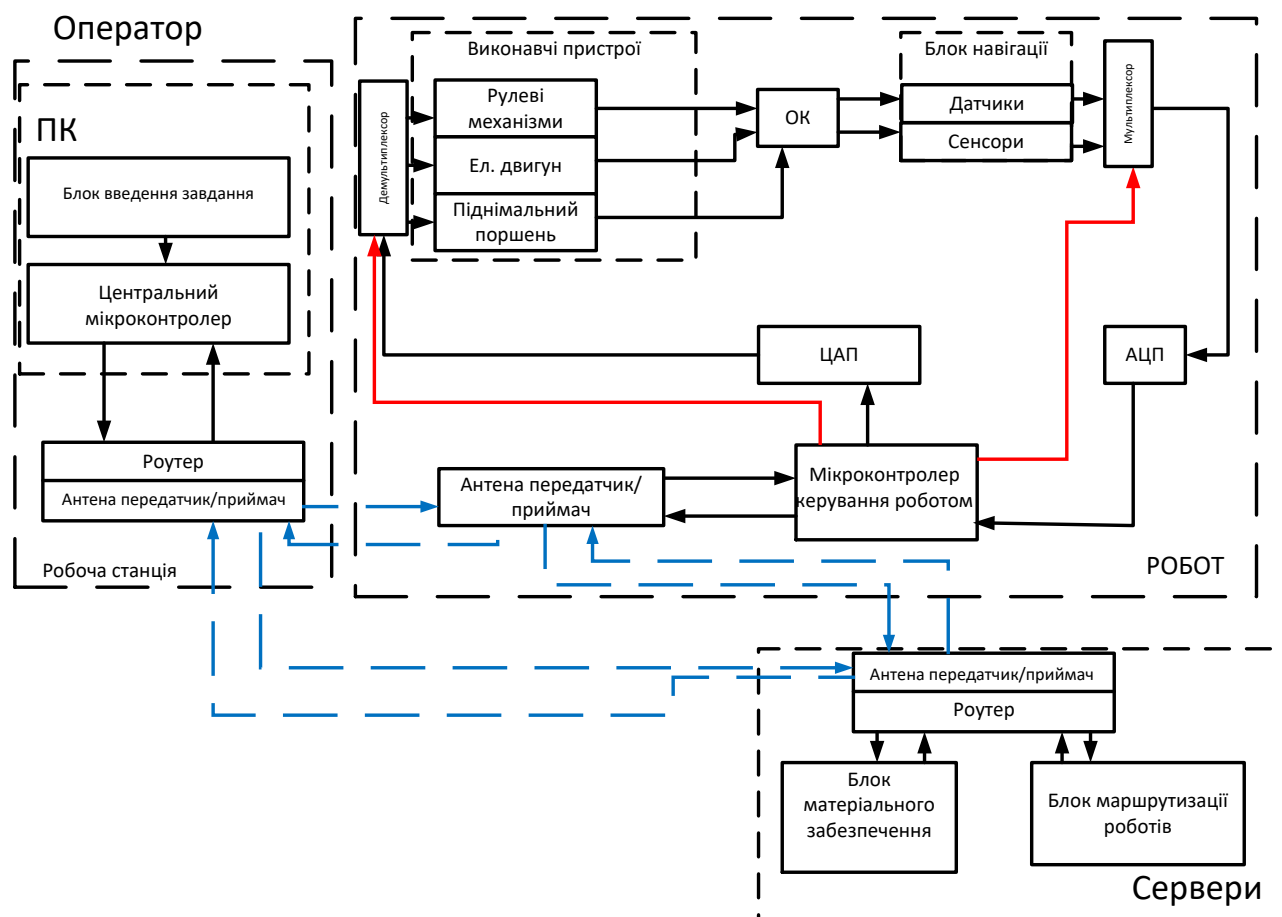


Рисунок 2.2 – Схема електрична функціональна

До складу функціональної схеми системи управління автоматизованим складом входять основні елементи:

1) Блок введення завдання – це блок, в який записується список матеріалів для транспортування до замовника.

2) Центральний мікроконтролер – це блок який виконую управління усіма частинами системи складського господарства, які розташовані на складі.

3) Персональний комп'ютер(ПК) – це відокремлена функціональна частина до якої входять: Блок введення завдання та Центральний мікроконтролер.

4) Роутер зі антеною – це електронний пристрій, що використовується для поєднання двох або більше мереж та керує процесом маршрутизації.

5) Робоча станція – це відокремлена функціональна частина до якої входять ПК та роутер з персональним діапазоном частот передачі даних, на різні групи робіт.

6) Виконавчі пристрої – це всі механічні частини робота:

- Рулеві механізми – це пристрої зміни курсу робота при натисканні до перепони чи іншого робота

- Електричний двигун – це основна частина робота яка виконує функцію руху на складі з її допомогою можна збільшувати, а зменшувати швидкість пересування змінюючи потужність .

- Піднімальний поршень – це погрузочна частина робота для підняття вантажу та його транспортування.

7) Блок навігації - це блок, який визначає точне місце положення робота в просторі. До його складу інструментів входять : датчики та сенсори. Цей блок також виконує роль регулятора для виконання транспортування робота по складському приміщенню.

8) Об'єкт керування(ОК) – це умовно відокремлена частина системи з якої знімаються дані датчиками при впливі виконавчих пристроїв.

9) Мультиплексор – це блок який забезпечує передачу цифрової інформації, що надходить з кількох вхідних ліній зв'язку, на одну вихідну лінію.

Вибір вхідних ліній, інформація з якої надходить на вихід, здійснюється за допомогою керуючих сигналів, що надходять на адресні входи.

10) Демультіплексор – це блок який забезпечує передачу цифрової інформації, що надходить по одній лінії на одну з кількох вихідних ліній. Ця лінія вибирається за допомогою керуючих сигналів, що надходять на адресні входи схеми.

11) АЦП - пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в цифровий сигнал.

12) ЦАП - електронний пристрій для перетворення цифрового сигналу на аналоговий.

13) Мікроконтролер керування роботом – це блок, визначаючи сигнал помилки у процесі роботи системи керування, керує рухом складського робота.

14) Блок матеріального забезпечення - це блок, що має дані про точне положення матеріалу, має на увазі, що це база даних в якій записано всі місця, де знаходяться продукти та їх основні параметри : кількість, вага, спосіб транспортування та багато іншого.

15) Блок маршрутизації роботів - це блок, що має дані про точне положення транспортного робота, що дає змогу точно відтворювати складний курс поїздки по складу. Цей блок має багато інструментів для визначення координат роботів таких, як: антена, оптичний датчик ,зчитувач QR коду та інших.

Автоматизація складів йде високими темпами, немає сумнівів, що в найближчі роки залишиться мало вакансій для людей. Використання таких об'єктів, як: складобот в якого завантажується список матеріалів та автоматичну карту побудови маршруту до стелажів. Надає переваги на складах і складських системах, що характеризуються великою кількістю різних технологій, які використовуються для збереження і обробки товарів, спектр послуг автоматизації складу, що надаються.

Проте, ефективність їх роботи, незалежно від складських площ, об'єму товару, що зберігається, і технологій вимагає вирішення наступних завдань:

- ефективне використання складських площ, «адресне» зберігання товарів;
- оптимізація і автоматизація складу, розміщення товару відповідно до оптимальних для даного складу стратегій розміщення;
- мінімізація кількості непродуктивних операцій;
- ефективне управління вантажною технікою і людськими ресурсами;
- управління кількома складами як цілою складською системою;
- контроль терміну придатності товару;
- підвищення оборотності складу без збільшення людських і технічних ресурсів.

Сучасна концепція автоматизації складу передбачає аналіз товарного потоку і процесу, логістичного проектування і вибір рішення, оптимального з точки зору повернення інвестицій, за рівнем автоматизації складу залежно від типу оброблюваних товарів і вантажів, об'ємів товарних потоків.

На великому сучасному складі з величезною кількістю номенклатурних позицій і значним товарообігом кожен день виконуються сотні операцій, до швидкості виконання, яких надаються високі вимоги. Зазвичай, великі території складів призводять до надмірного втрату часу на зайве переміщення співробітників в разі використання паперової технології.

При великій номенклатурі співробітників складу важко запам'ятати розташування всіх запасів, що призводить до збільшення часу пошуку. Ще складнішою ситуацією стає при необхідності дотримуватися особливих умов зберігання. Навіть проста ідентифікація товару часто викликає складність через величезну кількість найменувань, схожих між собою, та розбіжностей їх написання в документах, на товарі або упаковці. І це лише частина проблем, звертаючи увагу на які, можна стверджувати, що організація ефективної роботи на великому складі просто неможлива без використання автоматичних інформаційних систем управління.

Тому згідно функціональної схеми системи управління атоматизованим складом роботу одного з основних елементів атоматизованого складу – транспортного робота можна розділити на три функції(алгоритми):

- Позиціонування
- Завантаження
- Доставка

Розглянемо кожну з них.

### 3 ОПИС АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ

#### 3.1 Алгоритм «Позиціонування»

На рисунку 3.1(Додаток 3) зображено алгоритм позиціонування транспортного робота у просторі атоматизованого складу:

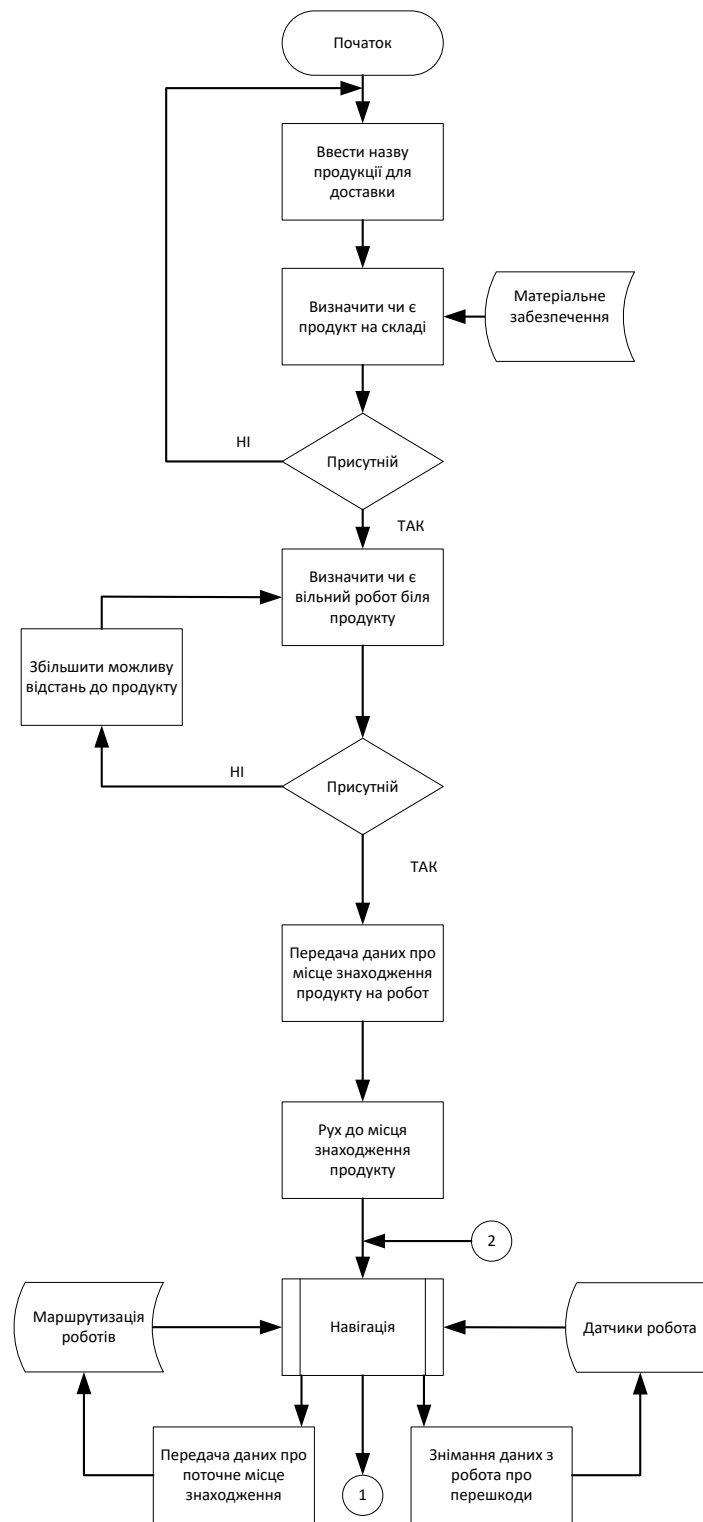
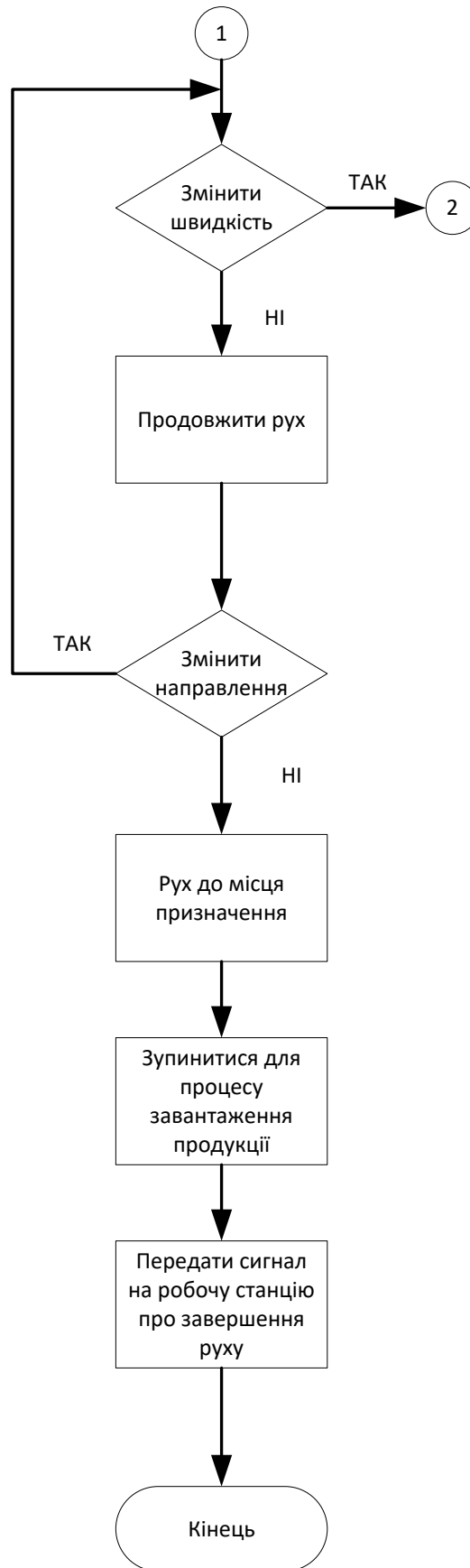


Рисунок 3.1 – Позиціонування



Продовження рисунка 3.1 – Позиціонування

Початок роботи сигналізується записом матеріалів для доставки, після чого одразу виконується операція по визначенню чи є матеріал на складі з матеріального забезпечення, де записано місце знаходження та наявність матеріалів.

В результаті виконаних дій якщо на складі є дана продукція, тоді проводиться процес пошуку робота для доставки. Якщо ж продукту немає система сигналізує оператора про відсутність та очікує поки оператор не введе назву іншого матеріалу.

Визначення вільного робота виконується на різних частотах, як зазвичай роботи діляться на підгрупи, що працюють на визначеному діапазоні частот. Якщо найближчий робот зайнятий система збільшує можливу відстань до матеріалу чим забезпечують збільшення можливості знайти вільного робота.

Після визначення вільного робота йому передаються координати про місце знаходження продукту і транспортний робот починає рух до точки визначення.

Навігація руху робота виконується на основі таких дій:

- Навігатор отримує дані з датчиків робота та маршрутизації роботів.
- Почавши рух, робот визначає швидкість та можливі перешкоди. Ці дані знімаються датчиками робота.
- Коли виникає перепона робот сигналізує про поворот в результаті чого змінюється швидкість.
- Щоб не зіткнутися з іншими роботами, робот передає дані про своє місце знаходження на маршрутизатор роботів.

Виконавши рух до місця призначення робот зупиняється для початку завантаження матеріалів.

Після чого передається сигнал на робочу станцію про завершення руху до місця призначення та робот може розпочати процес завантаження продукції та його доставки на місце призначення.

### 3.2 Алгоритм «Завантаження» 3.3

Алгоритм «Завантаження» представлено на рисунку 3.2(Додаток 4):



Рисунок 3.2 – Завантаження



### Продовження рисунку 3.2 – Завантаження

Отримавши сигнал «Початок завантаження» робот починає відпрацьовувати заданий функціонал.

Запускається процес завантаження продукції, при цьому піднімається поршень завантаження, використовується контроль таких параметрів:

- достатня висота для пересування
- достатня висота для підтримання максимальної швидкості
- стабільність конструкції

Коли поршень вийшов на висоту, що задовольняє всім параметрам починається процес визначення основних параметрів вантажу в такій послідовності:

- визначення маси стелажу
- визначення максимально допустимої швидкості пересування.

Після чого передається сигнал, що вантаж може бути доставлений оператору при визначеній швидкості(для корегування маршрутизації інших роботів),

Після чого в кінці роботи алгоритму робот буде очікувати на сигнал з даними координат місця доставки.

## 3.3 Алгоритм «Доставка»

Алгоритм «Доставка» представлено на рисунку 3.3(Додаток 5):

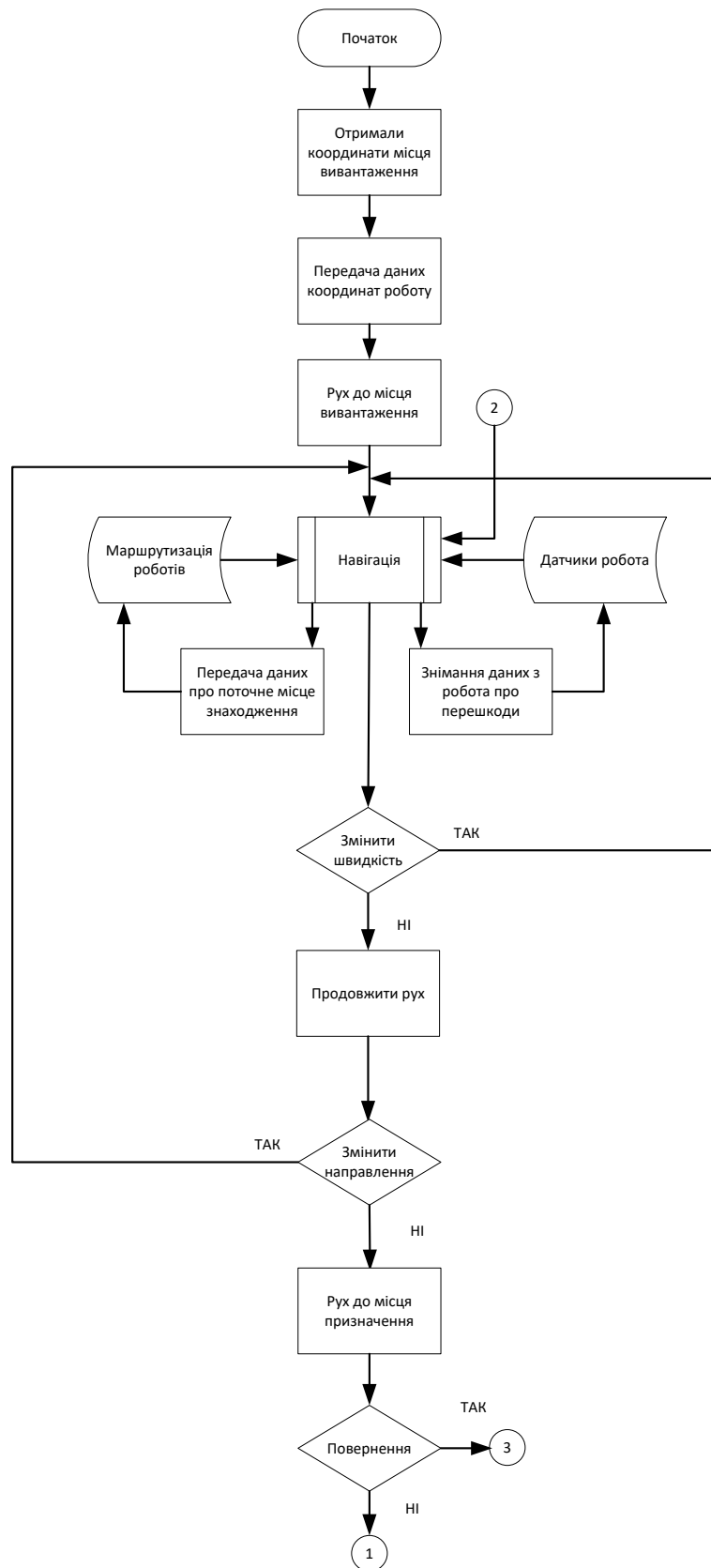
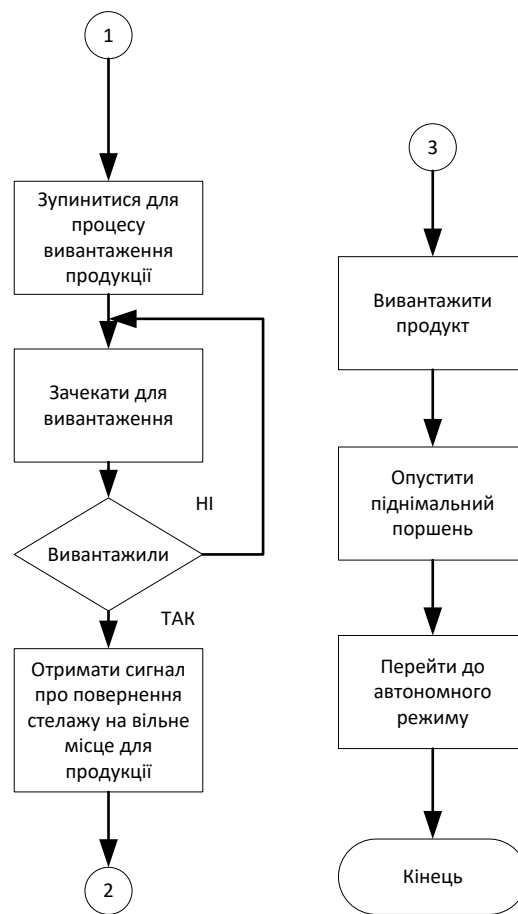


Рисунок 3.3 – Доставка



Продовження рисунку 3.3 – Доставка

Початок роботи алгоритму «Доставка» є отримання сигналу з координатами місця вивантаження матеріалу(оператора) представлено на рисунку 3.3, після чого ці дані передаються на навігаційну систему робота.

Навігація руху робота виконується на основі таких дій:

- Навігатор отримує дані з датчиків робота та маршрутизації роботів.
- Почавши рух робот визначає швидкість та можливі перешкоди ці дані знімаються датчиками робота.
- Коли виникає перепона робот сигналізує про поворот в результаті чого змінюється швидкість.
- Щоб не зіткнутися з іншими роботами, робот передає дані про своє місце знаходження на маршрутизатор роботів.

Виконавши рух до місця призначення робот зупиняється для початку вивантаження матеріалів.

В місці вивантаження система керування очікує поки оператор візьме необхідний матеріал та впише цей процес в головну систему(блок матеріального забезпечення).

Вивантаживши матеріали робот виконує операцію повернення стелажу на його місце або на будь-яке вільне яке відведено під стелажі, процес навігації.

Виконавши рух по координатам повернення стелажу робот розпочинає процес опускання піднімального поршня.

Закінчивши алгоритм доставки, робот переходить в автономний режим в якому має такі можливості:

- Підзарядка
- Ремонт
- Технічне обслуговування

#### 4 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

Для створення моделі системи управління рухом транспортного робота будуть використані розрахунки з теорії автоматичного управління. Для реалізації програмної частини моделі та для спрощення й уточнення розрахунків було використано програмний пакет Matlab з використанням доповнення Simulink.

Будемо розглядати складського робота з двома незалежними провідними колесами. Його математичні моделі, які передбачають рухом по горизонтальній площині, представлені в роботах [1, 6]. Їх аналіз дозволив зробити наступний висновок.

У представлених роботах [2, 5] в моделях не враховується динаміка електроприводів. Цього недоліку були позбавлені моделі з робіт [1, 4, 6]. Однак в цих моделях в недостатній мірі враховується вплив на рух робота результатів взаємодії цих коліс з опорною площиною. Більшою мірою облік впливу такого роду передбачається в моделі, запропонованої в роботі [3]. Але при цьому в ній не враховується зміна сил, яка виникає при русі робота уздовж криволінійних траєкторій, що діють на провідні колеса з боку опорної площини.

Вказана зміна сил нормальної реакції може свідчити про відрив ведучого колеса від опорної площини. Також воно може істотно впливати на динаміку робота при великих значеннях коефіцієнта тертя кочення[7].

Виходячи з викладеного, вважаємо за доцільне складання рівнянь руху робота, що враховують вплив моментів тертя кочення, прикладених до ведучих коліс, за умови зміни сил нормальної реакції опорної площини, обумовленого відпрацюванням криволінійних траєкторій. Висновок рівнянь руху робота зручно здійснювати на базі форми рівнянь Маджі для електромеханічних систем з неголономними зв'язками [6].

Для складання рівнянь руху розглядаються системи введемо такі системи координат рисунок. 4.1:

- нерухому система  $Oxyz$ , площина якої  $Oxy$  збігається з горизонтальним шорсткою площиною, по якій котяться колеса робота,
- рухому 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 шестернею редукторів вважаються рівними нулю;
  - в точці  $C_2$  платформа має абсолютно гладку опору;
  - робот рухається опорою вперед.

З урахуванням прийнятих припущень робот розглядається як система трьох абсолютно твердих тіл представлених на рисунку 4.1(Додаток б), одним з яких є платформа спільно з електродвигунами з редукторами (електроприводами), двома іншими - провідні колеса. Положення цих тіл в системі координат  $Oxyz$  визначається вектором узагальнених координат  $q_1 = |x \ y \ \psi \ \varphi_1 \ \varphi_2|^T$  де  $x, y$  - координати точки  $A$  (полюса робота) - середини відрізка, що з'єднує центри  $C_3, C_4$  ведучих коліс;  $\psi$  - кут повороту навколо вертикалі платформи, відлічуваний від осі  $Ox$ ;  $\varphi_1, \varphi_2$  - кути повороту ведучих коліс (з центрами в точках  $C_3$  і  $C_4$  відповідно) щодо горизонтальних осей. Так як розглянутий робот є електромеханічної системою, що містить два контури з струмами, вектор його узагальнених координат  $q = |x \ y \ \psi \ \varphi_1 \ \varphi_2 \ e_1 \ e_2|^T$  включає також заряди  $e_1, e_2$  такі, що  $i_1 = \dot{e}_1, i_2 = \dot{e}_2$  представляють собою струми в ланцюгах живлення електродвигунів.

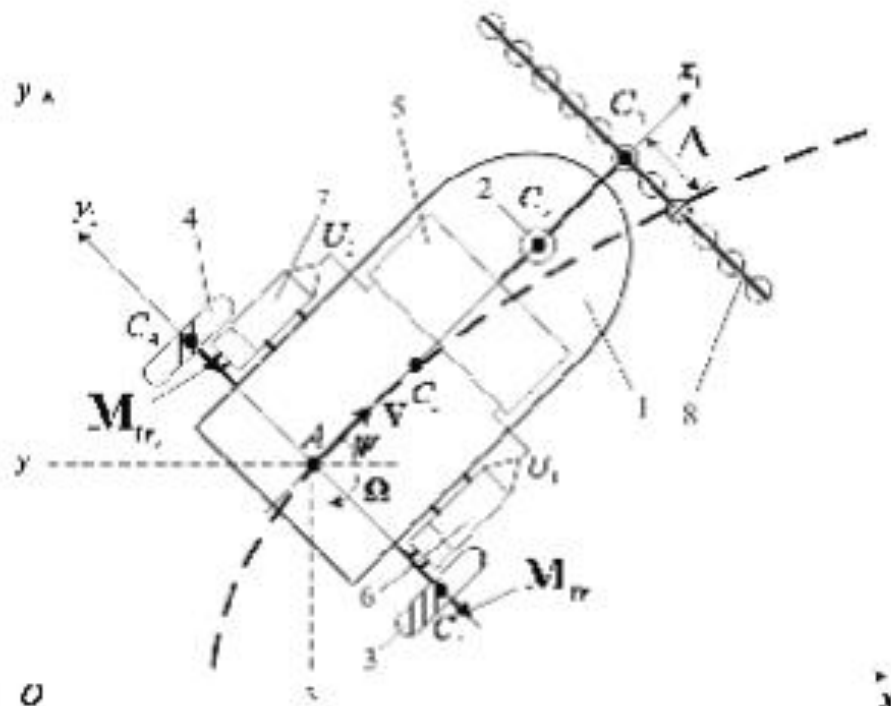


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема мобільного робота  
для виведення рівнянь руху

- 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:

$$\dot{q} = [\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{\psi} \quad \dot{\phi}_1 \quad \dot{\phi}_2 \quad \dot{e}_1 \quad \dot{e}_2]^T \quad (\text{точка позначає диференціювання за часом}).$$

Узагальнені швидкості задовольняють трьом рівнянням неголономних зв'язків:

$$\begin{cases} -\dot{x} \sin \psi + \dot{y} \cos \psi = 0, \\ \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi + l \dot{\psi} - r \dot{\phi}_1 = 0, \\ \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi - l \dot{\psi} - r \dot{\phi}_2 = 0, \end{cases} \quad (4.1)$$

де  $l = AC_3 = AC_4$  - половина відстані між провідними колесами;  $r$  - радіус провідних колес. Тому розглянутий мобільний робот має чотири ступені свободи, і вектор його псевдошвидкостей

$$\dot{\pi} = [V \quad \Omega \quad i_1 \quad i_2]^T \text{ включає елемент:}$$

- швидкість  $V = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi$  точки А,

- кутову швидкість платформи  $\Omega = \dot{\psi}$
- струми,  $i_1 = \dot{e}_1, i_2 = \dot{e}_2$  у зовнішніх колах електродвигунів.

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

$$\dot{q} = \frac{1}{r} \begin{pmatrix} r \cos \psi & 0 & 0 & 0 \\ r \sin \psi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 \\ 1 & l & 0 & 0 \\ 1 & -l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \end{pmatrix} \dot{\pi}, \quad (4.2)$$

Динамічні рівняння руху робота мають вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} m\dot{V} = \frac{nc}{r}(i_1 + i_2) + \frac{1}{r}(M_{f_1} + M_{f_2}) + m_1 a \Omega^2, \\ J\dot{\Omega} = \frac{ncl}{r}(i_1 - i_2) + \frac{l}{r}(M_{f_1} + M_{f_2}) - m_1 a V \Omega \\ L \frac{di_1}{dt} + Ri_1 + \frac{nc}{r}(V + l\Omega) = U_1, \\ L \frac{di_2}{dt} + Ri_2 + \frac{nc}{r}(V - l\Omega) = U_2, \end{array} \right. , \quad (4.3)$$

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

$$J = J_1 + (m_1 + 2m_k)a^2 + 2\frac{J_y}{r^2}l^2; \quad (4.4)$$

де  $m_1$  – сумарна маса платформи і статорів електродвигунів;  $m_k$  – сумарна маса ведучого колеса і ротора електродвигуна;  $J_1$  – момент інерції робота щодо вертикальної осі, що проходить через його центр мас  $C_1$ ;  $J_y = J_{ky} + n^2 J_{ry}$  – "наведений" момент інерції колеса;  $J_{ky}$  – момент інерції колеса відносно горизонтальної осі;  $J_{ry}$  – момент інерції ротора електродвигуна;  $n$  – передавальне число редуктора;  $a = AC_1$  – відстань від точки А до центру мас робота  $C_1$ ;  $c$  – коефіцієнт електромеханічної взаємодії;  $M_{f_1}, M_{f_2}$  – моменти тертя кочення;  $L$  – узагальнена індуктивність ланцюга

електродвигуна;  $R$  – омічний опір ланцюга ротора;  $U_1, U_2$  – керуючі напруги, прикладені до електродвигунів.

Спільно з рівняннями (4.2) рівняння (4.3) утворюють замкнену систему рівнянь для визначення узагальнених координат робота  $q$  і його псевдошвидкостей  $\dot{q}$ .

Значення  $M_{j_K}$  ( $K = 1, 2$ ) з рівнянь (4.3) визначаються наступним чином:

$$M_{j_K} = \begin{cases} -\delta N_K \operatorname{sign}(\dot{\varphi}_K), \dot{\varphi}_K \neq 0, \\ -nci_K, \dot{\varphi}_K = 0, |nci_K| \leq \delta N_K, \\ -\delta N_K \operatorname{sign}(i_K), \dot{\varphi}_K = 0, |nci_K| < \delta N_K, \end{cases}, \quad (4.5)$$

де  $\delta$  – 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  $\Phi_n$  – відцентрова сила інерції, яка визначається нормальним прискоренням  $a_n$ ;  $\Phi_\tau$  – сила інерції, яка визначається тангенціальним прискоренням  $a_\tau$ ;  $M_\varepsilon$  – момент інерції, який визначається прискоренням  $\dot{\Omega}$ ;  $M_{z_1}$  – рівнодіючих моментів  $M_\varepsilon$ , моментів, визначимими силами  $\Phi_n$  і  $\Phi_\tau$ , і моменту, визначається силами  $M_{j_1}/r$  і  $M_{j_2}/r$ ;  $G$  – вага робота;  $V_c$  – швидкість центру мас робота.

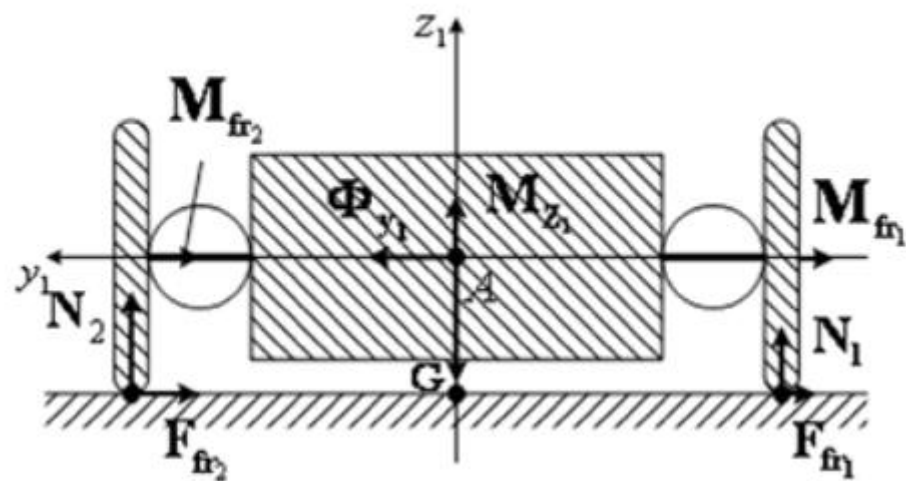
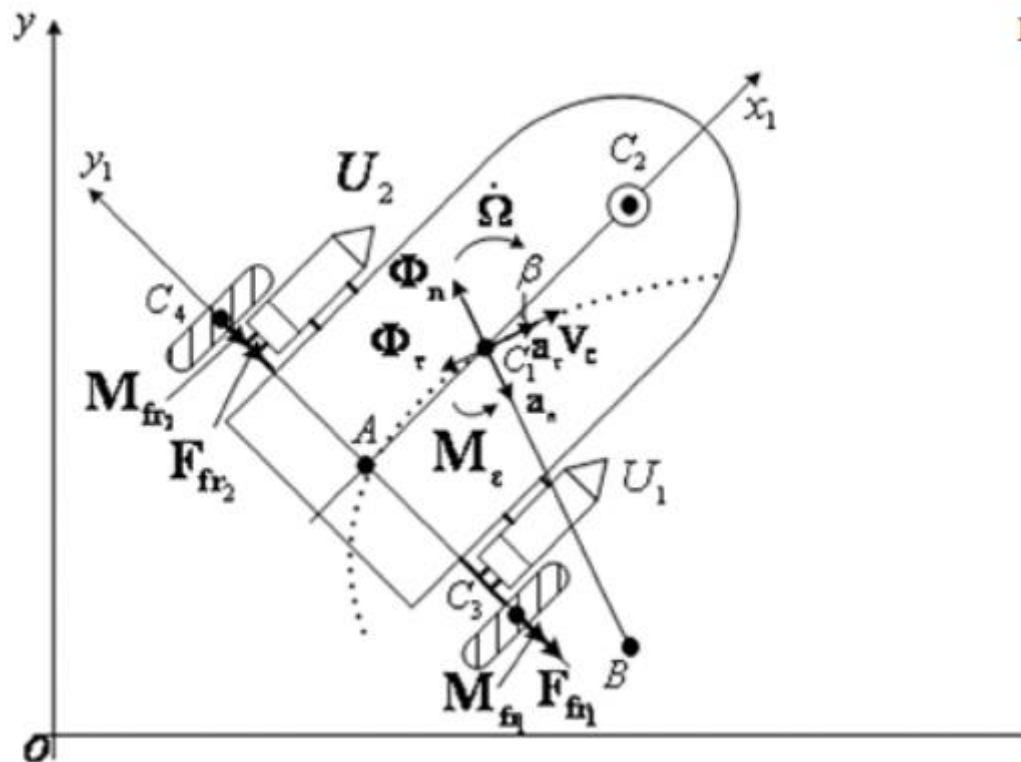


Рисунок 4.2 – Розрахункові схеми мобільного робота для визначення сил нормальної реакції шорсткою площині, що діють на провідні колеса

Рівнодіюча паралельних осі  $A_{y_1}$  складових сил  $\Phi_n$  і  $\Phi_\tau$ ,  $-\Phi_{y_1}$ , спільно з рівнодіюча сил тертя ковзання (при спокою)  $F_{fr_1}, F_{fr_2}$  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:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{m_1 + 2m_k}{2} \left( \frac{ga_1}{a + a_1} + \frac{r((V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \operatorname{sign}(\Omega) + \dot{\Omega} a \rho)}{l \rho} \right), \\ N_2 &= \frac{m_1 + 2m_k}{2} \left( \frac{ga_1}{a + a_1} + \frac{r((V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \operatorname{sign}(\Omega) + \dot{\Omega} a \rho)}{l \rho} \right), \end{aligned} \quad (4.6)$$

, де  $g$  – прискорення вільного падіння;  $a_1 = C_1 C_2$  – 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:

$$\rho = \frac{a}{|\sin \beta|}. \quad (4.7)$$

Значення кута  $\beta$  визначається зі співвідношення

$$\beta = \begin{cases} \frac{\pi}{2}, V = 0, \\ \operatorname{arctg} \left( \frac{\Omega a}{V} \right), V \neq 0. \end{cases}, \quad (4.8)$$

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

$$(m_1 + 2m_k) \left| \frac{(V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \operatorname{sign}(\Omega)}{\rho} + \dot{\Omega} a \right| < (N_1 + N_2) f, \quad (4.9)$$

, 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.

$$B^* \dot{q} = 0, \quad (4.10)$$

Матриця  $B$ , що входить в рівняння неголомних зв'язків, має вигляд

$$B = \begin{pmatrix} -\sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos \psi & \sin \psi & l & -r & 0 & 0 & 0 \\ \cos \psi & \sin \psi & -l & 0 & -r & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (4.11)$$

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

$$\begin{aligned} v_{p_{3y1}} = v_{p_{4y1}} = -\dot{x} \sin \psi + \dot{y} \cos \psi &= 0 \\ v_{p_{3y1}} = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi + l\dot{\psi} - r\dot{\phi}_3 &= 0 \quad . \\ v_{p_{4y1}} = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi - l\dot{\psi} - r\dot{\phi}_4 &= 0 \end{aligned} \quad (4.12)$$

Тоді розглядаємо електромеханічну систему яка має чотири ступення свободи і в якості компонента вектора псевдошвидкості  $\dot{\pi} = [V \quad \Omega \quad i_1 \quad i_2]^T$  зручно вибрати величину  $V = \dot{x} \cos \psi + \dot{y} \sin \psi$  швидкості точки А, кутову швидкість платформи  $\Omega = \dot{\psi}$ , точки  $i_1 = \dot{e}_1, i_2 = \dot{e}_2$  в зовнішніх ланцюгах електродвигуна. При цьому зв'язок між взаємопов'язаними і псевдошвидкостями визначається прямокутною матрицею  $H$ , так що:

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

$$H = \frac{1}{r} \begin{pmatrix} r \cos \psi & 0 & 0 & 0 \\ r \sin \psi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 \\ 1 & l & 0 & 0 \\ 1 & -l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \end{pmatrix}. \quad (4.13)$$

Рівняння в скалярній формі мають вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V \cos \psi, \\ \dot{y} &= V \sin \psi, \\ \dot{\psi} &= \Omega \\ \dot{\phi}_1 &= \frac{V + l\Omega}{r}, \quad . \\ \dot{\phi}_2 &= \frac{V - l\Omega}{r}, \\ \dot{e}_1 &= i_1, \\ \dot{e}_2 &= i_2. \end{aligned} \quad (4.14)$$

Кінетична енергія системи визначається наступним чином

$$2T = (m_1 + 2m_k)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - 2m_1a(\dot{x} \sin \psi - \dot{y} \cos \psi)\dot{\psi} + (m_1a^2 + J_1 + 2m_kl^2 + 2J_{kz})\dot{\psi}^2 + J_y(\dot{\phi}_3 + \dot{\phi}_4). \quad (4.15)$$

,  $m_1$  - маса платформи робота,  $m_k$  - сумарна маса колеса і ротора електродвигуна,  $J_1$  - момент інерції відповідно до вертикальної осі проходящої через центр мас С,  $J_{kz}$  - момент інерції відносно вертикальної осі,  $J_y = J_{ky} + n^2J_{ry}$  - приведений момент інерції колеса,  $J_{ky}$  - момент інерції відносно горизонтальної осі,  $J_{ry}$  - момент інерції ротора електродвигуна,  $n$  - передаточне число редуктора.

Магнітну енергію та дисипативну функцію задаємо у вигляді:

$$2W_m = L(\dot{e}_1^2 + \dot{e}_2^2) + 2cn(\varphi_3\dot{e}_1 + \varphi_4\dot{e}_2) \\ \psi = \frac{1}{2}R(\dot{e}_1^2 + \dot{e}_2^2). \quad (4.16)$$

, де  $L$  – індуктивність ланцюга електродвигуна,  $c$  – коефіцієнт електромеханічної взаємодії,  $R$  – опір ланцюга ротора.

Потенціальна і електрична енергія рівні нулю при цьому лагранжиан розглядаємої електромеханічної системи визначається тільки кінетичною та магнітною енергією:

$$2L = (m_1 + 2m_k)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - 2m_1a(\dot{x} \sin \psi - \dot{y} \cos \psi)\dot{\psi} + J_y(\dot{\phi}_3^2 + \dot{\phi}_4^2) \\ + (m_1a^2 + J_1 + 2m_kl^2 + 2J_{kz})\dot{\psi}^2 + L(i_1^2 + i_2^2) + 2cn\varphi_3i_1 + 2cn\varphi_4i_2. \quad (4.17)$$

Вектор узагальнених сил включає сторони ЕРС, прикладені до електродвигунів:

$$Q = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ U_1 \ U_2)^T. \quad (4.18)$$

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

$$m\dot{V} - m_1a\Omega^2 - \frac{nc}{r}(i_1 + i_2) = 0, \\ J\dot{\Omega} + m_1aV\Omega - \frac{ncl}{r}(i_1 - i_2) = 0, \\ L\frac{di_1}{dt} + Ri_1 + \frac{nc}{r}(V + l\Omega) = U_1, \\ L\frac{di_2}{dt} + Ri_2 + \frac{nc}{r}(V - l\Omega) = U_2. \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned} \text{, де } m &= m_1 + 2m_k + 2\frac{J_y}{r^2}; \\ J &= J_1 + J_{kz} + (m - m_1)l^2 + m_1a^2. \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{U_1}{R} - \frac{nc}{rR}(V + l\Omega) \\ i_2 &= \frac{U_2}{R} - \frac{nc}{rR}(V - l\Omega) \end{aligned} \quad (4.20)$$

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

$$\begin{aligned} m\dot{V} - m_0a\Omega^2 + \frac{2n^2c^2}{r^2R}V &= \frac{nc}{rR}(U_1 + U_2), \\ J\dot{\Omega} + m_0aV\Omega + \frac{2n^2c^2l^2}{r^2R}\Omega &= \frac{ncl}{rR}(U_1 - U_2). \end{aligned} \quad (4.21)$$

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

#### 4.1 Розроблення цифрової моделі системи керування транспортними роботами

Система забезпечення якості руху транспортного робота під дією завад є цифровою та дискретною за часом.

Для побудови системи потрібно виконати Z-перетворення передавальної функції загального виду, обчислити передавальну функцію приведеної безперервної частини[8,9].

Апарат Z-перетворення грає для цифрових систем ту ж роль, що і перетворення Лапласа для безперервних систем. Важливість методу Z-перетворення не слід недооцінювати, так як класичні методи аналізу і проектування систем управління завжди будуть представляти інтерес для практичного застосування.

Метод Z - перетворення пов'язаний з дискретним перетворенням Лапласа і впливає з нього.

При заміні деяких значень у формулі дискретного перетворення Лапласа отримуємо таку формулу:

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f[n]z^{-n} \quad (4.22)$$

Хоча метод Z - перетворення є зручним засобом аналізу цифрових систем, при його застосуванні необхідно враховувати наступне:

1. Z - перетворення базується на припущенні, що квантований сигнал являє собою послідовність імпульсів, площа яких дорівнює амплітуді вхідного сигналу в дискретні моменти часу. Це припущення справедливо тільки в тому випадку, якщо час квантування набагато менше визначальною постійної часу системи.

2. Z - перетворення вихідного сигналу лінійної системи визначає значення тимчасової функції вихідного сигналу в дискретні моменти часу і не містить інформацію між дискретними 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 помилковими.

Для визначення передавальної функції приведеної безперервної частини використаємо наступну формулу:

$$W_{\text{диск}}(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \frac{W(s)}{s} \right\} \quad (4.23)$$

Виконаємо аналітичне Z -перетворення передавальної функції.

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

T=0.15 – час квантування.

Згідно формули (4.23) 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 виконанні розрахунки за допомогою пакету Matlab визнаємо їх повну ідентичність[10].

## 4.2 Аналіз стійкості та якості цифрової системи управління рухом

Стійкість - це властивість САУ повертатися в заданий або близький до нього сталий режим після всякого виходу з нього в результаті якого-небудь впливу.

Загальний алгоритм дослідження стійкості полягає у знаходженні коренів характеристичного рівняння замкнутої цифрової системи.

Для аналізу стійкості знаходимо передавальну функцію замкнутої цифрової системи:

$$W_3(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)} \quad (4.24)$$

Знаменник  $W_3(z)$  є характеристичне рівняння замкнутої системи та позначається як  $D(z)$ . Знаходимо корені рівняння  $D(z)=0, z_i, i = \overline{1, n}$ .  $n$  – порядок поліному  $D(z)$ . Умовою стійкості системи є

$$|z_i| < 1 \quad (4.25)$$

що відповідає розташуванню коренів характеристичного рівняння у колі одиничного радіусу на  $z$  - площині.

Передавальна функція приведеної безперервної частини:

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

За формулою (4.2) знаходимо передавальну функцію замкнутої цифрової системи:

$$W_3(z) = \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376} *$$

$$* \frac{1}{1 + \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.524z^3 + 4.697z^2 - 2.81z + 0.6376}} =$$

$$= \frac{0.01079z^3 + 0.03341z^2 - 0.02067z - 0.007416}{z^4 - 3.51321z^3 + 4.73041z^2 - 2.83067z + 0.630184}$$

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 (4.3) 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.

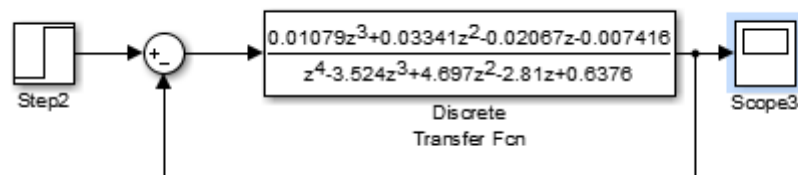


Рисунок 4.3 – Модель цифрової системи

Модель досліджуваної цифрової системи керування представлено на рисунку 4.3, а відповідний перехідний процес на рисунку 4.4:

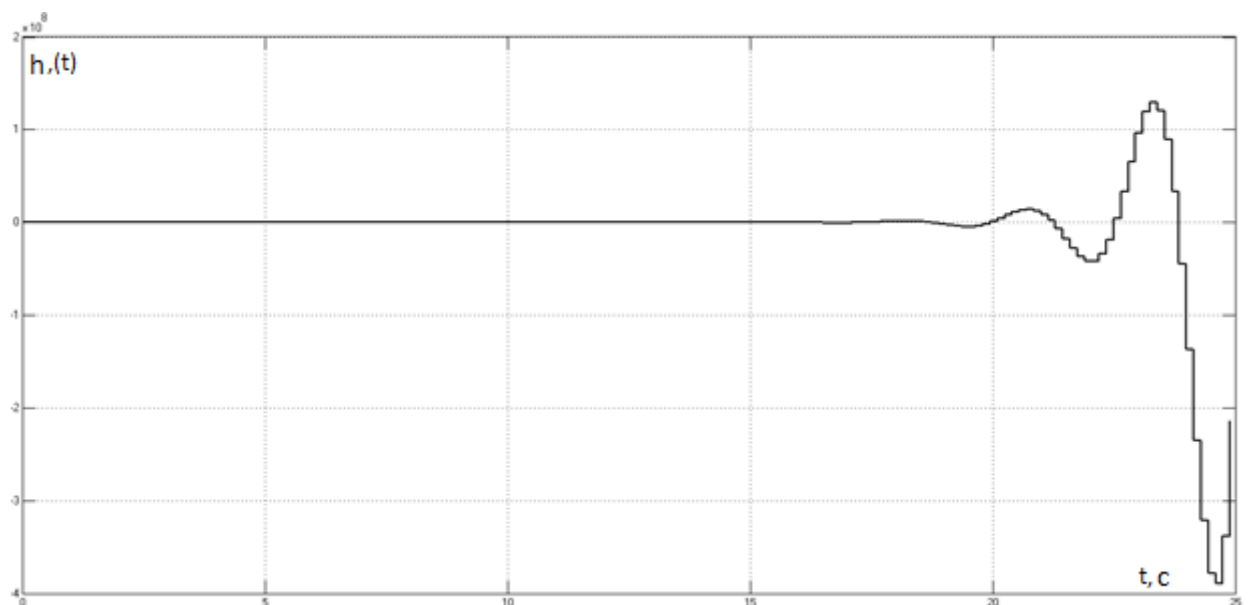


Рисунок 4.4 – Графік перехідної характеристики цифрової системи

Таким чином з графіку перехідної характеристики можна побачити, що наша система має не стійку структуру.

## Висновок

Як видно з перехідного процесу цифрова система керування рухом складського робота не стабільна, потрібно побудувати регулятор, який буде не тільки стабілізувати систему, а й забезпечувати необхідну якість перехідного процесу.

## 5 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

Метод змінних за станом використовується для синтезу систем керування, як для класу лінійних безперервних, так і для цифрових об'єктів керування. На теперішній час існує достатня кількість публікацій та модифікацій даного методу.

Однак, якщо для безперервних систем існують рекомендації по вибору бажаних коренів характеристичного рівняння, такі як: біноміальний стандартний розподіл або розподіл Баттерворта, то для цифрових систем чіткого аналітичного обґрунтування вибору бажаних характеристичних коренів не існує. Аналіз досліджень і публікацій дозволяє визначити основні шляхи удосконалення методу, а саме виведення аналітичних виразів для визначення бажаних коренів характеристичного рівняння, які забезпечують підвищення якості синтезованих систем керування[14,15].

Задача синтезу цифрової системи вирішується у наступній постановці. Структура цифрової системи керування передбачається заданою у вигляді моделлю передавальних функцій виду:

$$W(s) = \frac{K}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} \quad (5.1)$$

Будемо розглядати випадок одиничного управляючого впливу.

Об'єкт управління задовольняє умові повної керованості, тобто існує не вироджена матриця керованості  $P = (B \dots A^{(n-1)} B)$ , така що  $rank(P) = n$ . Задача обирає бажаних коренів характеристичного рівняння полягає в тому, щоб після синтезу регулятора забезпечити замкнутій системі задані динамічні характеристики. Розглянемо аналітичне рішення задачі знаходження бажаних коренів характеристичного рівняння для забезпечення нульових усталеної помилки та перерегулювання і скорочення часу перехідного процесу.

Як відомо, цифрова система є стійкою, коли корені характеристичного рівняння лежать в околі одиничного радіуса.

З системи рівнянь знаходимо бажані корені характеристичного рівняння замкнутої системи, які для одиничного стрибка забезпечують досліджуваній цифровій системі нульову сталу помилку та скорочення часу перехідного процесу.

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

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ b_{31} \\ b_{41} \end{pmatrix}; C = (c_{11} \quad c_{12} \quad c_{13} \quad c_{14}); \quad (5.2)$$

$$D = 0$$

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  $V_n$ :

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

$$V_n = \sum_{i=1}^m (c_{1i} N_i + \Delta_i (-1)^{i+1} - 1) \quad (5.3)$$

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

Проаналізувавши формули розрахунку отримуємо системи спряжених рівнянь:

$$\begin{cases} N_1 = b_{11} \\ N_2 = b_{11} \cdot a_{21} \\ N_3 = b_{11} \cdot a_{21} \cdot a_{32} \\ N_4 = b_{11} \cdot a_{21} \cdot a_{32} \cdot a_{43} \end{cases} \quad (5.4)$$

$$\begin{cases} V_1 = c_{11} \cdot N_1 + a_{11} - 1 \\ V_2 = c_{11} \cdot N_1 + c_{12} \cdot N_2 + a_{12} \cdot a_{21} + a_{11} - 1 \\ V_3 = c_{11} \cdot N_1 + c_{12} \cdot N_2 + c_{13} \cdot N_3 + a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32} + a_{12} \cdot a_{21} + a_{11} - 1 \\ V_4 = c_{11} \cdot N_1 + c_{12} \cdot N_2 + c_{13} \cdot N_3 + a_{14} \cdot a_{21} \cdot a_{43} + a_{13} \cdot a_{21} \cdot a_{32} + a_{12} \cdot a_{21} + a_{11} - 1 \end{cases} \quad (5.5)$$

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

$$\begin{cases} N_1 K_1 = V_1 \\ N_1 K_1 + N_2 K_2 = V_2 \\ N_1 K_1 + N_2 K_2 + N_3 K_3 = V_3 \\ N_1 K_1 + N_2 K_2 + N_3 K_3 + N_4 K_4 = V_4 \end{cases} \quad (5.6)$$

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

```
>>W=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.

```
>>T=0.15
```

```
>>W2=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 А, В, С.

```
>>ss(W2);
```

```
>>A=ans.a
```

$$A = \begin{pmatrix} 3.524 & -1.174 & 0.7026 & -0.3188 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \end{pmatrix}$$

```
>> B=ans.b
```

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

```
>> C=ans.c
```

$$C = (0.08635 \quad 0.06683 \quad -0.04133 \quad -0.02966)$$

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

```
>>P=ctrb(A,B)
```

```
>>rank(P)
```

$$P = \begin{pmatrix} 0.125 & 0.4405 & 0.9655 & 1.6848 \\ 0 & 0.5 & 1.7622 & 3.862 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1.7622 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 \end{pmatrix}$$

```
rank = 4
```

Об'єкт є повністю керованим.

Об'єкт управління задовольняє умові повної спостережуваності:

```
>>H=obsv(A,C)
```

```
>>rank(H)
```

$$H = \begin{pmatrix} 0.0863 & 0.0668 & -0.0413 & -0.0297 \\ 0.5716 & -0.1427 & 0.0458 & -0.0275 \\ 1.4437 & -0.6254 & 0.3879 & -0.1822 \\ 2.5865 & -1.3075 & 0.9232 & -0.4603 \end{pmatrix}$$

```
rank = 4
```

Об'єкт є повністю спостережуваним.

Розрахуємо значення  $N_n$  та  $V_n$ , і складемо систему рівнянь для перехідної функції четвертого порядку викладені в таблиці 5.1:

Таблиця 5.1 – 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:

```
>>K1=V1/N1
>>K2=(V2-N1*K1)/N2
>>K3=(V3-N1*K1-N2*K2)/N3
>>K4=(V4-N1*K1-N2*K2-N3*K3)/N4
```

Матриця зворотного зв'язку має вигляд:

$$K = (20.2812 \quad -9.3273 \quad 5.5794 \quad -2.5802)$$

Виконаємо моделювання отриманого регулятора представленого на рисунку 5.1(Додаток 7) в середовищі MatLab:

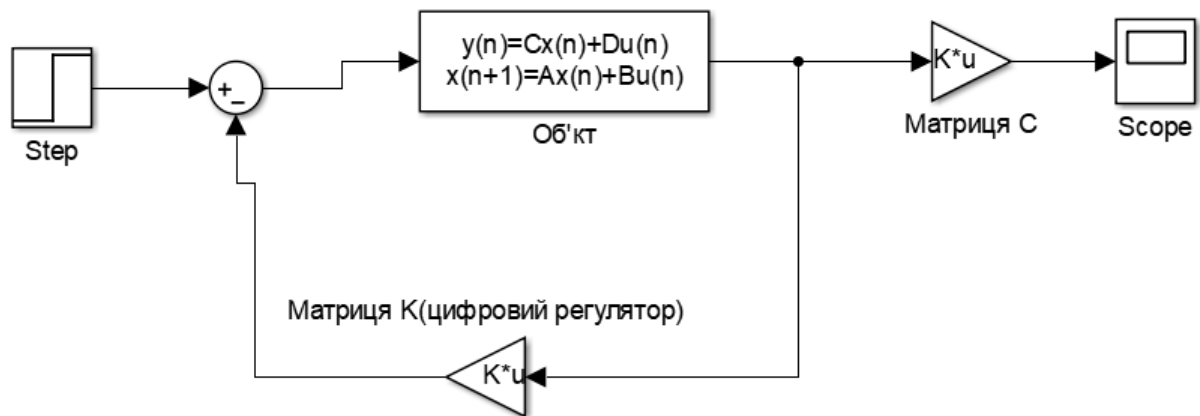


Рисунок 5.1 – Модель цифрової системи з регулятором

Результатом роботи регулятора є:

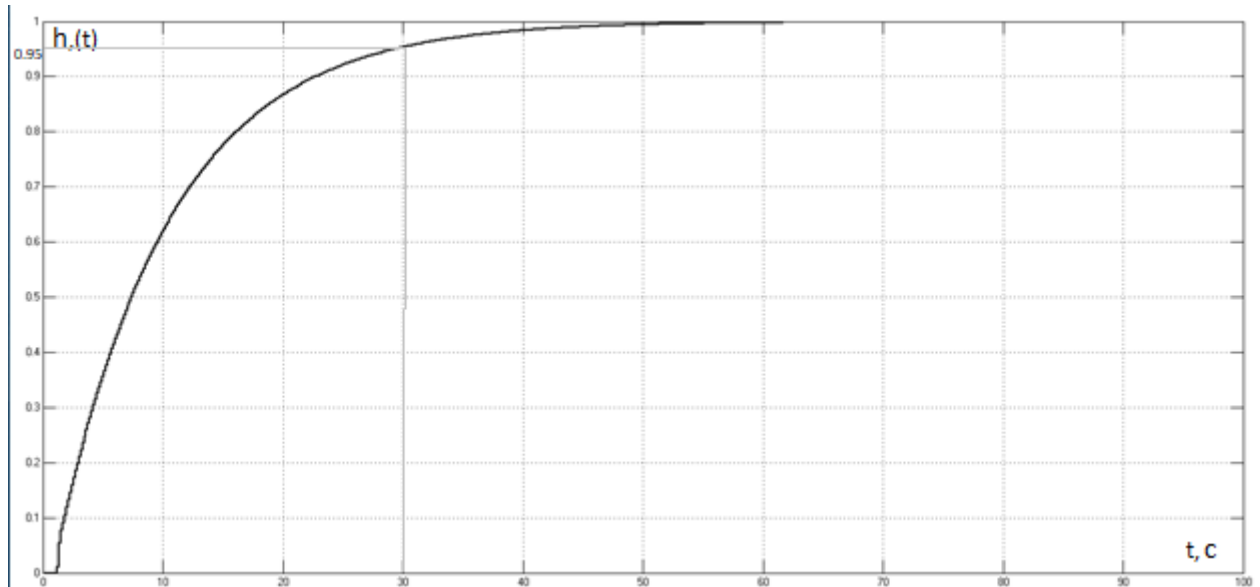


Рисунок 5.2 – Графік перехідного процесу системи з цифровим регулятором

Висновок:

З отриманих результатів представлених на рисунку 5.2 видно, що метод синтезу з використанням керування з заданим розташуванням полюсів забезпечує час регулювання в  $t_m = 30c$ , нульове перерегулювання та нульову помилку системи керування.

## 6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ РОБОТАМИ

Синтез моделі керування складським роботом у середовищі MATLAB представлено на рисунку 6.1(Додаток 8):

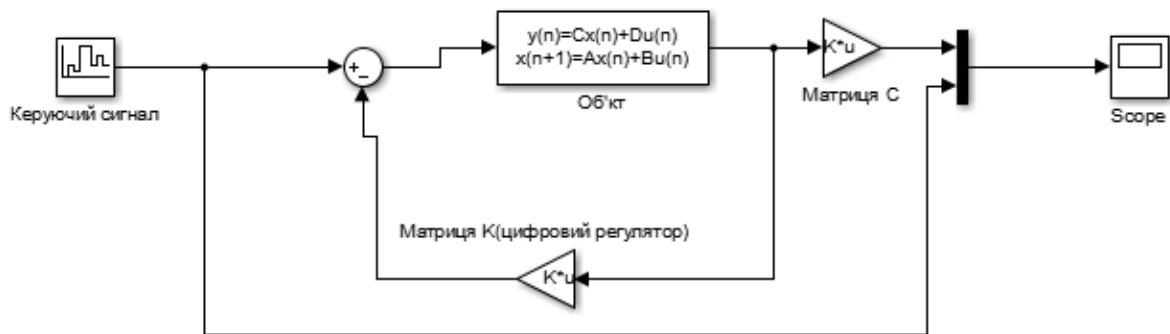


Рисунок 6.1 – Модель руху складського робота

Виконаємо аналіз кожного елементу моделі руху складського робота:

1. Керуючий сигнал представлено на рисунку 6.2:



Рисунок 6.2 – Repeating Sequence Stair

Розглянемо цей блок більш детально представлено на рисунку 6.3:

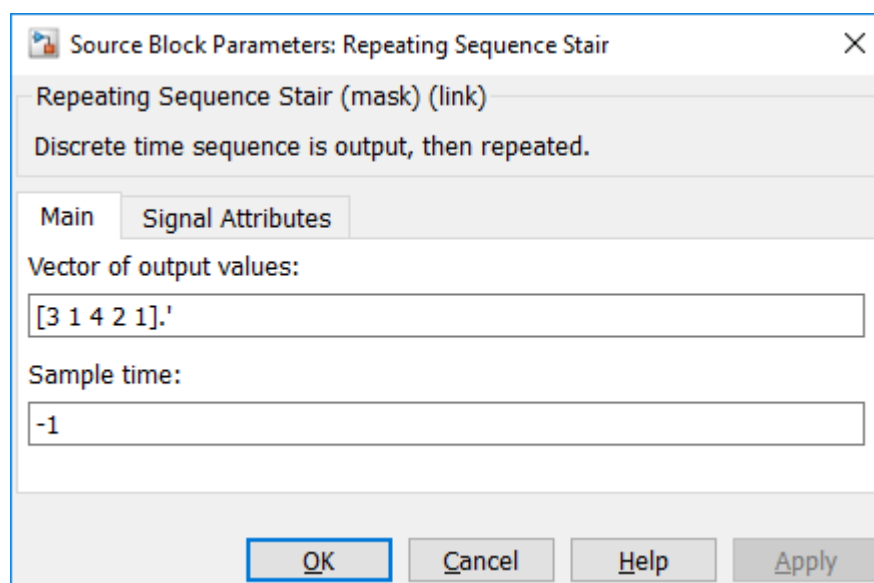


Рисунок 6.3 – Властивості Repeating Sequence Stair

В даній моделі цей блок виконує роль сигналу мікропроцесора, а саме сигналу керування роботом представлено на рисунку 6.4.

І має такий вигляд:

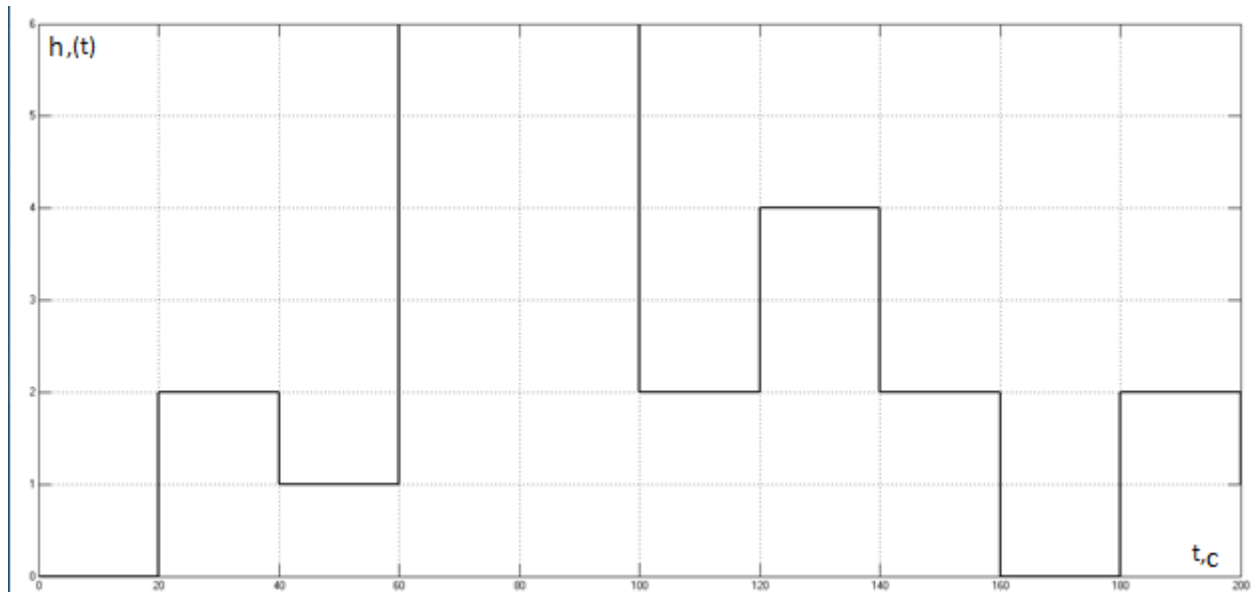


Рисунок 6.4 – Графік сигналу керування мікропроцесора

2. Об'єкт з регулятором представлено на рисунку 6.5:

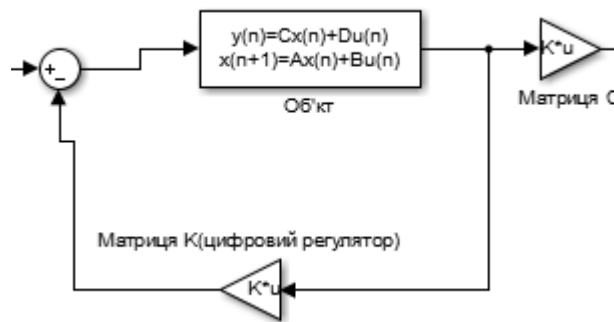


Рисунок 6.5 – Модель об'єкта керування

Модель об'єкта керування з регулятором складається з чотирьох частин:

- Суматор, враховує помилку керуваності
- Об'єкт – це векторно-матрична модель з такими матрицями як A, B та C.
- Регулятор - це матриця зворотного зв'язку за станом.

Виконаємо моделювання системи та визначимо її результати:

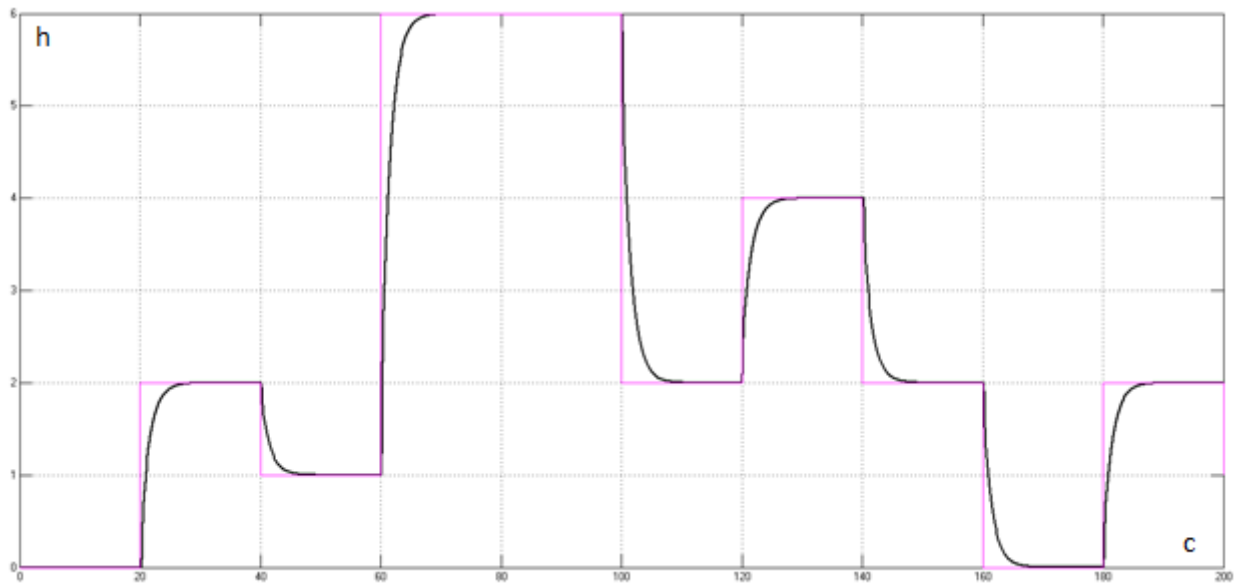


Рисунок 6.6 – Результат моделювання

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

Для визначення швидкості та прискорення руху складського робота була розроблена схема моделювання представлена на рисунку 6.7:

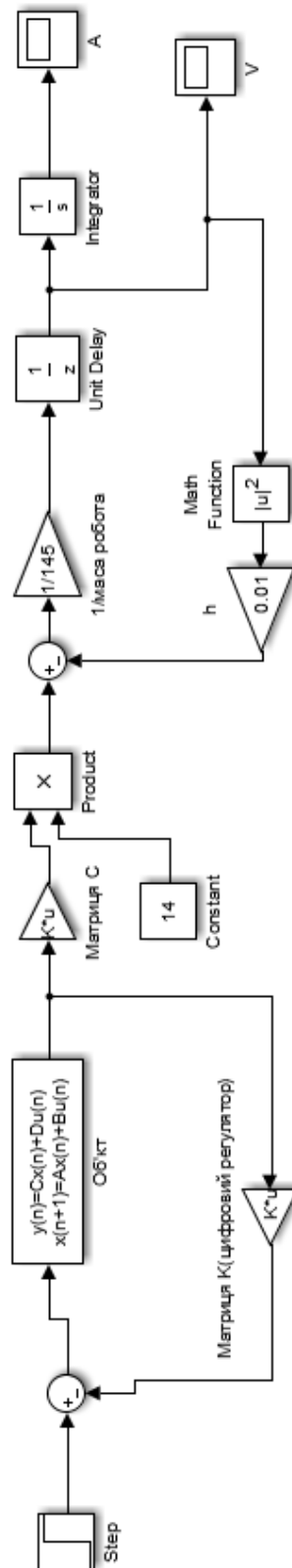


Рисунок 6.7 – Модель визначення швидкості та прискорення

Загалом дана модель складається з двох частин :

- Перша частина це задавальний вплив об'єкта його рух в просторі.
- Друга же частина визначає швидкість руху та його прискорення.

В даній же схемі використовуємо інший сигнал керування представлено на рисунку 6.8:



Рисунок 6.8 – Step

Який є аналогом максимальної швидкості руху складського робота.

Розглянемо даний блок більш детально на рисунку 6.9:

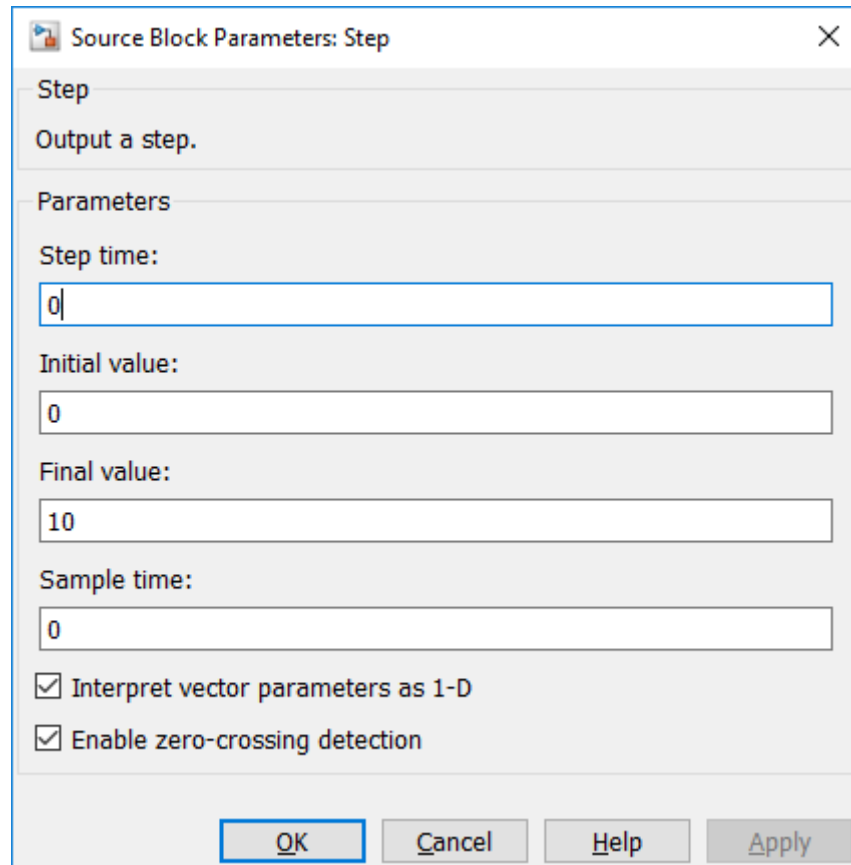


Рисунок 6.9 – Властивості Step

В більш детальному розгляді можна визначити, що наша система має почати свою роботу з нулевої секунди. І кінцевим значенням системи в 10м/с.

Далі розглянемо іншу частину схеми представлену на рисунку 6.10:

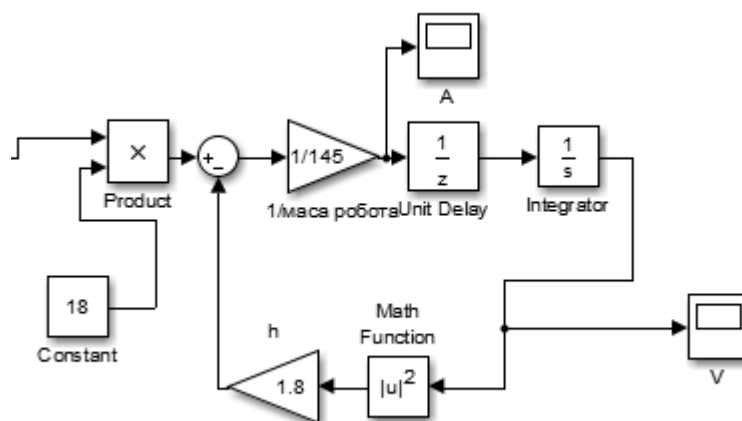


Рисунок 6.10 – Модель датчика системи

Розглянемо порядок роботи даної частини моделі:

Складський робот, що рухається горизонтальною площиною в MatLab/Simulink наведений на рис. 6.10. Модель об'єкта керування що представлений на рис. 6.8 імітує роботу приводу, що складається із силового перетворювача, мотора двигуна та коліс.

На рисунку 6.11 представлений перехідний процес визначення прискорення та на рисунку 6.12 графік швидкості:

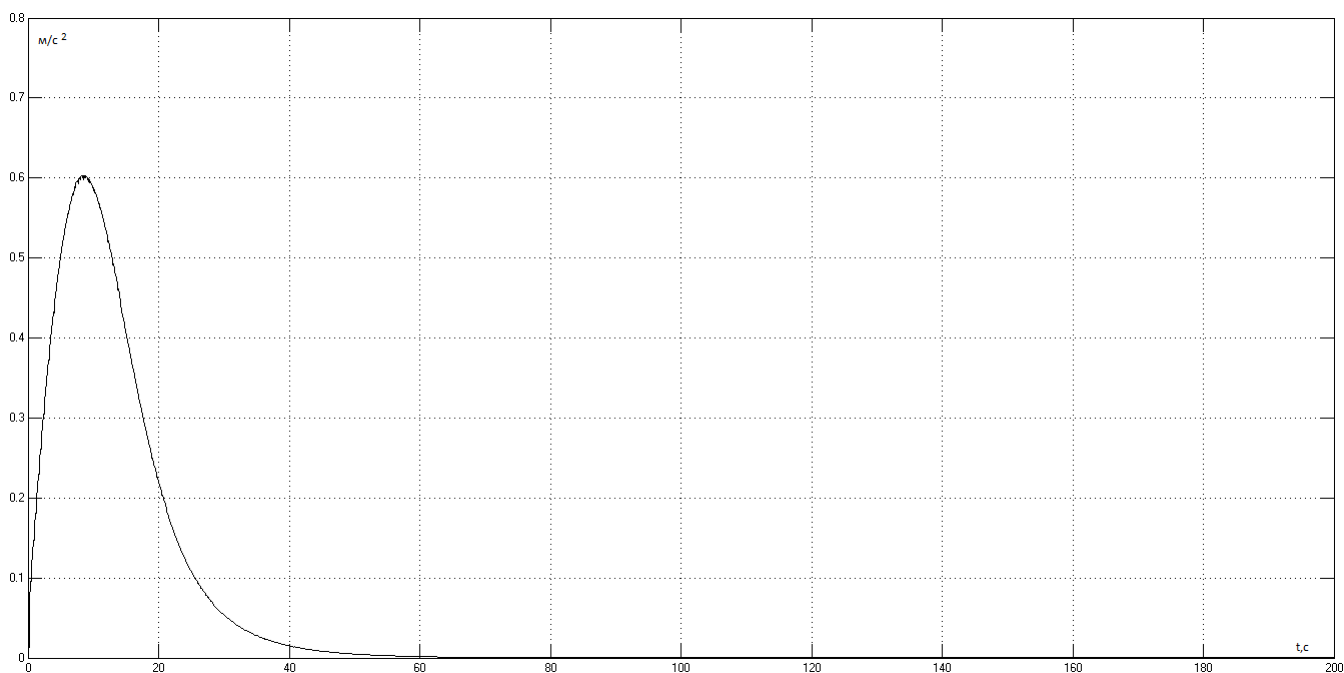


Рисунок 6.11 – Графік прискорення

Потім шляхом подальшого інтегрування отримуємо швидкість представлено на рисунку 6.12:

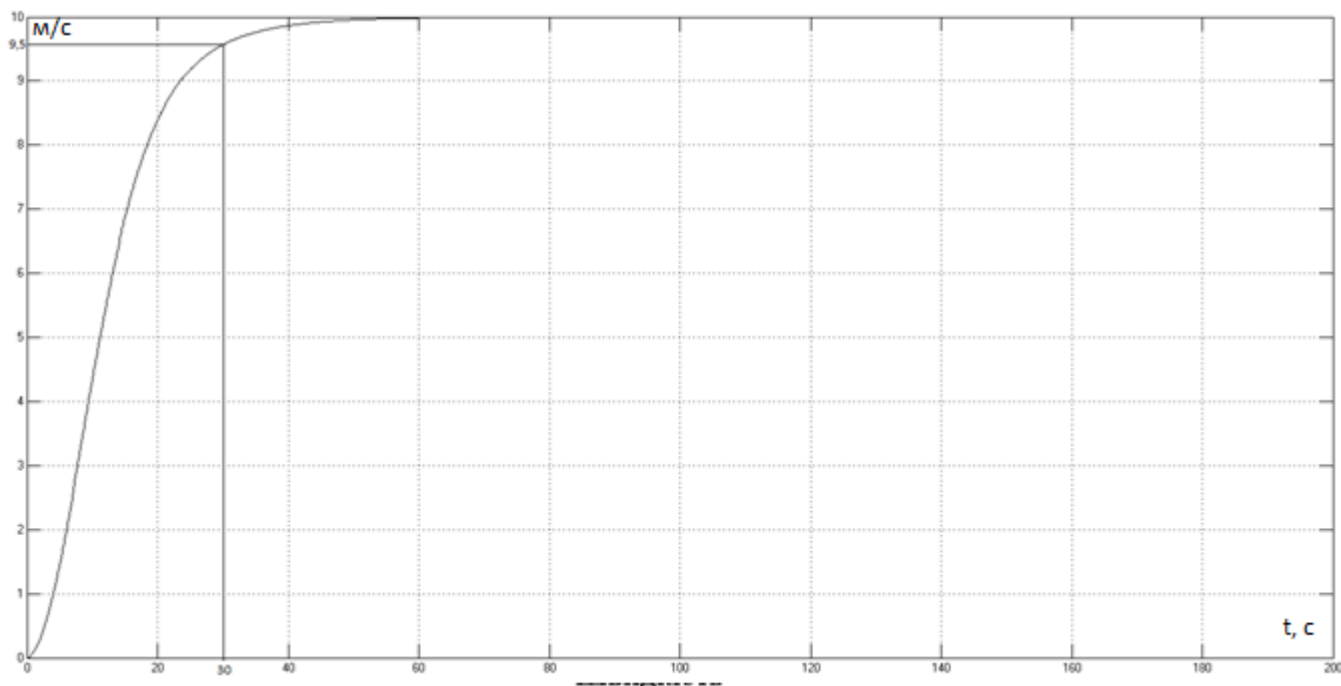


Рисунок 6.12 – Графік швидкості

З графіків видно що система починаючи свій рух від початку до перших 30 секунд система виходить на свою максимальну швидкість чим підтверджує графік прискорення зображений на рисунку 6.11.

Висновок:

Під час виконання експериментальних досліджень було визначено як поводить себе система при впливі на неї керуючого сигналу: визначення запізнення системи та ступення керованості. А також було визначено за скільки часу система виходить на оптимальну швидкість руху для переміщення по складу. Цей час складає 30 секунд, і весь цей час на транспортного робота впливають зовнішні сили такі, як : повітря, тертя і т.д..

## 7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Під час виконання магістерської дисертації було проведено маркетинговий аналіз галузі автоматизованих складів їх ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації.

Проблемою відсутності на ринку вітчизняної автоматизованої складської логістики в рамках того, що щорічно в Україні виконується більше 30 млн. тонн товарів, а якщо врахувати, що на шляху до клієнта товари зазнають до 15-20 пересилок цифра може перевищувати 300 млн. тонн. Асортимент товарів, що використовуються в сфері послуг досягає 400 тисяч варіацій, а врахувавши вид і різновид ця цифра може перевищувати один мільйон. Така велика маса товарів, що надходить до торговельної зали проходить такі етапи: приймання, розвантаження, комплектування, підготовка до продажу, і т.д.. Виконання даних етапів, покращення всього логістичного процесу неможлива якщо не використовувати відповідну складську мережі. , На даний момент складське господарство в такому стані, не може залишатися, так як воно вже вичерпало свої резерви для підвищення ефективності праці. Необхідно вирішити проблеми подальшого розвитку складської діяльності на новому ступені організації та технічного оснащення.

В умовах вільної торгівлі від складу вимагаються такі параметри, як:

- технологічна гнучкість;
- універсальні характеристики товарів ;
- додаткова ємкість та здатність переробки;
- рентабельність, що окупає існування.

До основних напрямків розвитку складської діяльності в умовах економіки повинно бути, будівництво великих, висотних одноповерхових складів за найбільш сучасними проектами та організація на їх базі об'єднаних в групи з загальною територією, під'їзними шляхами, інженерними комунікаціями, технологічним обладнанням. На даний час у сфері послуг переважно дрібні склади. Так, як середній

розмір складу в роздрібній торгівлі 480 м<sup>2</sup>, а оптовий — 1200 м<sup>2</sup>. В даний момент площа складів згідно з діючими стандартами повинна бути не менше 2500 м<sup>2</sup>.

Великі склади володіють вагомими перевагами такими, як:

- зменшення витрат на експлуатацію;
- раціональне використання площ складу
- покращення умов праці робітників;
- створення передумов механізації та автоматизації логістичного процесу.

Прогресивним напрямком є утворення об'єднаних складських комплексів та утворення при таких комплексах автоматизованої і інформаційно-диспетчерської служби.

Покращення експлуатаційних умов складів багато в чому залежать від створення єдиної служби по експлуатації матеріально-технічної бази. Необхідно підвищити вимоги щодо стандартизації складів, щоб їх параметри та конфігурації відповідали вимогам сучасних технологій. У проектах будівництва повинно закладатися планування складських приміщень.

Форма приміщення складу може бути: Г, П, Ш, Т-виду. Великі склади можуть мати П-вид розташування. У даному випадку між паралельно розташованими лініями приміщення влаштовують пристані та укладають залізничні під'їзні шляхи.

Найбільш зручною конфігурацією складського приміщення є прямокутна. Вона дозволяє раціонально розташовувати навантажувальні та розвантажувальні рампи та під'їзні шляхи, у значній мірі запобігти складським зустрічним потокам.

До головних напрямів розвитку складського господарства можна віднести:

- підвищення ефективності при використанні капітальних вкладень;
- збільшення питомої ваги для централізованої доставки товару;
- вивчення та розповсюдження сучасного досвіду організації складського господарства;
- збільшення контейнерних та пакетних перевезень.

В таблиці 1 проаналізовано зміст ідеї, можливий напрямок його застосування та основні переваги які може отримати користувач товару, межі яких необхідно шукати в групі потенційних клієнтів [25].

Таблиця 1 – Опис ідеї

Ідейний зміст	Основні напрями використання	Переваги для користувача
Підвищення ефективності роботи автоматизованого складу за рахунок зменшення часу переміщення транспортного робота по складському приміщенню	1) Розроблення алгоритмів 2) Ефективний регулятор керування транспортними роботами	Підвищення ефективності роботи автоматизованого складу

Аналіз потенційних технічних та економічних переваг порівняно із пропозиціями конкурентів проведений у таблиці 2, у якій також було проведено визначення конкурентів, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї проекту та проектів-конкурентів. Основний перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї для товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності [25].

Таблиця 2 – Визначення всіх сторін проекту

№	Технічні та	товари/концепції опонентів	W	N	S

п/п	економічні характеристики	Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3	(слабка)	(сильна частина)
1	Рентабельність, %	125	110	100	70		✓
2	Собівартість, \$./шт.	2000	2000	1500	500	✓	
3	Складність виготовлення	2	2	4	7		✓
4	Період повернення вкладень, р..	3	3	4	5		✓
5	Ефективність з економічної сторони	0,4	0,4	0,55	0,65	✓	

У таблиці 3 проведено опитування технології, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту. Визначивши ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження та загроз, які можуть перешкодити реалізації, що дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб майбутніх(можливих) клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Для початку проводимо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиці 4).

Таблиця 3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея	Технології реалізації	Присутність технологій	Доступ до технологій
------	-----------------------	------------------------	----------------------

Підвищення ефективності за рахунок автоматизації складськими роботами та з використанням регулятора з бажаними коренями	Підвищення ефективності роботи складу за рахунок зменшення часу переміщення транспортних робіт	розроблена у даній магістерській дисертації	доступна
	Одержання автоматизованого складу з використанням технології управління WMS	наявна	доступна
Визначена технологія реалізації ідеї: Одержання підвищеної керованості транспортних робіт.			

Таблиця 4 – Першочергова характеристика наявного ринку

№ п/п	Показники ринку	Характеристика ринку
-------	-----------------	----------------------

1	Кількість головних(таблиця 2) гравців, кількість	3
2	Загальний обсяг продаж,\$(грошова одиниця.	5 000 000
3	Динамічність ринку	Стабільна
4	Наявність проблем для входу	Бар'єри капітальних витрат;  Економічні та організаційні обмеження;  Обмеження по попиту;  Стратегічні (суб'єктивні) бар'єри.
5	Специфічна вимога до стандартизації	має відповідати вимогам
6	Норма рентабельності , %	90

Норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на депозит. За результатами аналізу таблиці 4 можна зробити висновок, що ринок є привабливим для входження.

Далі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару (таблиця 5).

Таблиця 5 – Характеристика потенційно-можливих клієнтів

№ п/п	Потреба	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці клієнтів	Вимоги споживачів
----------	---------	----------------------	-------------------------------------	-------------------

1	Швидкість та вартість	Торгові компанії дрібного та масового продажу	стандарти, технічні регламенти, інші фактори цінового та нецінового характеру	отриманий матеріали у найшвидший проміжок часу різний тип і швидкість [ ].
2	Стабільність поставок	Фабрики, компанії виробники	стандарти, технічні регламенти	Отримувати завчасно підготовлений необхідний асортимент у необхідній кількості
3	Економічна та екологічна	Організації та компанії місцевого продажу	Стандарти, технічні фактори	Спосіб отримання матеріалів екологічно та економічно доцільно

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню та, що йому перешкоджають (таблиця 6–7). Фактори в таблиці подані у порядку зменшення значущості [ ].

Таблиця 6 – Фактори загроз(по значущості)

Фактори по виду	Зміст загрози(перешкоджають)
Зовнішні	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Відсутність попиту в очікуваних обсягах;</li> <li>- скорочення ринків збуту;</li> <li>- збільшення торговельних і митних бар'єрів;</li> <li>- посилення позицій конкурентів, що є закордоном, поява</li> </ul>

	їх в Україні; - зростання податкового тиску; - економічний, політичний, банківський кризи.
Внутрішні	- Банкрутство; - погіршення потужностей виробництва; - зниження попиту та реалізації продукції.

Таблиця 7 – Фактори можливостей

Фактори по виду	Зміст можливості(сприяють)
Зовнішні	- Вихід на нові ринки; - довгострокові контракти на обслуговування великих компаній; - зниження торговельних і митних бар'єрів; - послаблення позицій фірм-конкурентів; - зниження податкового тиску.
Внутрішні	- підвищення попиту на масову продукцію - підвищення потужностей виробництв; - здійснення нових досліджень і розробок; - підтримка ліквідності і забезпечення прибутковості; - створення інвестиційних можливостей.

Далі проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкурентів на ринку (таблиця 8).

Таблиця 8 – Аналіз конкурентів на ринку

Конкурентні напрямки	Метод проявлення характеристики	Вплив на діяльність підприємства
----------------------	---------------------------------	----------------------------------

1. Тип конкуренції - олігополія	в одній галузі домінує невелика кількість конкуруючих фірм, при цьому хоча б одна з них, виробляють значну долю продукції даної галузі, а поява нових продавців ускладнена.	Виробництво продукції з новітніми технологіями
2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародна	конкуренція національних економічних суб'єктів за найвигіднішими умовами виробництва і реалізації товарів та послуг	Модернізація ринку; виробництво сучасних технічних засобів
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	переливання капіталів і товарів між різними державами	Застосування бренд-менеджменту(торгової марки)

Продовження таблиці 8 – Аналіз конкуренції на ринку

4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова; - товарно-видова.	конкуренція між різноманітними видами товарів які мають ніби скопійовані функції.	Інформування споживача про його вигоди
---	---	--

5. За інтенсивністю - марочна	один із дієвих знарядь маркетингу, що дає змогу управляти рівнем: доданої вартості товару; збільшувати марочний капітал; підвищувати конкурентоздатність підприємства.	

Після аналізу конкурентів проводиться більш детальний аналіз умов опонентів в галузі (таблиця 9).

Таблиця 9 – Модель п'яти сил М Портера

Складові частини аналізу	Прямі конкуренти	Наявні конкуренти	Джерела ресурсів (постачальники)	Основні клієнти	Товари-замінники
	Перелік прямих конкурентів	Бар'єри входження в ринок	Фактори сили постачальників	Фактори сили споживачів	Фактори загроз від замінників

			ків		
Компанії що створюють склади	Обмежувальна торгова практика	податкове регулювання	Концентрація споживачів до рівня концентрації компанії	Обмеження для роботи на ринку через товари-замінники	
Компанії що модернізують склади	Лояльність покупців	пошук і оцінювання інвестиційних переваг	Кількість споживачів	Порівняння ціни та якості	
Створення нових технологій	Переважає географічне положення	формування та оцінювання інвестиційного портфеля за критеріями доходності	Можливість вертикальної інтеграції	Рівень сприйняття	
Модернізатори складів	Домовленості з партнерами	організація моніторингу інвестиційних програм і проектів	Доступність існуючих продуктів-замінників	Схильність споживачів	
Виробники робіт	Інвестиції		Кількість споживачів	диференціація продукту	

За результатами аналізу таблиці проводиться висновок щодо можливості роботи на ринку з огляду на конкуренцію. Також робиться висновок щодо характеристик (сильних сторін), які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку. Другий висновок враховується при переліку факторів конкурентоспроможності .

На основі аналізу конкуренції (таблиця 9), а також із урахуванням характеристик ідеї (таблиця 2), вимог споживачів до товару (таблиця 5) та факторів маркетингового середовища (таблиця №№ 6-7) визначається перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за таблицею 10

Таблиця 10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування (визначення)
1	Інвентаризація	перевірка і документальне підтвердження наявності та стану
2	Приймання та відвантаження товару	Проводиться автоматично після проведення операцій в кінці місяця, кварталу або року
3	Відстеження товарних запасів	Автоматична перевірка та поповнення запасів для стабільної роботи складу
4	Здатність до адаптації	коли, в умовах зміни автоматизації бізнес процесів, система буде враховувати нові потреби підприємства без додаткового перепрограмування;
5	Масштабованість	в умовах майбутнього розширення бізнесу;
6	Управління ресурсами	Так, як більшість роботи виконують роботи люди мають виконувати лише ту роботу яка вимагає більше уваги та те що не може виконати машина
7	Підвищення ефективності складу	За рахунок збільшення масштабу складу та кількості робіт в оптимальному співвідношенні

За визначеними факторами конкурентоспроможності (таблиця 10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін (таблиця 11).

Таблиця 11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Бал 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Інвентаризація	15					✓		
2	Приймання та відвантаження товару	12				✓			

3	Відстеження товарних запасів	17						✓	
4	Здатність до адаптації	18							✓
5	Масштабованість	13				✓			
6	Управління ресурсами	19							✓
7	Підвищення ефективності складу	20							✓

Фінальний етап ринкового аналізу впровадження проекту це складання SWOT-аналізу (таблиця 12) на основі ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін (таблиця 11).

На основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища складається перелік ринкових загроз та ринкових можливостей. Ринкові загрози та ринкові можливості є факторами впливу, і не мають реалізацій на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 12 – SWOT- аналіз

<p><b>Сильні:</b>          Проект в Україні іноваційний.          Багатогалузеве застосування продукту.          Відносно невеликий штат організації.          Молодий і перспективний колектив.</p>	<p><b>Слабкі:</b>          Відсутність фінансування з боку держави.          Низька зацікавленість з боку місцевих інвесторів.</p>
--	--

Гнучка політика керівництва.	Відсутність матеріально-технічної бази для реалізації проекту. Брак власного устаткування. Відсутність власного технологічного приміщення. Обмежений сектор використання. Складність просування продукту на ринок.
<p>Можливості:</p> <p>Реалізація проекту з залученням інвестиційних програм:</p> <p>Фандрайзинг, краундфандінг, іноземні інвестори.</p> <p>Розширення виробничої лінії.</p> <p>Вихід на нові ринки.</p> <p>Налагодження роботи з постачальниками інших регіонів.</p> <p>Перехід до екологічності виробництв</p>	<p>Загрози:</p> <p>Низька зацікавленість інвесторів</p> <p>Низький темп реалізації проекту</p> <p>Конкуренція з боку високотехнологічних компаній і виробництв</p> <p>Збільшення цін на матеріали.</p> <p>Зниження якості матеріалів.</p>

SWOT-аналіз це основа розробки альтернативи ринкової поведінки оптимального часу їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів.

Визначена альтернатива аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання для неї ресурсів (таблиця 13).

Таблиця 13 – Альтернативи впровадження на ринок

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність(можливість) отримання ресурсів	Строки реалізації(роки)
1	Модернізація складу методом WMS	висока	2
2	Повна автоматизація	Низька так як роботи не	3

	складу роботами(без людей)	можуть виконати всі аспекти роботи	
3	Планування складу з максимальним використанням роботів	Середня , бо треба заново створювати складське приміщення	2
4	Автоматизувати склад роботами з використанням технології WMS	Більш висока, але потребує більше часу на реалізацію	3

З позначених альтернатив обирається та яка надає більш високу ймовірність в інвестиціях це автоматизація складського приміщення на базі транспортних роботів та з використанням методологічної технології WMS

Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку(таблиця 14):

Таблиця 14 – Вибір цільових груп споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи	Готовність сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах сегменту	Інтенсивність конкуренції	Простота входу
1	Компанії масового	Висока	Є	Висока	Просто

	продажу				
2	Компанії дрібного продажу	Середня	Немає	Вище середнього	Складно
3	Компанії з великими складами	Дуже висока	Є	Низька	Складно
4	Компанії з малою кількістю працівників	Вище середнього	В невеликій кількості	Середня	Просто
5	Компанії що експортують товари в великій кількості	Висока	Є	Висока	Складно
Цільові групи, що обрано: Компанії масового продажу, Компанії з малою кількістю працівників, Компанії що експортують товари в великій кількості					

За результатами аналізу потенційних груп сегментів визначено стратегію охоплення ринку диференційованого маркетингу;

Для роботи в обраних сегментах необхідно сформувавши базову стратегію розвитку (таблиця 15).

Таблиця 15 – Базової стратегія розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до альтернативи	Базова стратегія
1	Автоматизувати склад роботами з	Диференційованого	Масштабованість Підвищення	прихильність клієнтів

	використанням технології WMS	маркетингу	ефективності складу Здатність до адаптації Відстеження товарних запасів	послабляє їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів;
--	------------------------------	------------	---	--

є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 16).

Таблиця 16 – Базова стратегія конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект першим на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи компанія буде копіювати основні характеристики товару конкурента та які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні	Так	Так, Організацію складського приміщення, систему управління роботами	Стратегія наслідування лідеру

На основі вимог споживачів з сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 15) та стратегії конкурентної поведінки (таблиця 16) розробляється стратегія позиціонування (таблиця 17). що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку.

Таблиця 17 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару аудиторії	Стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Вибір асоціацій (три ключових)
----------------------------	--------------------	-------------------------------------	--------------------------------

Економічна та екологічна Стабільність поставок Швидкість та вартість	прихильність клієнтів послабляє їх тиск на фірму і перешкоджає приходу на ринок нових конкурентів;	Масштабованість Підвищення ефективності складу Здатність до адаптації Відстеження товарних запасів	<ul style="list-style-type: none"> <li>- концентрація на прибутковості</li> <li>- залишатися досить малим</li> <li>- систематичний аналіз сегментації ринку</li> </ul>
--	--	--	--

Результатом виконання підрозділу має стати узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки, яка визначатиме напрями роботи на ринку.

Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 18 потрібно підсумувати результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 18 – Ключові переваги концепції потенційного товару

Потреба(вимоги)	Вигода, яку пропонує товар (можливості)	Ключові переваги перед конкурентами
Швидкість Стабільність поставок Економічна доцільність	Підвищення ефективності складу Здатність до адаптації Відстеження товарних запасів	Підвищення ефективності складу Реалізація проекту з залученням інвестиційних програм:

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель : уточняється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 19).

Таблиця 19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Одержання підвищеної керованості транспортних роботів.

винахідника			
II. Товар у реальному виконанні на виробництві	Характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Спостережувальність	М	Тх
	2. Керованість	М	Тх
	3. Стійкість	М	Тх
	4. Енерго ефективність	Нм	Тл
	5. Зменшення часу доставки	Нм	Тл
	Якість: тестування виконанні в середовищі MatLab		
	Пакування: відсутнє		
	Марка: «Пошук по кореням»		
III. Прикріплення до товару	До продажу: спеціальна пропозиція про встановлення системи нашими спеціалістами		
	Після продажу: сервісне обслуговування по знижці для великих заказів		
Варіанти захисту від копіювання: патентування та ліцензування			

Визначення цінової межі є наступним кроком, яким необхідно керуватись при встановленні ціни, яке передбачає аналіз цін на товари-аналоги, а також аналіз рівню доходів цільової групи споживачів (таблиця 20).

Аналіз проводиться методом – експертним.

Таблиця 20 – Визначення меж ціни

Ціни на товари-замінники	Ціни на товари-аналоги	Рівень доходів споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни
--------------------------	------------------------	---------------------------	--

500\$	2000\$	5000\$	1500\$-1800\$
-------	--------	--------	---------------

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту,(таблиця 21):

Таблиця 21 – Формування оптимальної системи збуту

Закупівельна поведінка цільових клієнтів	Функції збуту	Глибина збуту	Система збуту
Маркетингова діяльність у сфері поведінки покупців має базуватися на таких принципах: - незалежність покупця; - мотивація і поведінка покупців - об'єкт системного дослідження; - поведінка покупців піддається впливу; - закупівельна поведінка соціально законна.	функції, пов'язані з угодами; логістичні функції; функції обслуговування.	Внутрішня служба збуту – торгові агенти, що виконують свої службові обов'язки безпосередньо в офісі, здійснюють телефонні контакти і приймають замовників і потенційних покупців.  Зовнішня служба збуту – зовнішні (польові) торгові агенти, що здійснюють поїздки до замовників	Оптова торгівля, яка характеризується швидким зростанням обсягів реалізації і прибутку.

Остання складова маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 22).

Таблиця 22 –Маркетингові комунікації(концепція)

Специфіка	Канали	Ключові	Завдання	Концепція
-----------	--------	---------	----------	-----------

поведінки клієнтів	комунікацій, цільових клієнтів	позиції для позиціонування	рекламного повідомлення	рекламного звернення
Початок бізнесу по розповсюдженню товарів , збільшення активів та збільшення складських приміщень	Телебачення Інтернет	рекламували новий продукт в піковий час (у вечірні години)	Проінформувати про нову технологію складського господарства	Ненав'язлива реклама, з турботою про покупців.

#### Висновки:

В результаті проведеного маркетингового аналізу було визначено принципову можливість його ринкового впровадження та можливість напрямків реалізації цього впровадження.

Було реалізовано перший етап розроблення стартап-проекту, а саме висвітлено маркетингових аспектів створення :

- відбору ідей, створенню концепції продукту,
- визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії.

Також здійснено маркетинговий аналіз перспектив реалізації запропонованих науково-технічних рішень, визначення можливостей їх ринкового впровадження.

Проте створення та ринкове впровадження відзначається підвищеною мірою ризику. Головним завданням проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення проекту передбачає здійснення низки кроків, в межах яких було визначено ринкові перспективи проекту:

- графік та принципи організації виробництва,

- фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

У даного проекту є можливість ринкової комерціалізації проекту, наявні перспективи впровадження:

- з огляду на потенційні групи клієнтів,
- бар'єри входження,
- стан конкуренції,
- конкурентоспроможність проекту.

Подальше просування проекту на ринок є доцільною.

## ВИСНОВОК

У магістерській дисертації було розроблено систему управління автоматизованим складом, яка забезпечує високу ефективність та керованість.

На сьогоднішній день підприємства відчують потребу використання сучасних інформаційних рішень в системах управління складським приміщенням. Завдяки цьому з'являється можливість налаштувати ефективні відносини з покупцями, значно збільшити оперативність виконання завдань, здійснювати контроль операцій у режимі реального часу. Запорука успіху та конкурентоспроможності підприємства насамперед залежить від правильного вибору логістики.

Швидкість і якість роботи, прибутковість підприємства залежать від правильної організації складського обліку на кожному етапі. Неналаштована чи погано контрольована робота складу тягне за собою грошові втрати. Впровадження систем автоматизації складу сьогодні є одним із головних рішень даних проблем таких, як:

- активність при управлінні складом;
- збільшення швидкості збору товарів;
- отримання точної інформації про координати знаходження товару на складі;
- ефективність управління товаром, що має обмежений термін придатності;
- отримання інструменту підвищення ефективності;
- оптимальне використання складського приміщення.

Вирішення даних проблем можливо з застосуванням системи управління автоматизованим складом з використанням транспортних роботів так як це має сенс не тільки на великому логістичному центрі, але й у порівняно невеликих складських господарствах, розподільних центрах, архівах та на виробництві. У складській діяльності при великій кількості операцій і недостатній автоматизації до втрати керованості призводять такі процеси, як облік товарів, їх зберігання та переміщення,

збір замовлень і підготовка до відправки, та інвентаризація. А управління великим складським господарством сьогодні не може бути ефективним, без системи управління складом. Для максимального задоволення потреб бізнесу необхідно автоматизувати склад і логістику. Від того, чи ефективно працюють логістика і склад, залежить ефективність роботи підприємства в цілому.

Тому для вирішення даних проблем було проведено та вирішено завдання в наступному порядку:

1. Розроблення структурної схеми системи управління автоматизованим складом.
2. Розроблення функціональної схеми системи управління автоматизованим складом.
3. Виконання моделювання, та аналізу стійкості та якості.

Так, як система була не стійкою розроблено цифровий регулятор, який забезпечує нульову помилку та час перехідного процесу, який складає 30 секунд.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1) Безнос А. В., Гурфінкелі Е. В., Жихарев Д. Н., Ленський А. В., Савицький К. В., Формальській А. М., Чесалін Л. С. Управління автономним рухом двоколісного велосипеда з гіроскопічним стабілізатором // Докл. Наук. школи-конференції «Мобільні роботи і мехатронні системи», 7-8 грудня 1999 року - М.: Інститут механіки МДУ, 1999. - С. 57-67.
- 2) Борисов А. В., Мамаєв І. С., Килина А. А. Динаміка котиться диска // Борисов А. В., Мамаєв І. С. неголономними механічні системи. Інтегрованість, хаос, дивні атрактори. - М.: Іжевськ: Інститут комп'ютерних досліджень, 2002.
- 3) Буданов В. М., Девянин Е. А. Особливості руху колісних роботів - неголономних механічних систем // Докл. Наук. школи-конференції «Мобільні роботи і мехатронні системи», 7-8 грудня 1999 року - М.: Інститут механіки МДУ, 1999. - С. 147-164. 78 Ю. Г. Мартиненко
- 4) Буданов В. М., Девянин Е. А. Про рух колісних роботів // ПММ. - 2003. - Т. 67. вип. 2. - С. 244-255.
- 5) Булгаков Б. В. Прикладна теорія гіроскопів. - М.: ГИТТЛ, 1955. [6] Веретенников В. Г. та ін. Теоретична механіка. Висновок і аналізування руху на ЕОМ. - М.: Вища школа, 1990.
- 6) Голован А. А., Гришин А. А., Жихарев С. Д., Ленський А. В. Алгоритми рішення завдання навігації мобільних роботів // Докл. Наук. школи-конференції «Мобільні роботи і мехатронні системи», 7-8 грудня 1999 року - М.: Інститут механіки МГУ, 1999. - С. 109-128.
- 7) Девянин Е. А. Про рух колісних роботів // Докл. Наук. школи-конференції «Мобільні роботи і мехатронні системи», 7-8 грудня 1999 року - М.: Інститут механіки МДУ, 1999. - С. 169-200.
- 8) Репнікова Н. Б. ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ - 2. ТЕОРІЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ / Н. Б. Репнікова, А. В. Писаренко. – Київ: НТУУ (КПІ), 2012. – 67 с.

9) Репнікова Н. Б. ТЕОРІЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ / Н. Б. Репнікова, А. В. Писаренко. – Київ: НТУУ (КПІ), 2012. – 87 с.

10) Dr. Christian Wurll. 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. Wurll.pdf](https://www.ostwestfalen.ihk.de/fileadmin/user_upload/20151022-PR-WuC-E-1-Robogistics - Robotics in Logistics.public Vortrag Dr. Wurll.pdf).

11) Robots in Warehousing [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/TH\\_RIA\\_Larry\\_Sweet\\_distribution.pdf](https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/TH_RIA_Larry_Sweet_distribution.pdf).

12) Разработка мобильного робота и визуализация его движения [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/602336.html>.

13) Система управління складом [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: sistema-upravleniya-skladom.

14) Autonomous Transport Agents [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.doc.ic.ac.uk/teaching/distinguished-projects/2010/j.moschetta.pdf>.

15) Теория и практика автоматического управления в робототехнике [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.soel.ru/upload/clouds/1/iblock/ca7/ca7114d42d75e2ae3dcb36f952857158/20150416.pdf>.

16) Роботи KIVA [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prezi.com/4hhzwrl5iqfd/kiva-robots/>.

17) Складские роботы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://robotrends.ru/robopedia/skladskie-roboty>.

18) Автоматизированный склад [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://abmcloud.com/avtomatizirovannyj-sklad/>.

19)

Автоматизированный склад: как организовать учет склада [Електронний ресурс] –

Режим доступа до ресурсу: <http://astor-ua.com.ua/stati/item/348-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4-%D0%BA%D0%B0%D0%BA-%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D1%8C-%D1%83%D1%87%D0%B5%D1%82-%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B0.html>.

20) Автоматизированный склад мелких товаров [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://www.fabslog.ru/InFo-data/item\\_016/file\\_0000514.pdf](http://www.fabslog.ru/InFo-data/item_016/file_0000514.pdf)

21) Автоматизированные складские системы [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://listech.ua/ru/catalog/automat-systems>.

22) Автоматизированные складские системы хранения [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.controlengrussia.com/avtomatizatsiya-skladov/avtomatizirovanny-e-skladskie-sistemy-hraneniya/>

23) Стеллажи автоматизированные [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ssk.ua/blog/stellazhi-avtomatizirovannye-359>.

24) Автоматизированные складские системы компании Modula [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://controlengrussia.com/avtomatizatsiya-skladov/avtomatizirovanny-e-skladskie-sistemy-modula/>.

25) Розроблення стартап-проекту [Электронный ресурс] – Режим доступа 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](https://ua.kursoviks.com.ua/metodychni_vkazivky/article_post/5087-metodichni-rekomendatsii-do-vikonannya-rozdilu-magisterskikh-disertatsiy-z-kursu-rozroblennya-startap-proyektu-ntuu-kpi).