

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи
керування технологічним процесом складування малогабаритних деталей

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КТ-41
спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Жмурко П.Р.

Керівник

(підпис)

Корольок Р.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Микитишин А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)
Студенту Жмуркові Петру Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи
керування технологічним процесом складування малогабаритних деталей
Керівник роботи Корольок Ростислав Ігорович, ст. викладач кафедри КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «31» березня 2025 року № 4/7-239
2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2024р.
3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо параметрів складування

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Проектна частина

Спеціальна частина

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності,			
основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2025	
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2025-24.05.2025	
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2025-27.05.2025	
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2025-29.05.2025	
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2025-31.05.2025	
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2025-11.06.2025	
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2025-13.06.2025	
8.	Підготовка презентації	14.06.2025-15.06.2025	
9.	Підготовка доповіді	16.06.2025-17.06.2025	
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2025-19.06.2025	
11.	Нормоконтроль	19.06.2025-20.06.2025	
12.	Перевірка на плагіат	21.06.2025	
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2025	
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

(підпис)

Жмурко П.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Королук Р.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить _____.

Об'єм пояснювальної записки складає ____ друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано ____ літературних джерел.

В роботі розроблено вбудовану систему та програмне забезпечення для керування автоматизованою системою зберігання та пошуку, яка базується на лабораторії комп'ютерно-інтегрованого виробництва. Основною метою цього дослідження є застосування правил керування, пов'язаних з системою, до існуючої фізичної системи. Вторинною метою є розробка гнучкої системи керування, що дозволяє додавати нове обладнання до системи та налаштовувати її частини.

Виготовляються два типи плат керування, а також розробляються прошивки та комп'ютерне програмне забезпечення для плат. Ці дві плати взаємодіють з комп'ютером по черзі. У програмному забезпеченні керування реалізовано деякі правила керування, пов'язані з системою. Відповідно до цих правил програмне забезпечення керування призначає завдання відповідній платі. Також програмне забезпечення керування записує необхідну інформацію для вимірювання продуктивності системи.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗБЕРІГАННЯ ТА ПОШУКУ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1. Огляд савтоматизованих систем, які використовуються для міні складування.....	7
1.2. Огляд існуючих рішень в області складування деталей	14
1.3. Огляд проблем проєктування автоматизованих систем зберігання та пошуку та фізичний дизайн таких систем	18
2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	28
2.1. Архітектура системи складування	28
2.2. Апаратне забезпечення	35
2.3. Апаратне та програмне забезпечення штабелювальної дошки.....	41
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	47
3.1 Розробка спеціалізованого програмного забезпечення.....	47
3.2. Графічний інтерфейс користувача (GUI).....	58
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	63
4.1 Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності при роботі за комп'ютером.....	63
4.2 Організація безпечної роботи електроустаткування задіяного при роботі системи електронного навчання	66
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AS/RS (англ. Automated Storage and Retrieval System) - Автоматизовані системи зберігання та пошуку.

CIMLAB (англ. Computer Integrated Manufacturing Laboratory) - Комп'ютерно-інтегрована виробнича лабораторія.

ВСТУП

У сучасному конкурентному бізнес-середовищі важливе значення має ефективне управління складом. Автоматизована система зберігання та вилучення (AS/RS) є важливою частиною складу. Після впровадження AS/RS у 1950-х роках, вона широко використовується в розподільчих та виробничих середовищах. AS/RS має кілька переваг, таких як економія витрат на робочу силу, підвищення безпеки, покращення пропускної здатності та використання більшої площі. Основним недоліком AS/RS є висока інвестиційна вартість. AS/RS застосовується у виробництві з чистими приміщеннями для зменшення забруднення продукту внаслідок ручного переміщення, в медичних закладах, в холодних середовищах, таких як центри розподілу заморожених продуктів, у виробництві та розподілі електронних виробів тощо. Як правило, AS/RS складається зі стелажів, штабелерів, проходів та точок вводу/виводу. Штабелери, які проходять через проходи, обслуговують стелажі. Палети використовуються для зберігання продуктів на стелажах та вилучення продуктів зі стелажів. У точках вводу/виводу продукти входять у систему або виходять з неї [1-5].

Ефективне управління AS/RS сприяє швидшому реагуванню на запити клієнтів та знижує загальні витрати на складі. Ефективна робота AS/RS вимагає фізичного проектування та проектування систем управління. Фізичне проектування AS/RS складається з розміру місць зберігання, довжини проходів, розташування точок вводу/виводу, кількості штабелерів тощо. Проектування систем управління розглядається з чотирьох аспектів: розподіл сховищ, пакетування, точка затримки та послідовність замовлень на зберігання та вилучення.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Огляд савтоматизованих систем, які використовуються для міні складування

У лабораторії комп'ютерно-інтегрованого виробництва CIMLAB для цілей фізичного моделювання використовується зменшений модуль AS/RS. Ця система містить керовані комп'ютером мініатюрні модулі реальних AS/RS, що використовуються у виробничому середовищі. Загальний вигляд системи показано на рисунку 1.1.

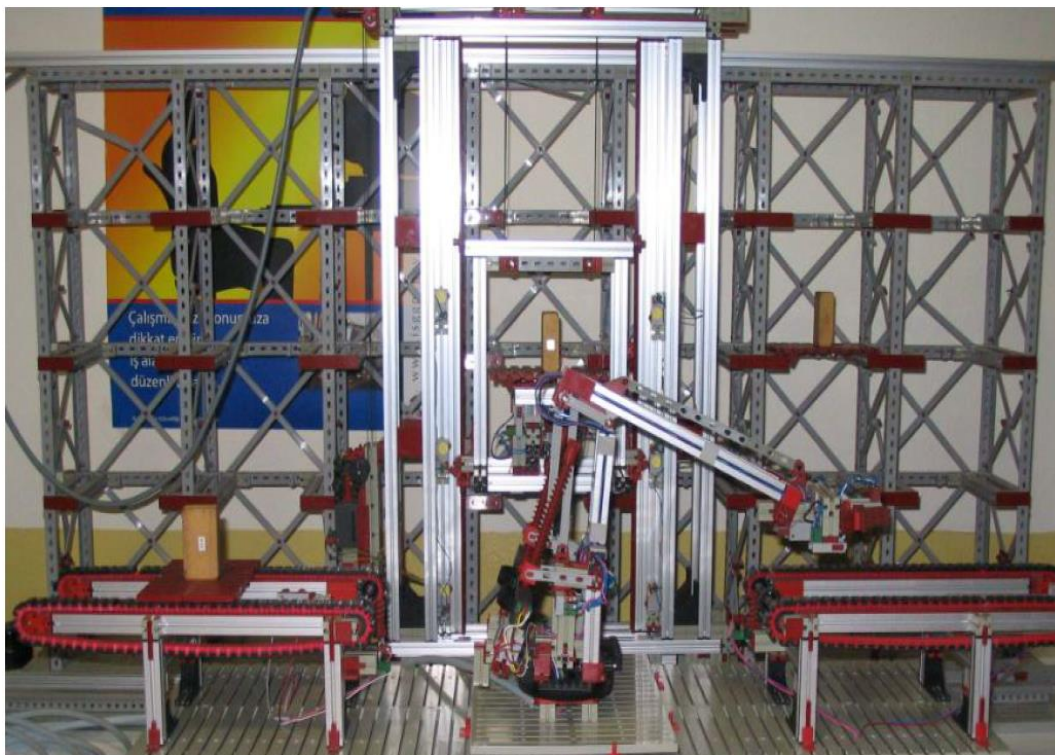


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд фізичної системи

Фізичне моделювання має деякі переваги порівняно з аналізом, проведеним у реальному виробничому середовищі [5-7]:

- Макет системи можна легко змінити.
- Можуть бути застосовані екстремальні домовленості.

- Усі наслідки модифікацій для системи можна спостерігати одночасно.

Однак фізичне моделювання також має деякі переваги порівняно з комп'ютерним моделюванням.

- Стохастичні події є важливою частиною фізичних систем.
- Аналізи, проведені на фізичних системах, виконуються з великою легкістю.
- Результати, отримані за допомогою фізичного моделювання, можна дуже легко перенести на реальні системи.

Головною метою цієї роботи є розробка експериментального випробувального стенду AS/RS, який можуть використовувати дослідники та студенти для формулювання, перевірки та оцінки нових стратегій керування AS/RS. Для створення гнучкого випробувального стенду, що дозволяє додавати нові машини до системи та налаштовувати частини системи, необхідна надійна та гнучка система керування. Система керування складається з апаратного та програмного забезпечення. Апаратне забезпечення та його прошивка забезпечують низькорівневе керування фізичною системою, яка складається з виконавчих механізмів та датчиків. Програмне забезпечення керування є мозком всієї системи, тому воно має бути розроблене з урахуванням гнучкості. Наступні критерії є вимогами до розробки системи керування AS/RS:

- Система повинна бути надійною з точки зору додавання нового обладнання та налаштування частин фізичної системи.
- Повинна бути можливість розробляти різні експериментальні налаштування без зміни основного коду програмного забезпечення.
- Частини системи повинні працювати одночасно та безпечно.
- Для оцінки ефективності експериментів необхідно мати необхідні дані розраховано та зафіксовано.
- Слід розробити графічний інтерфейс користувача, який забезпечить легке використання системи.

Для розробки системи керування АС/РС відстежуються такі кроки:

- Опитування лабораторій, пов'язаних з AS/RS, та визначення цілей
- Огляд літератури та визначення правил керування, пов'язаних з AS/RS
- Визначення архітектури контролера, розробка апаратного та прошивкового забезпечення
- Розробка програмного забезпечення для керування AS/RS
- Інтеграційні та системні тести

Лабораторія гнучкої автоматизації та інтелектуальних виробничих систем - BUFAIM (Університет Богазічі).

AS/RS, що використовується в цій лабораторії, є частиною гнучкої модельної фабрики. Система має одну стелажну систему з 36 комірками зберігання, розташованими в масиві 6X6, декартового робота та блок керування. (BUFAIM). Характеристики системи: зберігання в проході, один човник, одиничне завантаження та стаціонарний один глибокий стелаж. AS/RS є продуктом Intelitek та зображений на рисунку 1.2.



Рисунок 1. 2 - AS/RS Фізична система та блок контролера.

Переміщення матеріалів між AS/RS та іншими частинами модельного заводу здійснюється за допомогою автоматизованого керованого транспортного засобу (AGV) з різною вантажопідйомністю, а продукція переміщується за допомогою піддонів. Декартовий робот завантажує піддони до комірок зберігання та AGV, а також розвантажує піддони з комірок зберігання та AGV.

Контролер оснащений 32-бітним мікроконтролером NEC V853 RISC та зв'язується з ПК за допомогою кабелю типу USB. Він має 2 вбудовані канали RS-232 для підвісного пульта навчання та плати вводу/виводу. Контролер дозволяє використовувати PID та PWM-регулятори, а також має 10 налаштувань швидкості. Завдяки 8 цифровим входам, 4 аналоговим входам, 8 цифровим виходам та 2 аналоговим виходам, систему можна розширити за потреби. Позицію можна визначити в координатах (X, Y, Z), координатах шарнірів, лічильниках енкодерів, а також абсолютних та відносних позиціях. (Intelitek)

Деякі університети світу та Туреччини використовують цю експериментальну установку. Ця експериментальна установка може мати різні конфігурації та функції. Як правило, для переміщення матеріалів між AS/RS та іншими частинами використовуються конвеєри із замкнутим циклом замість AGV. Якщо AS/RS має систему сканування штрих-кодів, застосовується керування в режимі реального часу. Для керування системою блок контролера та програмний модуль AS/RS у програмному забезпеченні OpenCIM використовуються деякими університетами, такими як Південний університет Іллінойсу в Едвардсвіллі, Університет долини Юти, Державний університет Моргана тощо. Але в цій лабораторії програмне забезпечення, яке керує AS/RS, розроблено дослідницькими групами. У Туреччині Галатасарайський університет, Університет Бахчешехір та Університет Кириккале використовують Intelitek AS/RS.

Лабораторія передових виробничих технологій – АМТ (Вотерфордський технологічний інститут)

Згідно з О'Ші [23], AS/RS, що використовується в цій лабораторії, є частиною гнучкої моделі фабрики, а її фізична модель, апаратне та програмне

забезпечення керування розроблені дослідницькими групами АМТ. Система складається з однієї стелажної системи з 68 комірками для зберігання, штабелера, двох конвеєрів та блоку керування. Характеристики системи включають фіксацію проходу, один човниковий механізм, одиничне завантаження та стаціонарну одинарну глибоку стелажну систему. Компоненти системи показані на рисунку 1.3.

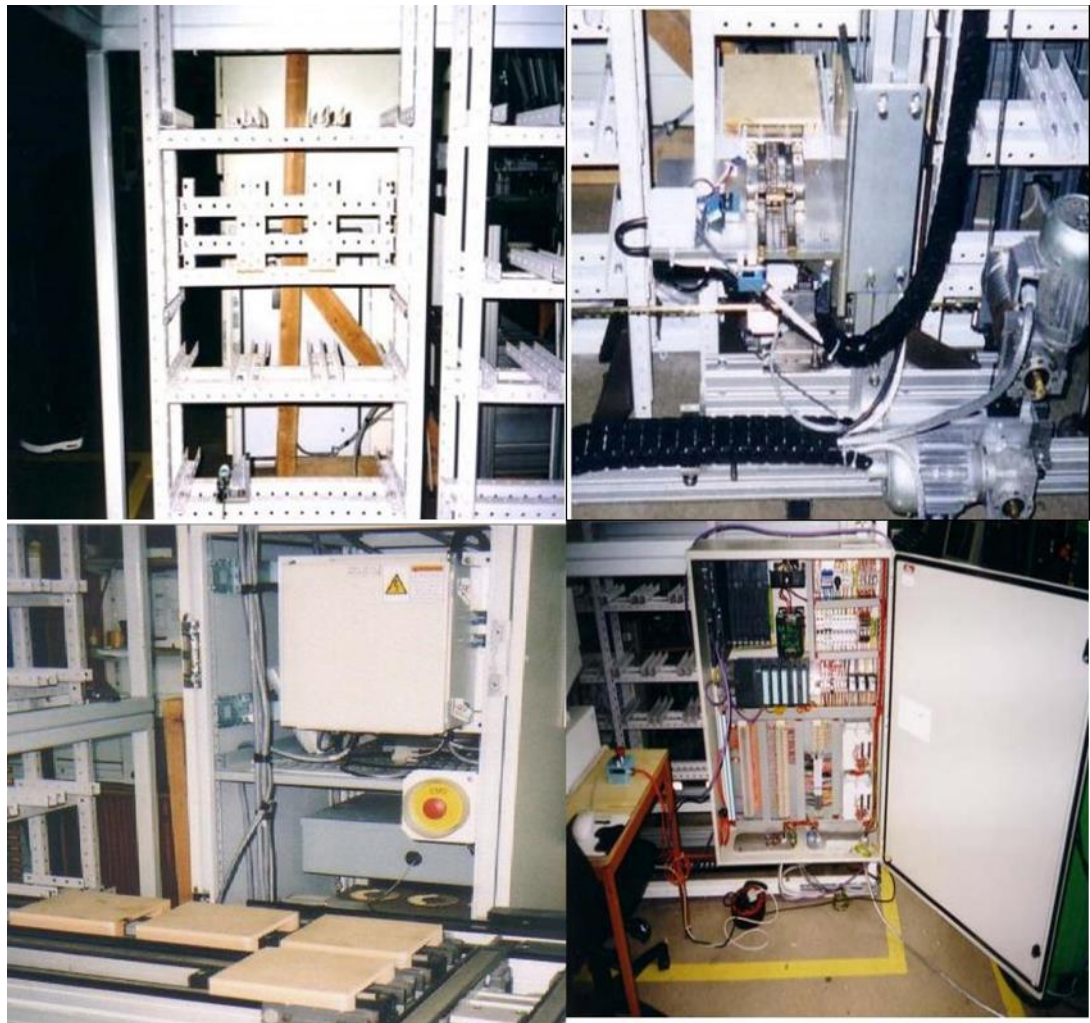


Рисунок 1.3 - Компоненти AS/RS на АМТ: комірки для зберігання, штабелер, вхідні та вихідні конвеєри та блок керування

Переміщення матеріалів між AS/RS та іншими частинами модельного заводу здійснюється вхідними та вихідними конвеєрами, а продукція переміщується за допомогою піддонів.

Як контролер обрано ПЛК Siemens S7-412-2, а для програмування ПЛК використовується Siemens Step 7. Зв'язок між ПЛК та ПК забезпечується через Profibus DP. Profibus – це стандарт для зв'язку в промислових комп'ютерних мережах для технологій автоматизації. Для візуалізації та керування AS/RS використовується програмне забезпечення WinCC. Графічний інтерфейс користувача (GUI), розроблений WinCC, представлено на рисунку 1.4.

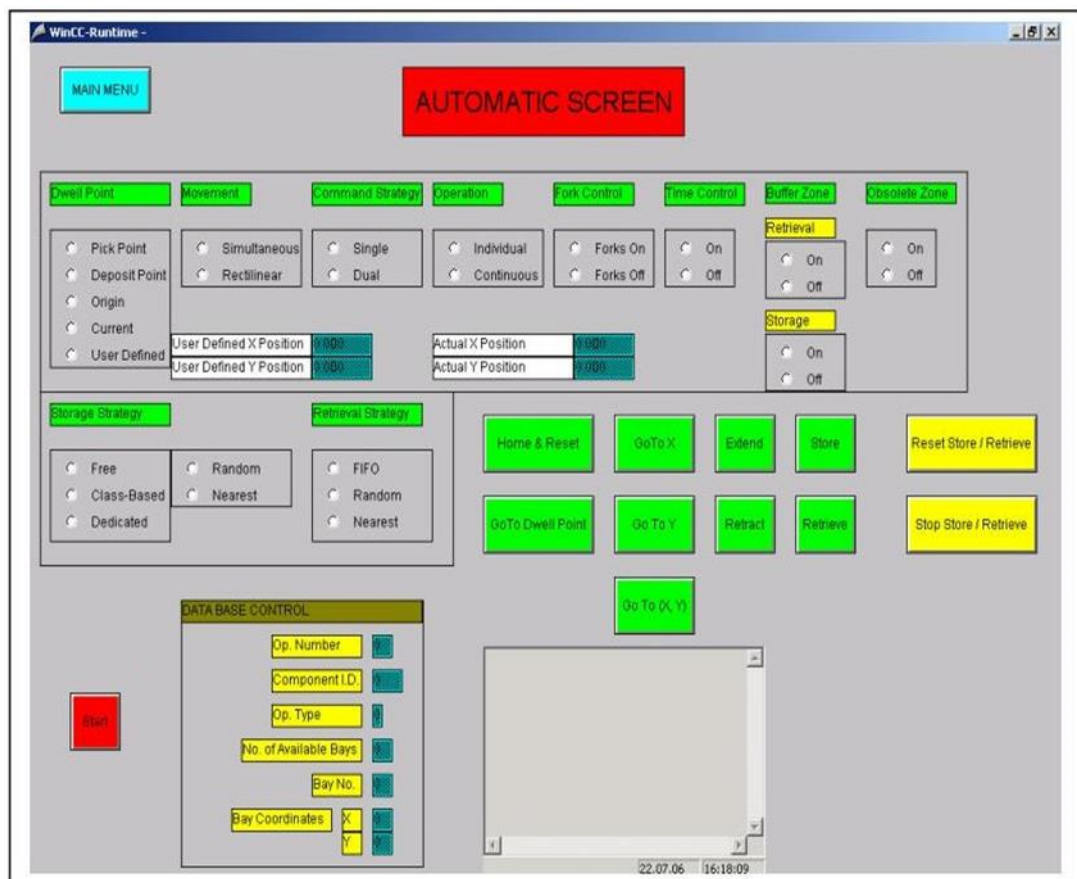


Рисунок 1.4 - Графічний інтерфейс AS/RS в АМТ

Як показано на рисунку 1.4, AS/RS може керуватися як автоматизовано, так і напівавтоматично. Також багато правил керування щодо AS/RS (вибір точки затримки, призначення пам'яті та стратегія команд) встановлюються через графічний інтерфейс. Для запису роботи AS/RS у цій системі використовується база даних MS Access, яка взаємодіє з програмним забезпеченням WinCC.

Університет інженерії та технологій Лахора

Фаррух та ін. [11] розробили AS/RS з одним човниковим механізмом та одиничним завантаженням, що знаходиться в проході та має стаціонарну одинарну глибоку стелажну систему. Також вони розробили апаратне та програмне забезпечення керування AS/RS. Загальний вигляд AS/RS показано на рисунку 1.5.

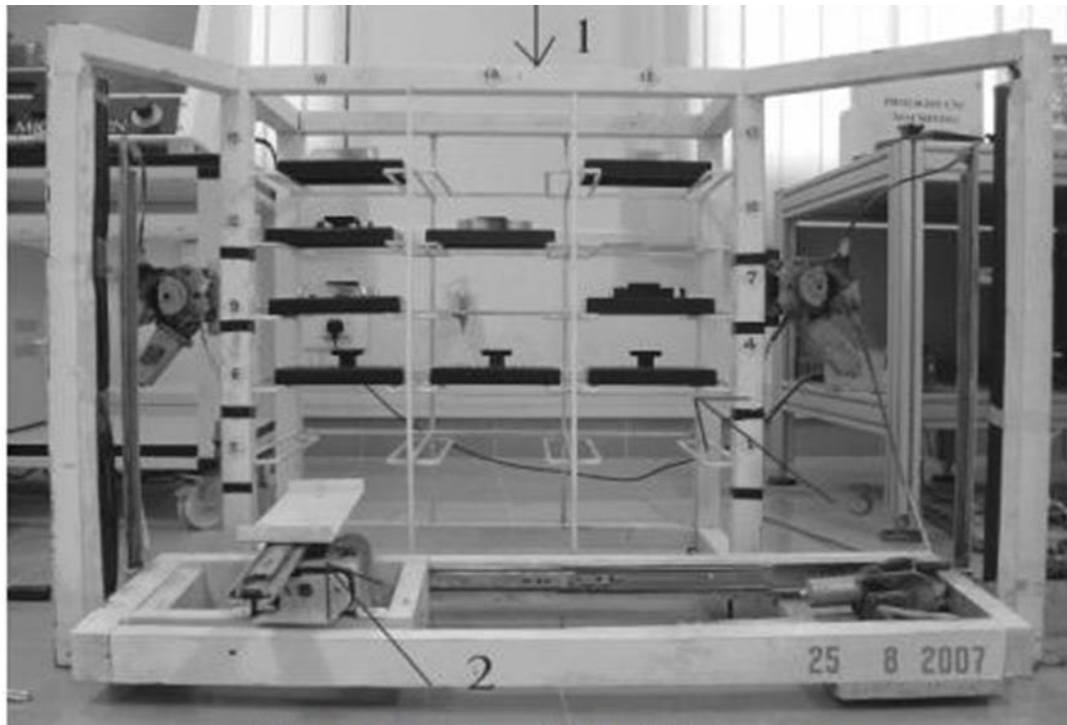


Рисунок 1.5 -Загальний вигляд AS/RS

Системою можна керувати за допомогою мікроконтролера та ПК. У першому типі керування є клавіатура для введення числа, яке надсилає дані стекеру до комірок пам'яті, та матриця 5X5 для відображення стану комірок пам'яті. Ці модулі введення та виведення, а також AS/RS керуються мікроконтролером. У другому типі керування використовується програмне забезпечення, розроблене в MATLAB, а мікроконтролер взаємодіє з MATLAB та AS/RS. Мікроконтролер та ПК взаємодіють через паралельний порт. Графічний інтерфейс програмного забезпечення керування зображено на рисунку 1.6.

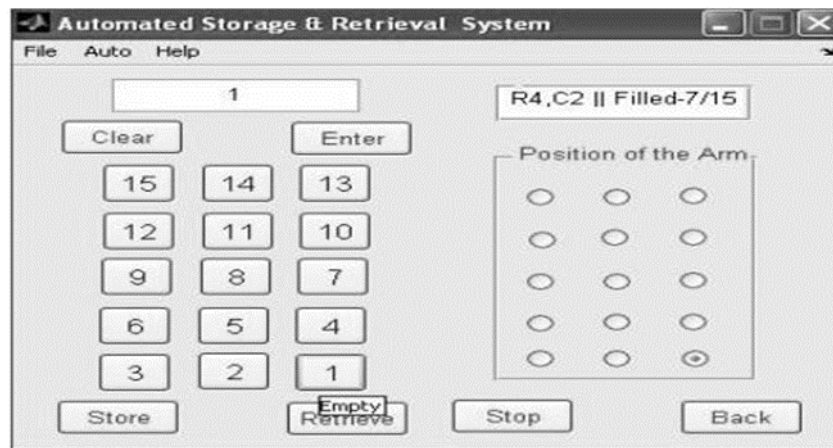


Рисунок 1.6 - Графічний інтерфейс AS/RS

Як видно на рисунку 1.6, систему можна використовувати лише в напівавтоматичному режимі. Оператор вводить номер, який надсилає укладач до комірок зберігання для зберігання та вилучення. Також система може відображати стан комірок зберігання.

1.2. Огляд існуючих рішень в області складування деталей

Американська технологічна галузь визначає AS/RS як «Автоматизовану систему зберігання та вилучення (AS/RS) – це комбінація обладнання та засобів керування, які здійснюють зберігання та вилучення матеріалів за потреби з точністю, акуратністю та швидкістю за певного ступеня автоматизації». Загалом, AS/RS складаються зі штабелерів, проходів, стелажів та точок вводу/виводу. Продукти транспортуються до стелажів або зі стелажів штабелерами, які переміщуються проходами між стелажими. На рисунку 1.7 представлено загальний вигляд AS/RS.

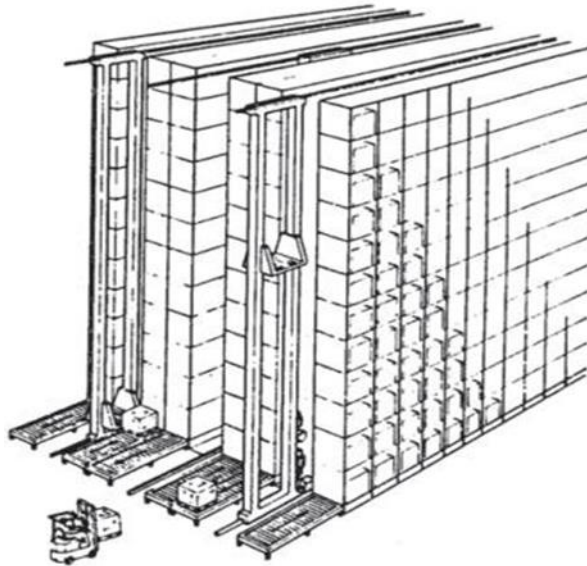


Рисунок 1.7 - Загальний вигляд AS/RS (адаптовано з «Посібника з модернізації складу та планування розміщення»)

У цьому розділі наведено короткий огляд варіантів AS/RS, проблем проектування AS/RS та вимірювання продуктивності цих систем. Рудберген та ін. [26] класифікують проблему проектування AS/RS як фізичне проектування та проектування керування, що головним чином включає розподіл пам'яті, пакетування, розташування точок затримки та послідовність виконання, порядок зберігання та пошуку. Обговорюючи проблему проектування AS/RS, ми використовуємо підхід, подібний до підходу Рудбергена.

Варіанти автоматизованої системи зберігання та пошуку

Рудберген та ін. класифікують варіанти AS/RS відповідно до експлуатаційних властивостей компонентів AS/RS. Ця класифікація представлена на рисунку 1.8.

Стійка. Функція стелажів у AS/RS полягає у розміщенні продуктів. Продукти зберігаються на стелажах на піддонах. Стелажі зазвичай є металевими конструкціями. Найбільш використовуваними стелажима є стаціонарні стелажі, але також існують пересувні стелажі. Стаціонарні стелажі мають фіксоване розташування, а штабелери переміщуються для зберігання продуктів на стелажах або вилучення продуктів зі стелажів. Вони бувають двох поширених типів: одинарної глибини та подвійної глибини.

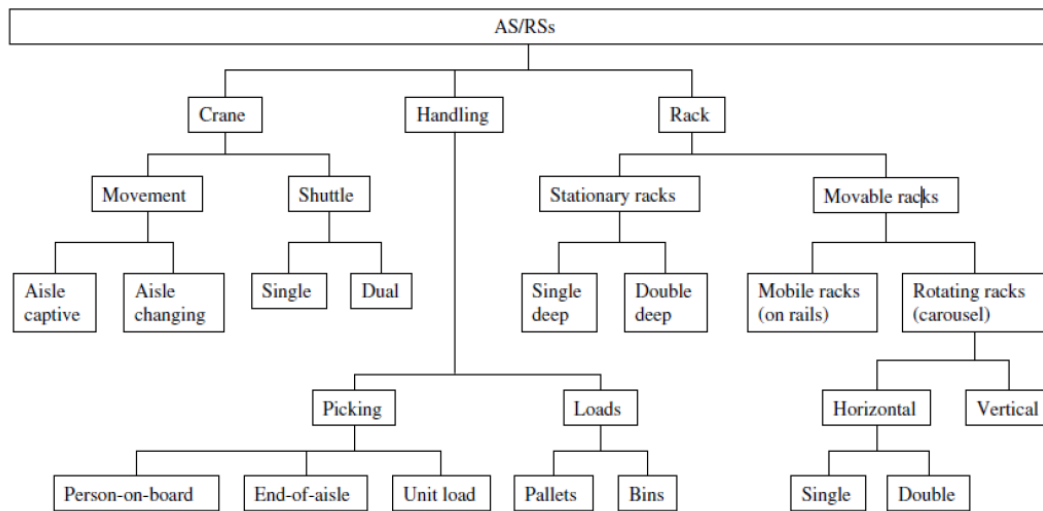


Рисунок 1.8 - Класифікація опцій AS/RS.

У стаціонарних стелажах подвійної глибини кожне розташування дозволяє зберігати два одиниці завантаження в глибину. Згідно з Tompkins, стелажі подвійної глибини ефективні, якщо частота попиту на продукти висока, а різноманітність продуктів низька. Існує два класи пересувних стелажів, які є каруселями, що мають таку можливість горизонтального (рис. 1.9) або вертикального руху. Горизонтальні каруселі також бувають одинарного та подвійного типу глибини.

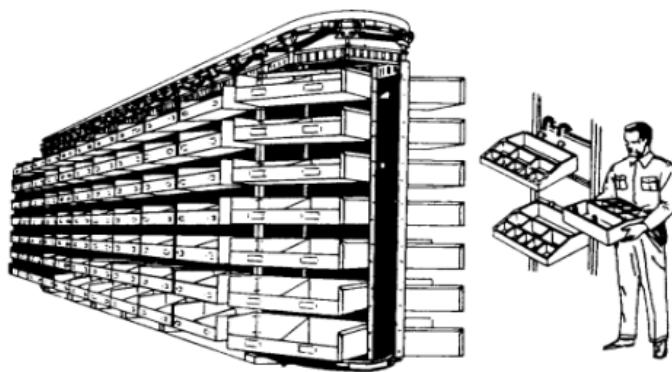


Рисунок 1.9 - Горизонтальна карусель

Штабелери. Штабелери призначені для транспортування продукції між точками введення/виведення та стелажми, а також вони можуть завантажувати та розвантажувати продукцію зі стелажів, конвеєрів або інших частин складу

(наприклад, автоматично керовані транспортні засоби). Типовий штабелер може виконувати горизонтальне та вертикальне переміщення одночасно. Штабелери класифікуються залежно від їхнього руху та кількості продукції, що транспортується одночасно. Штабелери з фіксованим проходом рухаються по одному проходу і не залишають його, але штабелери зі змінним проходом можуть працювати по кількох проходах. Штабелери, які можуть транспортувати один продукт, називаються штабелерами з одним човником. Подвійні човникові штабелери здатні транспортувати два продукти одночасно. Перевагою цього штабелера є отримання продукції зі стелажа та зберігання продукції на стелажі без потреби переходити до точки введення/виведення.

Обробка. Обробка розділена на комплектування та завантаження. Існує три варіанти комплектування, найпоширенішим з яких є комплектування одиничним вантажем (рис. 1.10 а). Одиничний вантаж можна розглядати як контейнер, який поєднує окремий матеріал або матеріали, і його можна легко переміщувати за допомогою піддонів.

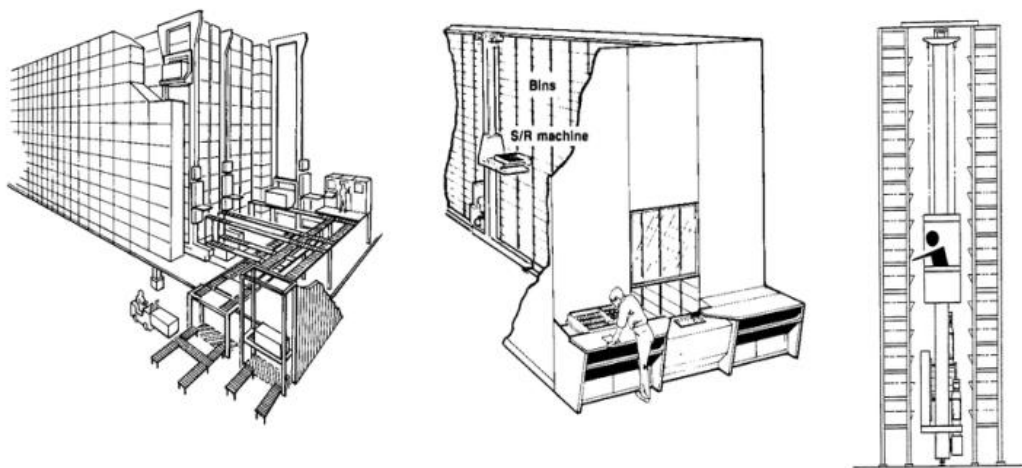


Рисунок 1.10 - Варіанти комплектування: а) одиниця завантаження; б) кінець проходу; в) людина на борту.

Деякі штабелери, що називаються «людина на борту», призначені для пересування на них. Для цього типу комплектування оператор, який знаходиться на штабелері, забирає замовлені товари зі стелажів замість одиничного вантажу

(рис. 1.10 б). Оператор забирає необхідні товари з одиничного вантажу на робочому місці, а решту одиничного вантажу переміщує штабелер назад на своє місце, ця система називається системою кінця проходу (рис. 1.10 в). Вантажі переміщуються двома способами за допомогою піддонів та контейнерів. Піддони використовуються для легкого переміщення відносно великих одиниць вантажу. Контейнери – це невеликі контейнери, що використовуються для зберігання продуктів, і ці контейнери переміщуються без піддонів.

1.3. Огляд проблем проєктування автоматизованих систем зберігання та пошуку та фізичний дизайн таких систем

Загалом, AS/RS використовуються у сфері виробництва та дистрибуції. Рішення щодо проєктування слід приймати з урахуванням того, в якій сфері буде використовуватися AS/RS. Кожне середовище має свої пріоритети та особливості. Наприклад, у виробничій сфері безперервність виробництва є життєво важливою, і виробництво не повинно чекати на AS/RS. Що стосується зони дистрибуції, то тут критично важливо, щоб клієнти отримували вимоги вчасно. Крім того, на AS/RS впливає продуктивність інших систем на складі, тому цей момент слід враховувати під час визначення параметрів проєктування.

Буде розглянуто п'ять аспектів проблеми проєктування AS/RS, такі як фізичне проєктування, розподіл сховищ, пакетна робота, точка затримки та послідовність замовлень на зберігання та вилучення.

Фізичний дизайн

Згідно з Рудбергенем та ін. [26], фізична система повинна бути спроектована з урахуванням опцій AS/RS та конфігурації системи. Після вибору опцій системи, система конфігурується шляхом визначення кількості проходів, довжини проходів, висоти складських стелажів, кількості штабелерів на прохід, висоти складських стелажів, однакового розміру або модульних місць зберігання, кількості та розташування точок вводу/виводу, буферної ємності в

точках вводу/виводу. Окрім цих проектних рішень, важливо звернути увагу на інвестиційні витрати та забезпечення майбутніх потреб компанії в потужності.

Існує два основних підходи до проектування AS/RS: аналітичний та симуляційний. В аналітичних методах Бозер та Вай [1] досліджували систему кінця проходу на основі AS/RS на основі завантаження одиниць. Вони зменшили час комплектування, змінивши точки вводу/виводу, щоб кожному комплектувальнику можна було виділити більше проходів. Чанг та ін. [3] досліджували конфігурації стелажів та операційні політики. AS/RS працює в одноцикловому та двоцикловому режимах. В одноцикловому режимі команди зберігання або вилучення обробляються за один хід. Якщо штабелер обробляє замовлення зберігання та вилучення за один хід, операція називається двоцикловим режимом. Вони продемонстрували, що оптимальна конфігурація стелажів є квадратичною за часом, час досягнення найвищого ряду та час досягнення найдальшого стовпця однакові для одного циклу команди. Але квадратична за часом конфігурація стелажів неефективна для двоциклового режиму команди. Лі та ін. [21] запропонували тип AS/RS зі стелажими модульного розміру. Хоча багато авторів вивчали AS/RS зі стелажими однакового розміру, вони розробили математичну модель для розміру комірок. Ця модель забезпечує гнучкість системи.

У літературі існує кілька методів моделювання щодо фізичного проектування AS/RS. Потрк та ін. [25] представили евристичні моделі часу проходження для AS/RS з комірками однакового розміру за висотою та рандомізованим зберіганням, при цьому порожні місця зберігання на стелажах мають однакову ймовірність призначення палетних завантажень, як в одно-, так і в багаточовниковій системі. Вони продемонстрували значне покращення, що забезпечується використанням багаточовникової системи замість одночовникової. Крім того, ця модель забезпечує зв'язок між середнім часом проходження та пропускнуою здатністю, враховуючи типи стелажів та профілі швидкості штабелерів.

Призначення сховища Політики розподілу місць для зберігання визначаються як розподіл місця для зберігання продуктів на стелажах. У літературі часто зустрічаються чотири політики розподілу місць для зберігання.

Випадкове призначення пам'яті. Порожні місця зберігання на стелажах мають однакову ймовірність призначення продукту. Хоча вимоги до простору для випадкового розподілу місця зберігання низькі, ця політика може бути неефективною, оскільки продукти, що повільно рухаються, можуть бути розташовані навколо точки вводу/виводу.

Найближче відкрите місце розташування для зберігання. Згідно з цією політикою, палетні вантажі призначаються у відкрите місце розташування, найближче до точки вводу/виводу. Тому місце зберігання навколо точки вводу/виводу часто буває заповненим. Такий розподіл місця зберігання неефективний через призначення палетних вантажів стелажам незалежно від їхньої оборотності.

Виділений обсяг сховища. Кожен тип продукту має фіксоване місце зберігання. Здається перевагою розподіляти швидкозмінні продукти в місці, найближчому до точок вводу/виводу, але якщо продукт відсутній на складі, виділене місце буде порожнім. Недоліками такої політики є низьке використання простору та високі вимоги до простору.

Призначення пам'яті на основі класу. Стелажі поділяються на кілька класів, а елементи групуються відповідно до частоти попиту. Потім елементи призначаються до власного класу. У кожному класі застосовується випадковий розподіл сховищ. Оскільки ця політика враховує частоту попиту на елементи, ефективність системи висока. Іншою перевагою є гнучкість політики зберігання на основі класів. Під час застосування політики зберігання на основі класів слід прийняти три основні рішення, такі як: де розташувати кожен клас, скільки класів містить стелаж і скільки елементів призначати кожному класу.

У літературі існують аналітичні та симуляційні дослідження, які порівнюють політику розподілу місць зберігання. Хаусман та ін. [14] порівнюють три типи розподілу місць зберігання, такі як випадковий розподіл,

розподіл на основі повного обороту та розподіл на основі класів, використовуючи аналітичні методи. Політика зберігання на основі повного обороту розподіляє стелажі враховуючи частоту обороту товарів, тому частоту обороту необхідно знати заздалегідь. Це дослідження показує, що зберігання на основі повного обороту забезпечує більше скорочення часу переміщення штабелера порівняно з іншими розподілами зберігання. Потреба у відповідному критерії виникає під час застосування розподілу зберігання на основі повного обороту, розподілу зберігання на основі класу або розподілу виділеного зберігання. Хескетт [15-16] представляє індекс куба на замовлення, як відношення необхідного простору для зберігання товару до коефіцієнта обороту.

Що стосується методу моделювання, Шварц та ін. [27] досліджували AS/RS з точки зору розподілу пам'яті та упорядкування порядків зберігання та пошуку за стохастичних умов. Моделювання показало, що продуктивність випадкового розподілу пам'яті та розподілу пам'яті за найближчим відкритим місцем є еквівалентною. Також продемонстровано, що розподіл пам'яті за повним оборотом забезпечує вищу пропускну здатність, ніж розподіл пам'яті за випадковим місцем. Культурель та ін. [4] досліджували продуктивність політики зберігання на основі повного обороту та політики на основі тривалості перебування. Гетшалькс та ін. [11] представили політику на основі тривалості перебування, згідно з якою елементи з найкоротшою тривалістю в місці зберігання призначаються до найближчої до точки вводу/виводу області. Вони використовували час переміщення стекера як критерій продуктивності. Їхнє дослідження показує, що політика зберігання на основі повного обороту перевершує політику на основі тривалості перебування, але за деяких умов різниця в продуктивності між політикою зберігання на основі повного обороту та політикою на основі тривалості перебування не є важливою.

Пакетування

Комплектування замовлень штабелерами здійснюється двома способами: поодиноким комплектуванням замовлень та пакетуванням замовлень. У першому випадку штабелер отримує лише одне замовлення за один рейс.

Поодиноке комплектування замовлень застосовується, коли штабелер не може зібрати кілька замовлень одночасно або розмір замовлення великий. Що стосується пакування замовлень, то штабелер збирає кілька замовлень за один рейс. Перевагою пакування є скорочення часу пересування штабелера.

Існує кілька евристик для задачі пакетної обробки, і найбільш використовуваною є алгоритм початкового значення, представлений Елсайєдом [8]. Цей метод включає три фази, такі як вибір початкового значення, додавання замовлення та умова зупинки. На першому кроці партії починаються з вибору замовлення, яке називається початковим значенням. Початкове значення вибирається відповідно до кількох правил, таких як замовлення з найменшою або найбільшою кількістю елементів, замовлення з найменшою або найбільшою кількістю місць зберігання, які укладач повинен відвідати для виконання замовлення тощо. Потім нерозподілені замовлення розподіляються між партіями відповідно до правил додавання замовлень. У літературі доступні різноманітні правила додавання замовлень. Елсайєд та Стерн [3] представляють додавання замовлень з найбільшою кількістю спільних місць комплектування з партіями. Де Костер та ін. [4] припускають, що додавання замовлення до партій враховує максимальне скорочення часу подорожі. Зрештою, рішення про те, чи завершено партії, визначається обмеженнями потужності або часовими обмеженнями.

Пан та ін. [24] порівняли алгоритми групування порядків за допомогою комп'ютерного моделювання, розглянувши чотири правила вибору початкового елемента та чотири правила додавання порядків. Вони дійшли висновку, що ємність стека є єдиним фактором, який впливає на алгоритми групування порядків. Алгоритм, запропонований Хвангом та ін. [17], який обробляє порядки відповідно до їх коефіцієнтів подібності, має кращу продуктивність, ніж інші 15 алгоритмів.

Точка зупинки

Точка зупинки – це місце, де простоюючий штабелер очікує наступного замовлення. Слід вирішити, де розташувати простоюючий штабелер, щоб

мінімізувати час наступного переміщення. Бозер та Вайт представили чотири статичні правила розташування точок зупинки для AS/RS наступним чином.

- Стекер розміщується на вхідній станції після завершення циклу одинарної або подвійної команди.
- Штабелер розташовується посередині стелажа після завершення циклу одинарної або подвійної команди.
- Штабелер розташовується на вхідній станції після завершення одинарного циклу команди для зберігання або на вихідній станції після завершення одинарного або подвійного циклу команди для вилучення.
- Штабелер залишається в останньому місці після завершення циклу одинарної команди для зберігання або знаходиться на станції виведення після завершення циклу одинарної або подвійної команди для вилучення.

Егбелу [6] запропонував правило динамічного вибору точки зупинки, яке використовує метод лінійного програмування. Цільовою функцією задачі є мінімізація очікуваного часу переміщення стекара. Передбачалося, що частота транзакцій відома. Егбелу та Ву порівняли це динамічне правило та вищезгадані чотири статичні правила за політик випадкового та виділеного розподілу пам'яті та продемонстрували, що правило динамічної точки перебування перевершує чотири статичні правила.

Послідовність виконання замовлень на зберігання та вилучення

В AS/RS важливо упорядковувати замовлення на зберігання та вилучення для ефективності та терміновості. Як правило, для замовлень на зберігання застосовується правило «хто перший прийшов, той перший обслуговується». Однак, не слід розглядати лише правило «хто перший прийшов, той перший обслуговується» для замовлень на вилучення. Вкрай важливо, щоб вимоги були доставлені клієнту до встановленого терміну. Під час упорядкування замовлень на вилучення необхідно враховувати як ефективність системи, так і терміни виконання. Штабелери працюють двома способами, такими як одноциклова та двоциклова команда. В одноцикловій команді замовлення на зберігання або вилучення обробляються за один цикл. Якщо штабелер виконує замовлення на

зберігання та вилучення за один рейс, операція називається циклом подвійного командування. Замовлення на зберігання та вилучення можуть бути об'єднані в пару для використання циклу подвійного командування. Враховуючи час переміщення, Грейвс та ін. [12] показали, що цикл подвійного командування є більш вигідним, ніж цикл однієї команди. У своєму дослідженні вони згадували цикл одного та двох команд як «без чергування» (NIL) та «чергування». Ебен-Хайме та ін. [6] досліджували AS/RS, що містить кілька штабелерів, за різних тактик управління операціями. За винятком високого рівня пропускну здатності, гібридний режим, у якому укладач працює з одно- та двома циклами команд, перевершує двоцикловий. Зменшуючи час переміщення укладача, можна збільшити пропускну здатність системи, а також зменшити експлуатаційні витрати укладача.

Хан та ін. [13] представляють два методи вирішення проблеми секвенування в динамічному середовищі. У першій процедурі, яка називається блочним секвенуванням, найтерміновіші замовлення на зберігання та пошук вибираються як блок, а потім замовлення в цьому блоці упорядковуються. Після завершення цього блоку вибирається новий блок і так далі. Інший метод називається динамічним секвенуванням. Замовлення переупорядковуються з урахуванням термінів виконання, коли надходить нове замовлення. У літературі існують різні методи динамічного секвенування. Деякі з цих методів узагальнено наступним чином.

У порядку живої черги. Замовлення на вилучення вибираються в порядку часу прибуття.

Найкоротший термін виконання. Замовлення на вилучення, яке має найкоротший час виконання, обробляється першим.

Найближчий сусід. Хан та ін. [13] запропонували цей метод. В одному циклі порядки зберігання та вилучення вибираються таким чином, щоб відстань між місцем зберігання та вилучення була мінімальною.

Найкоротша нога. Хан та ін. [13] також запропонували цей метод. У цьому методі місця зберігання та місця вилучення вибираються таким чином, щоб сума

часу подорожі до місця зберігання та часу подорожі між місцем зберігання та місцем вилучення була мінімальною.

Хан та ін. [13] порівнювали метод найближчого сусіда з методом «хто перший прийшов, той перший обслуговується» і дійшли висновку, що метод найближчого сусіда має менший середній час пересування. Вони також порівнювали метод найближчого сусіда з методом найкоротшої ділянки. Зрештою, метод найближчого сусіда є кращим за метод найкоротшої ділянки. Оскільки палетні вантажі призначаються близьким до точки вводу/виводу місцям, а місця, віддалені від точок вводу/виводу, залишаються відкритими. Таким чином, ця ситуація збільшує час пересування штабелера.

Вимірювання продуктивності автоматизованих систем зберігання та пошуку

У літературі існує кілька критеріїв ефективності для оцінки правил проектування та керування AS/RS. Більшість дослідників обирають час проходження як показник ефективності для AS/RS. В інших випадках як критерії ефективності вивчаються час очікування продуктів, час очікування штабелерів, кількість продуктів, оброблених за період часу, та кількість продуктів, що очікують у черзі.

Хаусман та ін. [14] розробили моделі часу проходження для AS/RS з одиничним навантаженням, які працюють з одним циклом команд. У їхній моделі точка вводу/виводу знаходиться в кінці стійки та Вони досліджували випадкові, повні оборотні та класові розподіли пам'яті. Грейвз та ін. [12] вивчали політики розподілу пам'яті та чергування. Бозер та ін. [1] представляють моделі часу проходження для альтернативних точок вводу/виводу, застосовуючи подвійний цикл команд та випадковий розподіл пам'яті. Також вони досліджували різні стратегії точок зупинки. Чанг та ін. [3] враховували профіль швидкості укладача з відомим прискоренням та уповільненням за політики випадкового зберігання. Чанг та ін. [3] розширюють свою роботу, включаючи конфігурацію стелажів. Вень та ін. [30] вивчали розподіл пам'яті на основі класів

та розподіл пам'яті на основі повного обороту з різними профілями швидкості укладача.

Результати опитування

Як можна побачити в цьому розділі, проблеми AS/RS взаємопов'язані одна з одною. Рисунок 1.11, адаптований з роботи Рудбергена та ін., підсумовує взаємозв'язки між рішеннями AS/RS.



Рисунок 1.11 - Короткий огляд проблем проектування AS/RS.

Як видно з рисунка 1.11, рішення щодо фізичного проектування та проектування систем керування впливають одне на одне та, як наслідок, впливають на продуктивність усієї системи. Також AS/RS є частиною складу, тому під час прийняття рішень щодо проектування AS/RS слід враховувати інше обладнання (AGV, конвеєри тощо) складу. Наприклад, іншу систему слід враховувати під час визначення кількості точок вводу/виводу та їх розташування. Через високу інвестиційну вартість AS/RS важливо враховувати

всі параметри під час проектування системи. Крім того, система повинна задовольняти поточні та майбутні вимоги.

Якщо розглядати літературу з проблем проектування AS/RS загалом, більшість досліджень проводилися в статичному середовищі. Тоді як сучасне конкурентне бізнес-середовище повинно задовольняти мінливі потреби клієнтів. Динамічні методи вирішення проблем проектування AS/RS забезпечують кращі результати, ніж статичні методи.

Ще одним недоліком літератури є той факт, що дослідження розглядають обмежену кількість проектних рішень одночасно. Тому ми не можемо отримати глобально оптимальні рішення, і це спричиняє розбіжності між теоретичними дослідженнями та їхнім застосуванням на практиці.

2. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1. Архітектура системи складування

Мехатронні системи – це інтеграція фізичних систем, що включає датчики та виконавчі механізми, електроніку, комп'ютери та елементи керування. У мехатронних системах існує потік даних між фізичною системою та системою керування. Система керування – це інтелектуальна частина загальної системи, а фізична система призначена для взаємодії між системою керування та світом. Система керування може бути мікроконтролерами або інтерфейсом через середовище інтерфейсу з комп'ютерами.

В рамках цієї роботи розроблено та виготовлено спеціалізоване середовище інтерфейсу як систему низького рівня керування для AS/RS.

Архітектура

В рамках цієї дипломної роботи розроблено та виготовлено спеціалізоване середовище інтерфейсу для AS/RS. Як показано на рисунку 2.1, середовище високого рівня керування у вигляді робочого столу з фізичною мініатюризованою системою у вигляді AS/RS, якою потрібно керувати. Також середовищем інтерфейсу буде середовище низького рівня керування.

З літератури та досліджень лабораторій, пов'язаних з AS/RS, видно, що поточна AS/RS має основні компоненти подібних систем, як конвеєри, штабелер, стелаж та робота-маніпулятор. Тому не очікується надмірного розширення сама по собі. Крім того, поточна система може бути підсистемою складу. На цьому етапі важливими є два питання. По-перше, компоненти фізичної системи повинні працювати синхронно. Модулі середовища інтерфейсу вибираються з урахуванням цього критерію. З іншого боку, якщо поточна система буде підсистемою складу або для AS/RS буде потрібне розширення, конструкція повинна забезпечувати розширення для майбутніх розробок.

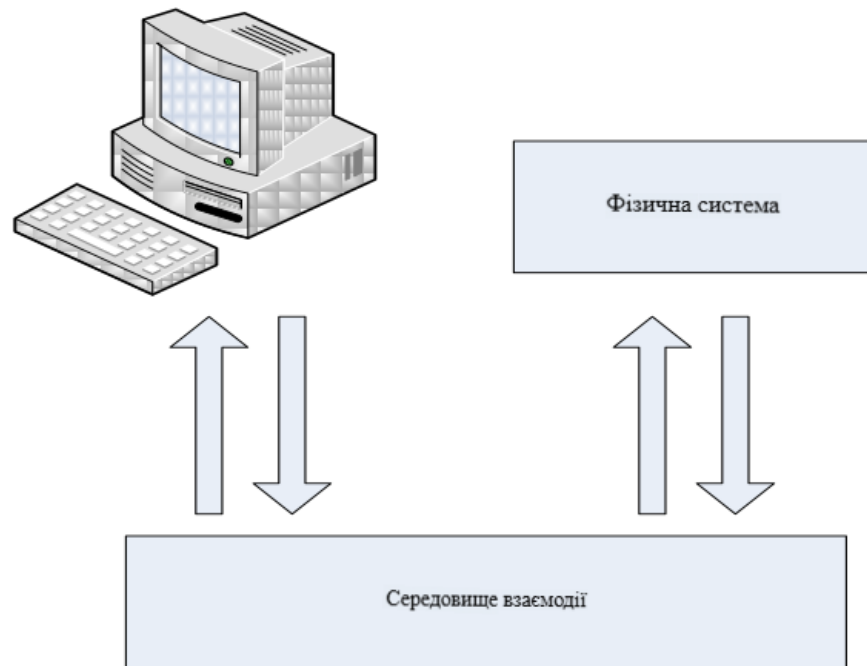


Рисунок 2.1 - Загальна система

Таким чином, буде дві плати, які взаємодіють з комп'ютером по одній. Коли система потребує розширення, обмежена кількість плат може бути підключена до комп'ютера та взаємодіяти з поточною AS/RS через комп'ютер (рисунок 2.2). Це розширення обмежене кількістю послідовних портів комп'ютера.

Зв'язок між програмою керування та інтерфейсним середовищем може здійснюватися за допомогою різних протоколів зв'язку. Кожен протокол зв'язку має переваги та недоліки. Потенційні протоколи зв'язку будуть розглянуті нижче, і один з них буде обраний відповідно до простоти використання, швидкості та розширюваності як критерію проектування.

Послідовний порт. При послідовному порту дані передаються по одному біту за раз через кабелі стандарту RS-232. Для цього стандарту призначений 9-контактний роз'єм типу D. Послідовний зв'язок дозволяє синхронну або асинхронну передачу. Швидкість з'єднання для сучасних комп'ютерів може бути збільшена до 115 Кбіт/с.

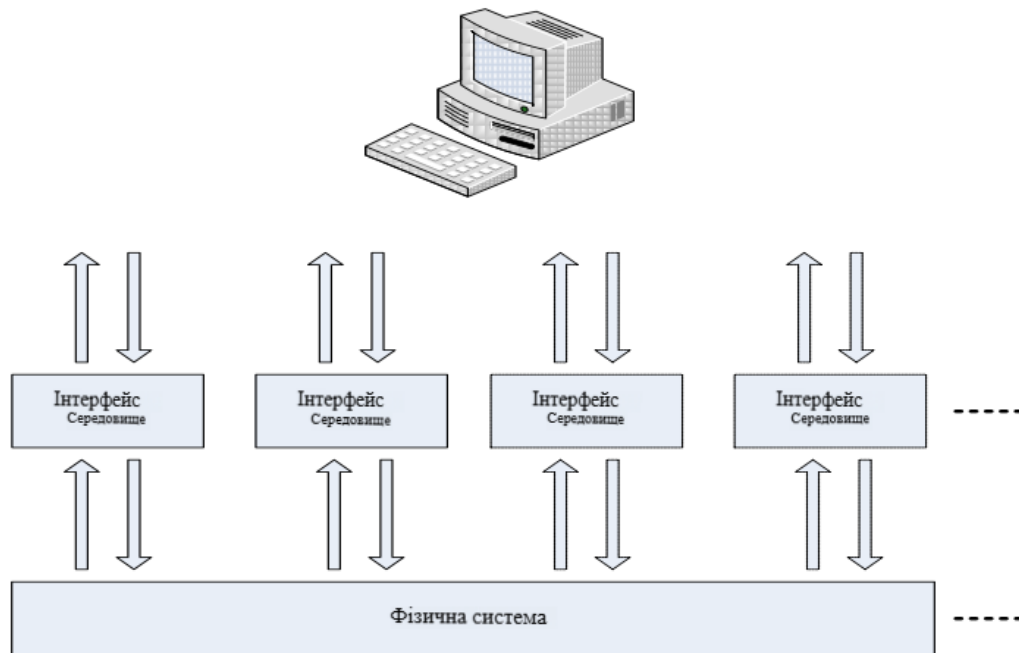


Рисунок 2.2 - Розширена архітектура

Паралельний порт. Паралельний порт – це зв'язок, при якому інформація передається в або з одного дроту. Максимальна швидкість зв'язку становить 2,5 Мбіт/с. Паралельні порти не встановлюються на сучасних комп'ютерах з метою економії коштів.

USB-накопичувач. Протокол послідовного зв'язку USB призначений для спільного використання периферійними пристроями комп'ютера стандартного зв'язку. Залежно від версії, USB має чотири типи швидкості передачі: 1,5 Мбіт/с, 12 Мбіт/с, 480 Мбіт/с та 4000 Мбіт/с. Роз'єми USB також передають напругу 5 В та 500 мА, тому деякі пристрої живляться лише від USB-кабелів.

FirewireFirewire — це стандарт інтерфейсу послідовної шини, який використовується комп'ютерами, цифровим відео тощо. Він пропонує високошвидкісний зв'язок і підтримує ізохронні та асинхронні програми. Він має дві версії зі швидкістю передачі даних 400 Мбіт/с та 800 Мбіт/с.

Поточна AS/RS є повільною системою, і не очікується, що вона потребуватиме значного розширення в майбутньому. Усі альтернативи зв'язку задовольняють наші потреби. Тому ми робимо свій вибір, враховуючи простоту, і обираємо послідовний порт для зв'язку між комп'ютером та платами. Хоча

послідовний порт вважається застарілим портом для сучасних комп'ютерів, на ринку існує кілька перетворювачів USB на RS232.

Як ми вже згадували раніше, система розроблена з двох плат як інтерфейсного середовища. Дві встановлені плати позначені як плата обробки та плата стекера. Хоча постійний потік інформації не потрібен, для належної роботи компонентів системи необхідний інформаційний потік між цими двома платами. Існує два основних протоколи для периферійного зв'язку: міжінтегральний (I2C) та послідовний периферійний інтерфейс (SPI). Замість використання цих протоколів вирішено, що програма керування, яка працює на комп'ютері, працює як головна, а плати - як підлеглі. Кожна плата отримує необхідну для себе інформацію від низькорівневої системи керування та надсилає її до програми керування. Вся периферійна інформація збирається в програмі керування, і плати взаємодіють одна з одною через програму керування. На рисунку 2.3 показано загальну архітектуру системи.

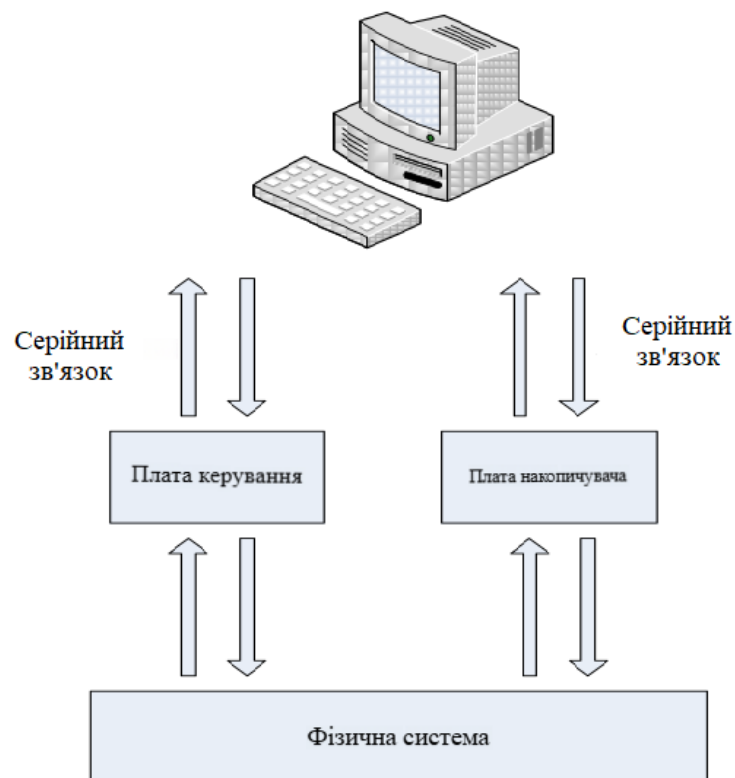


Рисунок 2.3 - Загальна архітектура

Фізична система, розміщена в лабораторії комп'ютерно-інтегрованого виробництва, складається переважно з шести частин. Компоненти AS/RS детально представлені з точки зору завдань у системі та їх властивостей. На рисунку 2.4 показано загальний вигляд системи.



Рисунок 2.4 - Компонування системи

Вхідний піддон. Це двонаправлений конвеєр з постійною швидкістю. 12-вольтовий двигун постійного струму приводить у рух стрічку конвеєра, передаючи електричний струм через редуктор. На обох кінцях конвеєра є два кінцеві вимикачі для зупинки піддону. Піддон закріплений на конвеєрі. Швидкість конвеєра становить 4 см/с, а його довжина — 40 см. Він може транспортувати лише один продукт за один цикл. Керування здійснюється за допомогою маніпулюючої панелі.

Завданням вхідного піддону є переміщення вхідних продуктів до манипулятора робота. Коли продукт надходить у систему, оператор вважає, що він знаходиться на піддоні. Потім піддон рухається до робота, поки кінцевий вимикач, розташований на боці манипулятора робота, вимкнений. Після ввімкнення кінцевого вимикача піддон зупиняється та очікує розвантаження манипулятором робота. Коли манипулятор робота розвантажує піддон, він

рухається у зворотному напрямку для транспортування нового замовлення на зберігання. Піддон зупиняється, коли ввімкнено інший кінцевий вимикач, і так далі.

Роботизована рука. Це послідовний маніпулятор із чотирма ступенями свободи та довжиною шарнірів 10 см, 7 см, 15 см. На маніпуляторі робота встановлено чотири двигуни постійного струму 12 В з однаковою швидкістю. Три двигуни відповідають за рух шарнірів, а один – за захоплення продуктів. Три оптичні датчики використовуються для вимірювання положення маніпулятора робота. Також на роботі є п'ять кінцевих вимикачів. Чотири кінцеві вимикачі призначені для орієнтації робота в референтне положення. На початку прошивки плати обробки, яка керує маніпулятором робота та вхідним піддоном, двигуни рухаються до референтного положення. Якщо будь-який з кінцевих вимикачів увімкнений, відповідний двигун зупиняється. Інший кінцевий вимикач призначений для вимірювання того, чи був продукт захоплений, чи ні.

Роботизована рука обслуговує вхідний піддон, вихідний піддон та штабелер. Після забирання вхідного продукту з вхідного піддону, робота рухається до точки введення/виведення. Якщо штабелер також знаходиться в точці введення/виведення, робот розміщує продукт на піддоні, який знаходиться на човнику. Якщо штабелер переносить продукт зі стелажа до точки введення/виведення, робота підбере цей продукт і рухатиметься до вихідного піддону. Коли робот досягне вихідного піддону, він завантажує продукт на вихідний піддон.

Вихідний піддон. Це двонаправлений конвеєр з постійною швидкістю. 12-вольтовий двигун постійного струму приводить у рух конвеєрну стрічку, яка передає вібрацію через редуктор. На обох кінцях конвеєра є два кінцеві вимикачі для зупинки піддону. Піддон закріплений на конвеєрі. Швидкість конвеєра становить 4 см/с, а його довжина — 40 см. Він може транспортувати лише один продукт за один цикл. Керування здійснюється за допомогою штабелера.

Завданням вихідного піддону є переміщення вихідних продуктів до оператора. Після розвантаження продукту зі штабелера, продукт завантажується на піддон за допомогою маніпулятора робота. Потім піддон рухається до оператора, поки кінцевий вимикач з боку оператора вимкнений. Після ввімкнення кінцевого вимикача конвеєр зупиняється та очікує розвантаження оператором. Коли оператор розвантажує піддон, він рухається у зворотному напрямку для транспортування нового запиту на вилучення. Піддон зупиняється, коли ввімкнений інший кінцевий вимикач, і так далі.

Штабелер. Штабелер має можливість рухатися у трьох напрямках: горизонтальному, вертикальному та човниковому. Для переміщення штабелера встановлено три двигуни постійного струму 12 В.

Два двигуни постійного струму, які забезпечують горизонтальний та вертикальний рух, потужніші за двигун човника. Горизонтальний, вертикальний та човниковий двигуни мають швидкість 3 см/с, 1 см/с та 5 см/с відповідно. Шість кінцевих вимикачів використовуються для визначення ряду, в якому знаходиться штабелер. Крім того, колона, в якій знаходиться штабелер, визначається сімома кінцевими вимикачами на проході. Два інших кінцеві вимикачі використовуються на межах човника для розміщення продуктів на стелажах або забирання продуктів зі стелажів. Керування здійснюється платою штабелера.

Основним завданням штабелера є зберігання продуктів на стелажах та їх вилучення зі стелажа. Перш ніж робот-маніпулятор перенесе продукт до точки вводу/виводу, штабелер бере вільний піддон з четвертої колонки. Четвертий стовпець у стійці призначений для вільних піддонів. Потім штабелер з порожнім піддоном рухається до точки вводу/виводу для забору продукту. Після завантаження штабелера він переміщується до місця зберігання, призначеного програмою керування. Коли програма керування надсилає команду на вилучення до AS/RS, штабелер переміщується до місця вилучення, знову вибраного програмою керування. Потім штабелер забирає продукт зі стелажа за допомогою човника та повертається до своєї точки вводу/виводу. Після того, як робот-

маніпулятор забере продукт зі штабелера, штабелер переміщується до четвертої колонки, щоб повернути вільний піддон на стелаж для наступного замовлення на зберігання. Якщо немає негайного замовлення на зберігання, штабелер залишається в останньому місці або переміщується до вибраної точки затримки відповідно до вибраних правил керування.

Прохід. Прохід можна розглядати як рейку, по якій штабелер легко рухається. Довжина проходу становить 2 м. На проході є сім кінцевих вимикачів для контролю кожної колони. Кінцеві вимикачі передають цю інформацію на плату штабелера.

Стійки. Він має 21 комірку для зберігання, розташовану в масиві 3X7. Усі комірки однакового розміру. Розміри кожної комірки становлять 20 см X 20 см X 20 см.

2.2. Апаратне забезпечення

Вибір мікроконтролера – це перший етап процесу проектування. Відбір здійснюється з урахуванням таких критеріїв:

- Ресурси мікросхеми (типи переривань, кількість контактів та переривань)
- Швидкість чіпа
- Наявність на ринку
- Наявність інструментів розробки

Плата керування керує вхідною палетою та маніпулятором робота. Вхідна палета складається з двох кінцевих вимикачів та двигуна постійного струму. Маніпулятор робота складається з п'яти кінцевих вимикачів, чотирьох двигунів постійного струму та трьох енкодерів. Враховуючи ці виконавчі механізми та датчики, вибраний мікроконтролер повинен забезпечувати щонайменше 20 цифрових входів/виходів. Відбивні оптичні датчики мають вирішальне значення для позиціонування маніпулятора робота. Якщо стан будь-якого з цих 3 енкодерів змінюється, вбудована програма повинна перервати виконання

програми. Тому для відбивних оптичних датчиків знадобиться 3 переривання при зміні. Також знадобиться зовнішнє переривання для кінцевих вимикачів вхідної палети. Для зв'язку з комп'ютером вибраний чіп повинен мати послідовний порт зв'язку. Вище згадувалося, що швидкість системи низька, тому більшість мікроконтролерів на ринку задовольнити обмеження швидкості. Після виключення мікросхем з урахуванням ресурсів та функцій залишається вибір марки мікросхеми та конкретної моделі. Це рішення приймається відповідно до наявності на ринку, популярності моделі та наявності засобів розробки. Враховуючи ці критерії, для плати обробки обрано мікроконтролер Microchip 16F877A з 40 виводами.

Вхідна палітра складається з двох кінцевих вимикачів та двигуна постійного струму. Кінцеві вимикачі зазвичай знаходяться у стані «вимкнено». Якщо один з кінцевих вимикачів знаходиться у стані «увімкнено», двигун повинен зупинитися. Тільки один з них може бути одночасно у стані «увімкнено». Отже, два вимикачі підключені до вентилі «або» (74HC32), а вихід вентилі «або» підключений до зовнішнього переривання (рисунок 2.5).

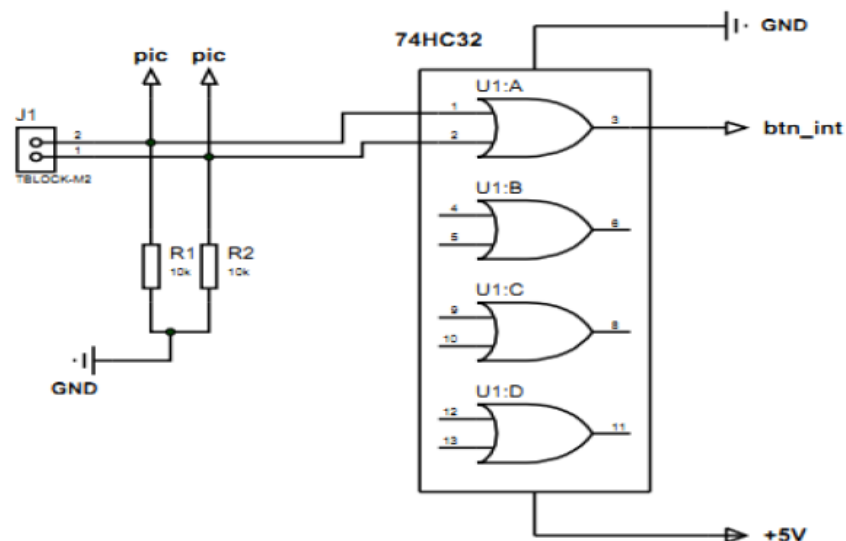


Рисунок 2.5 - Деталі підключення кінцевих вимикачів

Для керування двигуном постійного струму використовується подвійний повний міст-драйвер L298. L298 може керувати двома двигунами, а робоча

напруга становить 46 В з максимальним струмом 4 А. Двигун постійного струму керується з фіксованою швидкістю, тому вихід ШІМ не використовується. Робоча напруга двигуна постійного струму встановлена на рівні 12 В, і це джерело живлення відокремлене від схеми плати керування. Для цього використовується роз'єм для зовнішнього джерела живлення (рисунк 2.6).

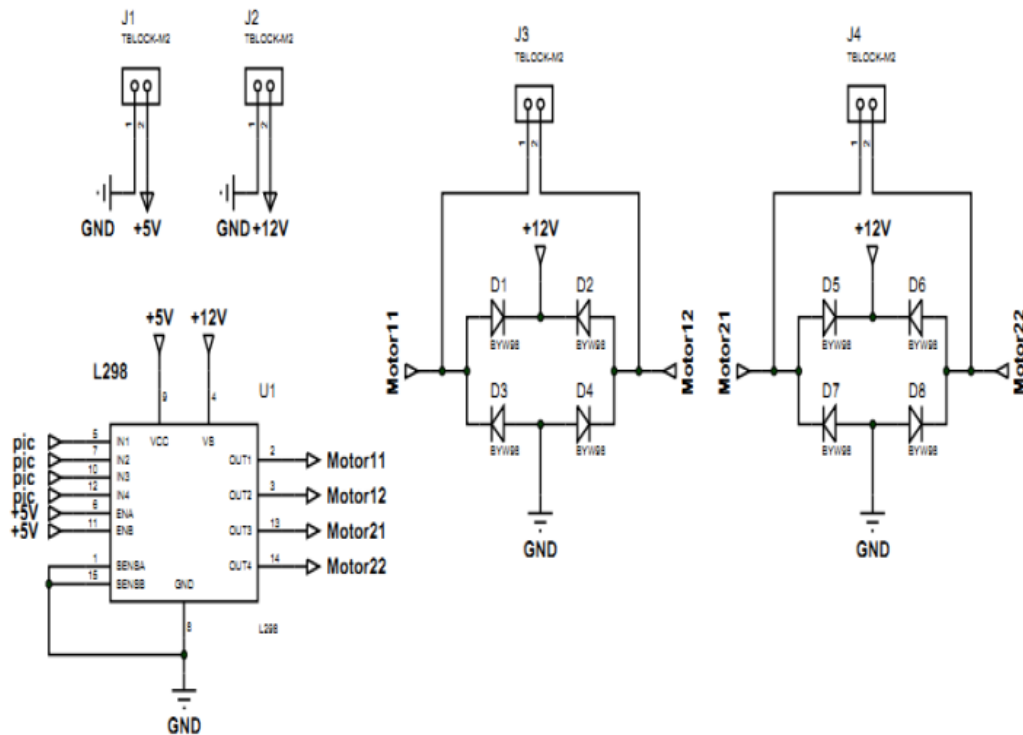


Рисунок 2.6 - Блок керування двигуном

Маніпулятор робота складається з п'яти кінцевих вимикачів, чотирьох двигунів постійного струму, трьох енкодерів і відбивних оптичних датчиків. Чотири кінцеві вимикачі призначені для визначення положення маніпулятора робота. П'ятий призначений для визначення того, чи було піднято продукт. Для кінцевих вимикачів не потрібно використовувати переривання. Тому ці п'ять кінцевих вимикачів безпосередньо підключені до мікроконтролера як цифровий вхід.

Чотири двигуни постійного струму керуються двома драйверами L298. Двигун постійного струму керується з фіксованою швидкістю, тому вихід ШІМ не використовується. Робоча напруга двигунів постійного струму встановлена на рівні 12 В, і це джерело живлення відокремлене від схеми плати керування.

Для визначення положення руки робота використовуються три відбивні оптичні датчики. Датчики підключаються окремо до переривань зміни. Через аналоговий вихід відбивного оптичного датчика для правильного виявлення сигналу використовується шестигранний інвертор Шмітта (74НС14) (рис. 2.7).

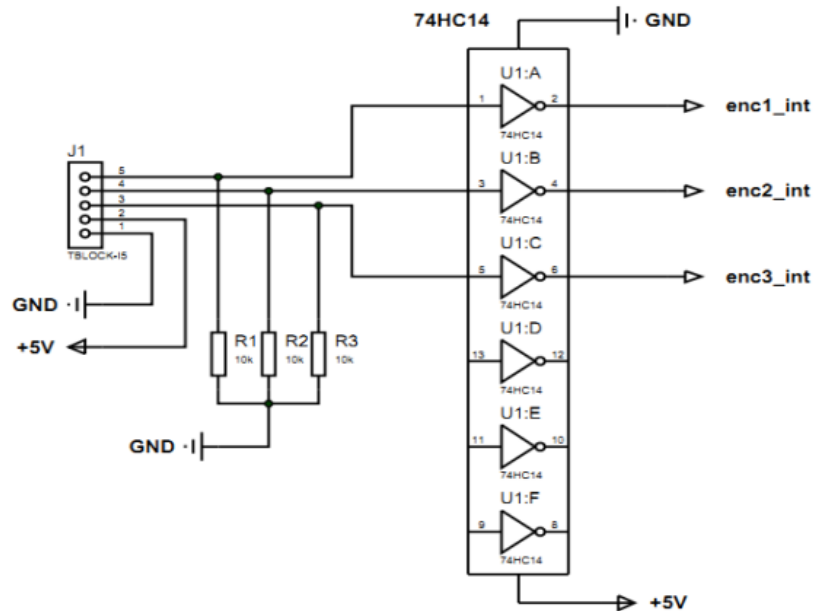


Рисунок 2.7 - Інтерфейс кодерів

Для зв'язку між платою та комп'ютером є комунікаційний блок RS232 (рисунок 2.8).

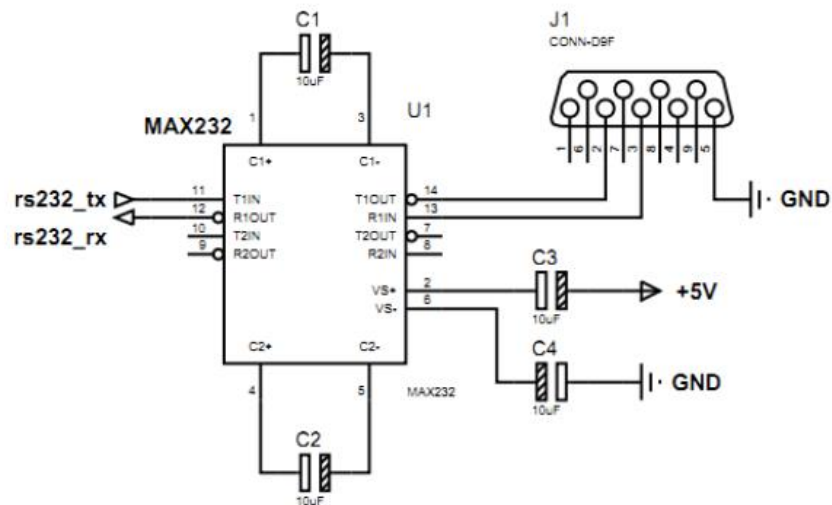


Рисунок 2.8 - Блок зв'язку RS232

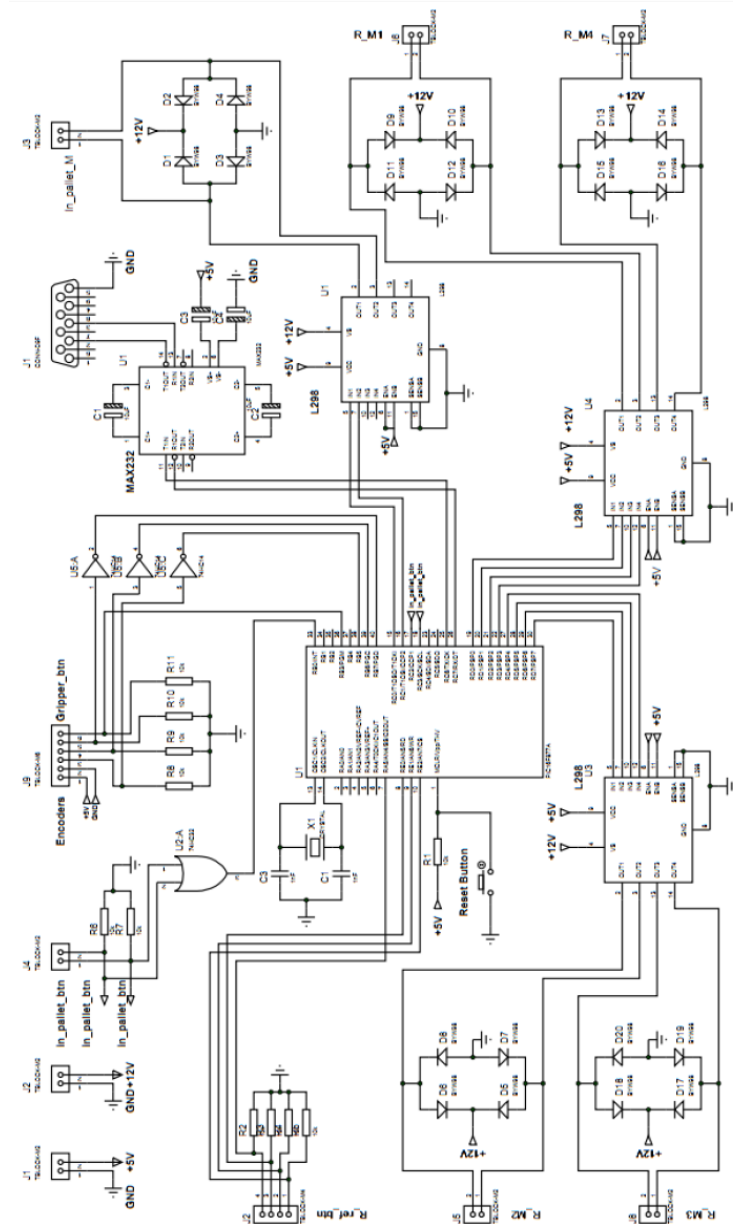


Рисунок 2.9 - Схема дошки керування

У мікроконтролер завантажуються два типи прошивок. Перший – це прошивка завантажувача, а інший – прошивка програми. Прошивка завантажувача записується у флеш-пам'ять мікроконтролера і дозволяє програмістам завантажувати прошивку програми в мікроконтролер через комп'ютер через послідовний порт. Прошивку завантажувача потрібно завантажити в мікроконтролер за допомогою апаратного забезпечення програматора. Потім прошивка програми завантажується в мікроконтролер через комп'ютер через послідовний порт.

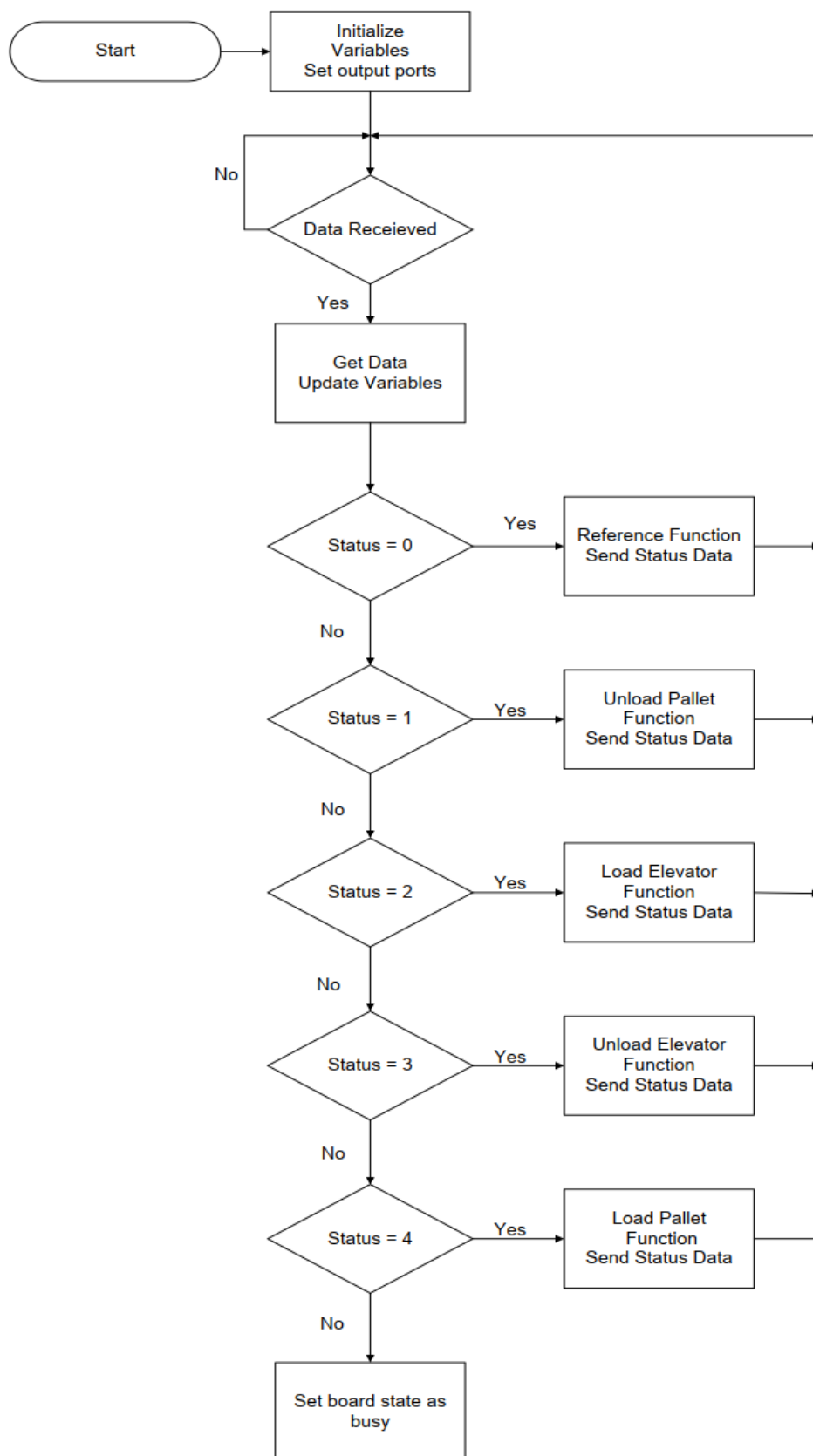


Рисунок 2.10 - Блок-схема прошивки плати керування

Прошивка починається з ініціалізації змінних. Прошивка включає три процедури переривання: при зміні, зовнішній та послідовний зв'язок, а також функції, пов'язані з маніпулятором робота, такі як опорне значення, розвантаження піддону, завантаження піддону, завантаження штабелера та розвантаження штабелера. Потім основний цикл починається з встановлення низького рівня вихідних портів (0 В) для зупинки двигунів. Після завершення цих налаштувань основна функція очікує отримання даних з послідовного порту. Якщо з послідовного порту отримано деякі дані, запускається процедура переривання послідовного порту, і змінні стану оновлюються відповідно. Програма керування, яка працює на комп'ютері, не надсилає жодних даних, якщо стан плати зайнятий. В основному циклі викликаються функції, пов'язані з маніпулятором робота, відповідно до змінних стану. Ці функції викликають функцію позиціонування для керування положенням маніпулятора робота. Функція позиціонування визначає, чи знаходиться маніпулятор робота в потрібному положенні, за допомогою методу опитування. Метод опитування використовує дані трьох енкодера для прийняття рішення. Дані енкодера зчитуються процедурою переривання при зміні. Після завершення будь-якої функції, пов'язаної з маніпулятором робота, стан плати встановлюється як не зайнятий, а змінна стану встановлюється на шість. Змінна стану, яка повідомляє про завершення функції, надсилається на комп'ютер через послідовний порт. Зовнішня процедура переривання керує рухом вхідного піддону.

2.3. Апаратне та програмне забезпечення штабелювальної дошки

Вибір мікроконтролера – це перший етап процесу проектування. Відбір здійснюється з урахуванням наступних критеріїв:

- Ресурси мікросхеми (типи переривань, кількість контактів та переривань)
- Швидкість чіпа
- Наявність на ринку

- Наявність інструментів розробки

Плата керування керує вихідним піддоном та укладачем. Вихідний піддон складається з двох кінцевих вимикачів та двигуна постійного струму. Укладач складається з шести кінцевих вимикачів у вертикальному напрямку, семи кінцевих вимикачів у горизонтальному напрямку, двох кінцевих вимикачів для руху човника та трьох двигунів постійного струму. Враховуючи ці виконавчі механізми та датчики, вибраний мікроконтролер повинен забезпечувати щонайменше 25 цифрових входів/виходів. Кінцеві вимикачі мають критичне значення для позиціонування укладача. Якщо стан будь-якого з цих 15 кінцевих вимикачів зміниться, вбудована програма повинна перервати виконання програми. Таким чином, для кінцевих вимикачів знадобиться 3 переривання при зміні. Також знадобиться зовнішнє переривання для кінцевих вимикачів вихідного піддону. Для зв'язку з комп'ютером вибраний чіп повинен мати послідовний порт зв'язку. Вище згадувалося, що швидкість системи низька, тому більшість мікроконтролерів на ринку задовольняють обмеження швидкості. Після виключення чіпів з урахуванням ресурсів та функцій залишається вибір марки чіпа та конкретної моделі. Це рішення приймається відповідно до наявності на ринку, популярності моделі та наявності інструментів розробки. Враховуючи ці критерії, для плати Stacker було обрано мікроконтролер Microchip 16F877A з 40 виводами.

Вихідна паллета складається з двох кінцевих вимикачів та двигуна постійного струму. Кінцеві вимикачі зазвичай знаходяться у стані «вимкнено». Якщо один із кінцевих вимикачів знаходиться у стані «увімкнено», двигун повинен зупинка. Тільки один з них може бути одночасно увімкненим. Отже, два перемикачі підключені до логічного елемента «або» (74НС32), а вихід логічного елемента «або» підключений до зовнішнього переривання.

Для керування двигуном постійного струму використовується драйвер подвійного повного мосту L298. Двигун постійного струму керується з фіксованою швидкістю, тому вихід ШІМ не використовується. Робоча напруга

двигуна постійного струму встановлена на рівні 12 В, і це джерело живлення відокремлене від схеми плати стекера.

На підлозі є сім кінцевих вимикачів для керування штабелером у певному стовпці. Тільки один з них може бути одночасно увімкнено. Отже, сім вимикачів підключені до вентиля «або» (74НС32), а вихід вентиля «або» підключений до переривання зміни. У якому рядку човник керується шістьма кінцевими вимикачами, які розташовані у вертикальному напрямку. Подібно до горизонтальних вимикачів, один з вертикальних вимикачів може одночасно бути увімкнено, а вертикальні вимикачі підключені до вентиля «або» (74НС32), а вихід вентиля «або» підключений до переривання зміни. Два кінцеві вимикачі керують рухом човника. Один з них знаходиться на межі руху човника вперед, а інший - на межі руху човника назад. Один з двох вимикачів може бути одночасно увімкнено. Отже, два вимикачі підключені до вентиля «або» (74НС32), а вихід вентиля «або» підключений до переривання зміни.

Три двигуни постійного струму керуються двома драйверами L298. Усі двигуни постійного струму керуються з фіксованою швидкістю, тому вихід ШІМ не використовується. Робоча напруга двигунів постійного струму встановлена на рівні 12 В, і це джерело живлення відокремлене від схеми плати керування. Для цього використовується роз'єм для зовнішнього джерела живлення. Два двигуни постійного струму переміщують укладач горизонтально та вертикально, а інший - для руху човника.

Є блок зв'язку RS232, деталі підключення якого наведено вище. Схематичне зображення схеми стекера представлено на рисунку 2.11.

Прошивка починається з ініціалізації змінних. Прошивка включає три процедури переривання: при зміні, зовнішній та послідовний зв'язок, а також функції, пов'язані зі стекером, такі як опорна, завантажувальна та розвантажувальна. Потім основний цикл починається з встановлення низького рівня вихідних портів (0 В) для зупинки двигунів. Після завершення цих налаштувань основна функція очікує отримання даних з послідовного порту.

Якщо з послідовного порту отримано деякі дані, запускається процедура переривання послідовного порту, і змінні стану оновлюються відповідно.

Програма керування, яка працює на комп'ютері, не надсилає жодних даних, якщо стан плати зайнятий. Отримані дані від програми керування складають один байт і містять інформацію про тип функції, де розташувати стекер у вертикальному та горизонтальному напрямках.

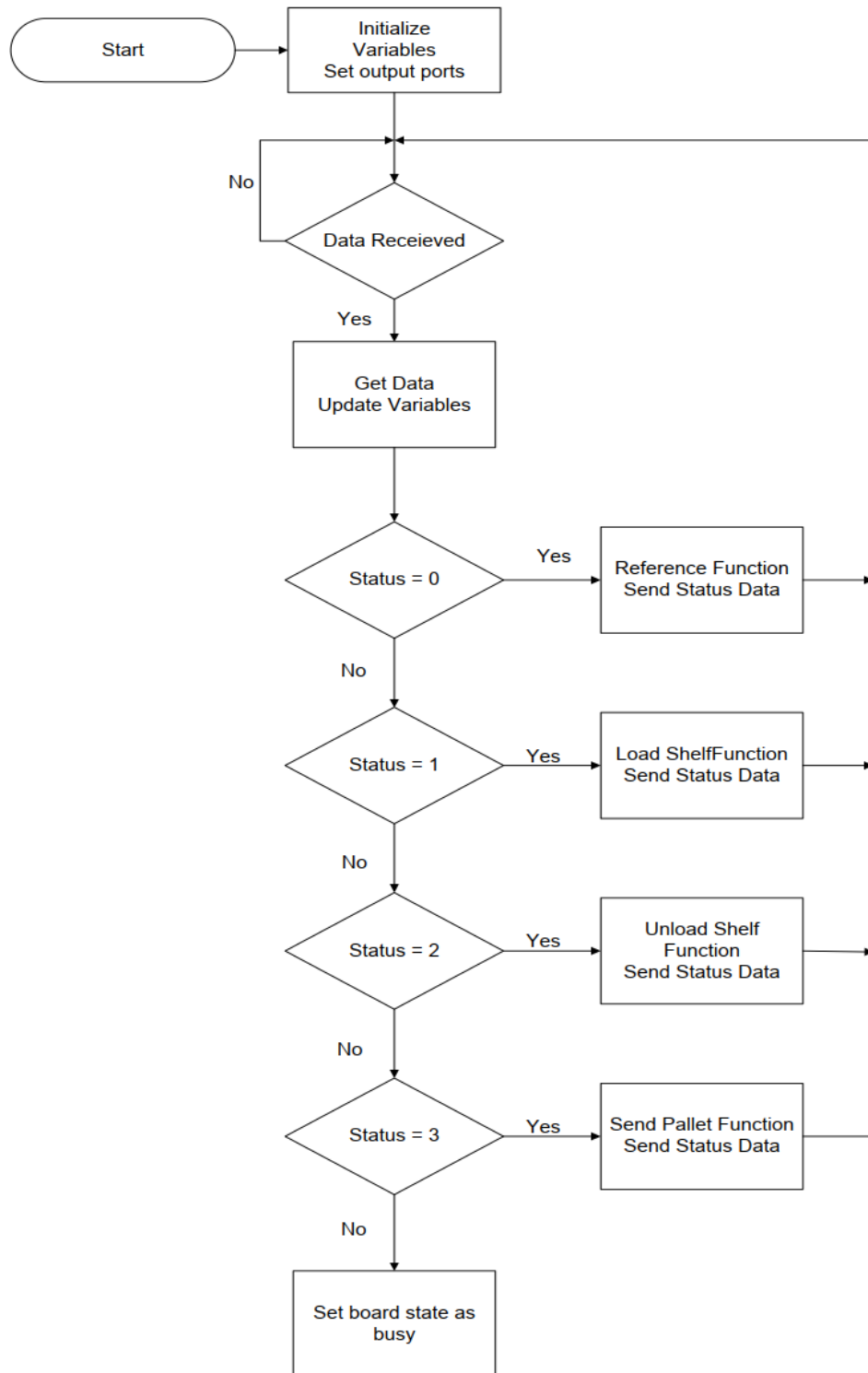


Рисунок 2.12:Блок-схема алгоритму роботи плати

Мод 4 отриманих даних надає інформацію про те, яку функцію виконуватиме прошивка. В основному циклі викликаються функції, пов'язані зі стекером, відповідно до змінних стану. Ці функції визначають, чи знаходиться

стекер у потрібному положенні, за допомогою методу опитування. Метод опитування використовує дані п'ятнадцяти кінцевих вимикачів для прийняття рішення. Дані кінцевих вимикачів зчитуються процедурою переривання при зміні. Після виконання будь-якої функції, пов'язаної зі штабелером, стан плати встановлюється як "не зайнята", а змінна стану встановлюється на шість. Змінна стану, яка сповіщає про завершення функції, надсилається на комп'ютер через послідовний порт. Зовнішня процедура переривання керує рухом вихідної піддони.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка спеціалізованого програмного забезпечення

Однією з цілей цієї роботи є розробка спеціалізованої програми керування для AS/RS. Програма керування є інтелектуальною частиною системи та забезпечує високий рівень керування. Також розроблено графічний інтерфейс користувача (GUI) для зручного використання системою кінцевими користувачами. Програма керування написана на .NET Framework C# та позначена як мініатюрне керування AS/RS.

Під час процесу проектування мініатюрного керування AS/RS особливого значення надається застосовності рішень керування до поточної системи. Ці вищезгадані рішення керування включають призначення пам'яті, пакетування, точку затримки та послідовність запитів на зберігання та вилучення. Пакетування не може бути застосоване до системи, оскільки стекер AS/RS є одношаровим стекером. Мініатюрне керування AS/RS також зберігає інформацію про вимірювання продуктивності для порівняння результатів експерименту.

Перш ніж надати детальну інформацію про мініатюрне керування AS/RS, слід коротко пояснити використання програми. Спочатку початкові стани полиць встановлюються за допомогою графічного інтерфейсу. Після вибору приймаються рішення щодо керування (призначення місця для зберігання, розташування точки витримки, послідовність замовлень на зберігання та вилучення), встановлюються час прибуття та терміни виконання замовлень, а потім замовлення вставляються в послідовність замовлень. Далі запускається послідовність автоматизації. Під час операції дані вимірювання продуктивності та журнал можна відстежувати за допомогою графічного інтерфейсу. За бажанням, ця інформація зберігається у вигляді текстового файлу після завершення операції.

Мініатюризовані методи та події керування AS/RS

Мініатюризований елемент керування AS/RS містить переважно поля, методи та події. Усі поля встановлені як публічні, тому користувачі мають до них доступ, але налаштування деяких із цих полів обмежене в графічному інтерфейсі. Наприклад, кінцеві користувачі не можуть встановити час надходження замовлень як нереалістичне значення. Типи, модифікатори та визначення полів представлені в таблиці 3.1. Усі методи класифіковані за використанням та представлені відповідно до цієї класифікації. Методи та події наведено в таблиці 3.2 та таблиці 3.3.

Таблиця 3.1

Поля змінних для керування AS/RS

Тип	Ім'я	Визначення
int[,]	Shelves	Штати полиць
int[,]	CostOfEmptyShelfs	Відстані від полиць до точки вводу/виводу
int[,]	CostOfALoadedShelfs	Відстані від полиць, завантажених продуктом А, до точки вводу/виводу
int[,]	CostOfBLoadedShelfs	Відстані від полиць, завантажених продуктом В, до точки вводу/виводу
byte[]	Pic1Finish	Отримано дані від Ради з обробки
byte[]	Pic2Finish	Отримано дані від дошки укладача
byte[]	Pic1Send	Дані для надсилання до Ради з обробки
byte[]	Pic2Send	Дані для надсилання на плату укладача
bool	Pic1Busy	Стан правління
bool	Pic2Busy	Стан ради укладачів
Int	calculatedX	Розрахункове розташування колони штабелера для завантаження продукту
int	calculatedY	Розраховане розташування ряду штабелера для завантаження продукту
int	StackerPositionX	Поточне розташування стовпця укладача
int	StackerPositionY	Поточне розташування рядка укладача
int	DwellPointX	Розташування точки зупинки у стовпці
int	DwellPointY	Розташування точки зупинки в рядку
Int	TotalCost	Загальна відстань від полиці до точки вводу/виводу
int	CurrentRequest	Послідовність поточного замовлення

Продовження таблиці 3.1

int[]	ClassBasedAX	Розташування колонок полиць, завантажених продуктом А
int[]	ClassBasedAY	Розташування рядків полиць, завантажених продуктом А
int[]	ClassBasedBX	Розташування колонок полиць, завантажених продуктом В
int[]	ClassBasedBY	Розташування рядів полиць, завантажених продуктом В
Int	calculatedPalletX	Розрахункова колона штабелера для завантаження піддону на полицю
int	calculatedPalletY	Розрахунковий ряд штабелера для завантаження піддону на полицю
int[,]	CostOfPalletLoadedShelfs	Відстані від полиць, завантажених піддонами, до точки вводу/виводу
int[,]	CostOfPalletUnLoadedShelfs	Відстані від порожніх полиць до точки вводу/виводу
int	NumofTardyProduct	Кількість запізнілих продуктів
int	MaxNumofProductInQueue	Максимальна кількість товарів, що очікують у черзі
datetime	ArrivalTime	Час прибуття замовлень
datetime	DueDate	Терміни виконання замовлень
datetime	HandlingTime	Час внесення замовлень до системи
datetime	FinishingTime	Час виходу замовлень із системи
timespan	TravelTime	Час пересування замовлень у системі
timespan	WaitingTime	Час очікування замовлень у черзі

Таблиця 3.2

Методи мініатюрного керування AS/RS

Тип повернення	Ім'я	Аргументи
void	WriteText	void
void	ReadText	void
void	OpenSerialPorts	void
void	CloseSerialPorts	void
void	ArmReference	void
void	UnloadConveyor	void
void	LoadStacker	void

Продовження таблиці 3.2

void	LoadConveyor	void
void	StackerReference	int 4, int 1
void	DwellPoint	int DwellPointX, int DwellPointY
void	PalletObtain	int calculatedPalletX, int calculatedPalletY
void	PalletGetRidOf	int calculatedPalletX, int calculatedPalletY
void	LoadShelf	int calculatedX, int calculatedY
void	UnloadShelf	int calculatedX, int calculatedY
void	ConveyerSend	void
void	CalculateForStore	void
void	CalculateForA	void
void	CalculateForB	void
int	CalculateCost	int StackerPositionX, int StackerPositionY, int x,int y
void	CalculateForUnloadPallet	void
void	CalculateForLoadPallet	void
void	StoreA	void
void	StoreB	void
void	RetrieveA	void
void	RetrieveB	void
void	UpdatePerformanceMeasurement	void
void	Automated	void
void	AcquireAutomationSequence	void

Таблиця 3.3

Події керування AS/RS

Тип повернення	Ім'я	Аргументи
void	SerialPort1_DataReceived	object sender, SerialDataReceivedEventArgs e
void	SerialPort2_DataReceived	object sender, SerialDataReceivedEventArgs e
void	btnReference_Click	object sender, EventArgs e
void	btnAutomated_Click	object sender, EventArgs e
void	btnPause_Click	object sender, EventArgs e
void	btnContinue_Click	object sender, EventArgs e
void	btnStoreA_Click	object sender, EventArgs e
void	btnRetrieveA_Click	object sender, EventArgs e
void	btnStoreB_Click	object sender, EventArgs e
void	btnRetrieveB_Click	object sender, EventArgs e
void	btnShelfState_Click	object sender, EventArgs e
void	btnSetOrderData_Click	object sender, EventArgs e
void	btnInsertOrder_Click	object sender, EventArgs e
void	btnRemove_Click	object sender, EventArgs e
void	btnControlSetting_Click	object sender, EventArgs e
void	btnSaveLog_Click	object sender, EventArgs e
void	btnClearLog_Click	object sender, EventArgs e
void	btnSavePerformance_Click	object sender, EventArgs e
void	btnClearPerformance_Click	object sender, EventArgs e

Методи та події, пов'язані з послідовним портом

OpenSerialPorts. У системі є дві плати, які взаємодіють з комп'ютером одна за одною. Вони використовують два різні послідовні порти: COM1 та COM2. Цей метод встановлює властивості об'єктів послідовного порту та відкриває їх.

CloseSerialPorts. Він закриває об'єкти послідовного порту.

SerialPort1_DataReceived. Коли плата керування завершує свої завдання, вона надсилає одnobайтову змінну до порту COM1. Ця подія відбувається, якщо мініатюрний пристрій керування AS/RS отримує дані з порту COM1. У цьому випадку отримані дані призначаються Pic1Finish, а Pic1Busy, який вказує на готовність плати керування, встановлюється як false.

SerialPort2_DataReceived. Коли плата стекера завершила свої завдання, вона надсилає одnobайтову змінну до порту COM2. Ця подія відбувається, якщо мініатюрний блок керування AS/RS отримує дані з порту COM2. У цьому випадку отримані дані призначаються Pic2Finish, а Pic2Busy, який вказує на готовність плати стекера, встановлюється як false.

Обробка методів та подій, пов'язаних з радою директорів

ArmReference. Він встановлює значення Pic1Send, яке надсилається на плату керування, як 0, і ця змінна надсилається через порт COM1 на плату. Перед надсиланням Pic1Send, Pic1Busy встановлюється як true. Ця змінна вказує на те, що платі надано завдання, і вона виконує цю команду. Мініатюрний блок керування AS/RS не може надати завдання платі керування, доки не отримає дані від плати, які повідомляють про завершення заданого завдання. Коли дані надсилаються на плату керування, манипулятор робота переміщується в опорне положення.

UnloadPallet. Подібно до методу ArmReference, за винятком того, що значення Pic1Send встановлюється на 1, і ця змінна надсилається на плату обробки. Коли дані надсилаються на плату обробки, манипулятор робота переміщується до вхідної піддони, забирає продукт з вхідної піддони та повертається до точки вводу/виводу відповідно.

LoadStacker. Подібно до методу ArmReference, за винятком того, що значення Pic1Send встановлюється на 2, і ця змінна надсилається на плату обробки. Коли дані надсилаються на плату обробки, рука робота переміщується до укладача, завантажує продукт у укладач і відповідно повертається до точки вводу/виводу.

UnloadStacker. Подібно до методу **ArmReference**, за винятком того, що значення **Pic1Send** встановлюється на 3, і ця змінна надсилається на плату обробки. Коли дані надсилаються на плату обробки, маніпулятор робота переміщується до укладача, вивантажує продукт зі укладача та повертається до точки вводу/виводу відповідно.

LoadPallet. Подібно до методу **ArmReference**, за винятком того, що значення **Pic1Send** встановлюється на 4, і ця змінна надсилається на плату обробки. Коли дані надсилаються на плату обробки, маніпулятор робота переміщується до вихідної піддони, завантажує деталь у штабелер і повертається до точки вводу/виводу відповідно.

Методи та події, пов'язані з платою укладача

StackerReference. Цей метод приймає два аргументи: стовпець і рядок, до яких переміститься укладач. Значення змінних стовпця та рядка за замовчуванням для цього методу - 4 та 1, оскільки опорною позицією для укладача є перший рядок і четвертий стовпець стійки. Перед відправкою **Pic2Send** на плату укладача відбувається його кодування. Спочатку значення **Pic2Send** встановлюється на 0. Потім змінна стовпця множиться на 4, а змінна рядка - на 16, і ці змінні додаються до **Pic2Send**. На стороні плати отримані дані декодуються. Також цей метод оновлює **StackerPositionX** та **StackerPositionY**, які містять поточне положення укладача. Зрештою, **Pic2Busy**, що вказує на те, що платі укладача надано завдання і вона виконує цю команду, встановлюється як **true**, а потім **Pic2Send** надсилається через порт **COM2** на плату. Мініатюрний блок керування **AS/RS** не може надати завдання платі укладача, доки не отримає дані від плати, які повідомляють про завершення заданого завдання. Коли **Pic2Send** надсилається на плату укладача, укладач переміщується в опорне положення.

DwellPoint. Подібно до методу **StackerReference**, але цей метод приймає різні значення стовпця та рядка. Коли **Pic2Send** надсилається на плату укладача, укладач переміщується до точки затримки, яка визначається кінцевими користувачами з графічного інтерфейсу.

LoadShelf. Подібно до методу **StackerReference**, але цей метод встановлює початкове значення **Pic2Send** рівним 1, а потім кодує змінну. Коли дані надсилаються на плату укладача, укладач переміщується до обчисленого стовпця та рядка та завантажує продукт на обчислену полицю відповідно.

UnloadShelf. Подібно до методу **StackerReference**, але цей метод встановлює початкове значення **Pic2Send** як 2, а потім кодує змінну. Коли дані надсилаються на плату укладача, укладач переміщується до обчисленого стовпця та рядка та вивантажує продукт з полиці відповідно.

OutputPalletSend. Він встановлює значення **Pic2Send** на 3. Коли дані надсилаються на плату обробки, завантажений вихідний піддон переміщується до оператора.

Вибір полиць для зберігання та вилучення замовлень, пов'язані методи та події

CalculateCost. Цей метод використовується для призначення сховища з найближчим відкритим розташуванням та обчислює мінімальний час переміщення штабелера між поточним розташуванням штабелера та можливим розташуванням наступного штабелера. Він приймає чотири параметри: поточне розташування рядка, поточне розташування стовпця, можливе розташування наступного рядка та можливе розташування наступного стовпця штабелера відповідно. Значення часу переміщення у вертикальному напрямку множиться на 3, оскільки швидкість штабелера в горизонтальному напрямку втричі вища, ніж швидкість штабелера у вертикальному напрямку. Потім мінімальне з цих значень призначається вартості можливого розташування наступного штабелера.

CalculateForStore. Вибирає місце зберігання для замовлення на зберігання двома способами відповідно до вибраного призначення місця зберігання. Якщо в графічному інтерфейсі вибрано «Найближче відкрите місце», загальний час переміщення штабелера для кожної порожньої полиці розраховується шляхом виклику методу **CalculateCost**, а потім визначається місце зберігання поточного замовлення вибирається таким чином, щоб час переміщення штабелера був мінімальним. Для операцій зберігання штабелер переміщується до вибраної

полиці з поточного місця розташування штабелера для комплектації піддону, а потім переміщується до точки вводу/виводу. Після того, як штабелер завантажено маніпулятором робота, він переміщується до вибраної полиці для завантаження продукту на полицю, і це місце стає поточним місцем розташування штабелера. Загальний час переміщення для кожної порожньої полиці розраховується як час переміщення між поточним місцем розташування штабелера та можливим місцем зберігання, а потім додається подвоєний час переміщення між можливим місцем зберігання та точкою вводу/виводу. Якщо в графічному інтерфейсі вибрано «Призначення зберігання на основі класу», полиці поділяються на два класи для двох різних типів продуктів. Місце зберігання вибирається випадковим чином на порожніх полицях зарезервованого класу.

`CalculateForRetrieveA`. Подібно до методу `CalculateForStore`, за винятком того, що цей метод вибирає місце отримання замовлення для продукту типу А.

`CalculateForRetrieveB`. Подібно до методу `CalculateForStore`, за винятком того, що цей метод вибирає місце отримання замовлення для продукту типу В.

`CalculateForUnloadPallet`. Якщо в графічному інтерфейсі вибрано «Призначення місця для зберігання на основі класу», цей метод вибирає місце розташування палети для замовлення на зберігання. Четвертий стовпець стелажа присвячений палетам, і вибирається палета, яка знаходиться найближче до точки вводу/виводу. Якщо на полицях четвертого стовпця немає палети, вибирається палета, яка знаходиться найближче до точки вводу/виводу, з полиць, завантажених палетами.

`CalculateForLoadPallet`. Подібно до методу `CalculateForUnloadPallet`, за винятком того, що цей метод вибирає місце розташування палети для замовлення на вилучення.

Вхідні дані методів та подій, пов'язаних із замовленнями

`btnShelfState_Click`. Після введення всіх станів полиць у відповідні текстові поля, ця подія записує стани полиць у текстовий файл з назвою «`ShelfState.txt`». У текстовому файлі перші сім рядків відповідають першому рядку стелажа, другі

сім рядків відповідають другому рядку стелажа, а останні сім рядків відповідають третьому рядку стелажа. У цій події цей текстовий файл зчитується, і стани полиці призначаються масиву Shelf, який зберігає стани полиць протягом усього виконання програми.

`btnControlSetting_Click`. Ця подія встановлює рішення щодо керування, які вибираються в графічному інтерфейсі. Ці рішення щодо керування включають розподіл пам'яті, розташування точки затримки та порядок упорядкування.

`btnInsert_Click`. Визначаються типи замовлень, час надходження замовлень та термін виконання замовлень на їх отримання. Після введення всіх параметрів замовлення ця подія додає замовлення до послідовності замовлень.

`btnRemove_Click`. Якщо замовлення введено неправильно, цей метод видаляє неправильне замовлення з послідовності замовлень.

`btnSetOrderData_Click`. Ця подія аналізує вставлені дані замовлення та призначає ці дані члену класу Order, який включає OrderType, ArrivalTime та DueDate. Якщо в графічному інтерфейсі вибрано секвенування замовлення, замовлення упорядковуються, як визначено користувачем. Ця подія упорядковує замовлення відповідно до часу надходження замовлень для правила послідовності замовлень "Перший прийшов, перший вийшов". Потім замовлення секвенування замовлення додаються до об'єкта класу черги з назвою AutomationSequence. Ця черга служить принципом "Перший прийшов, перший вийшов", а оброблені замовлення видаляються з черги.

Методи та події, пов'язані з автоматизацією

`StoreA`. Коли поточне замовлення є замовленням на зберігання для продукту типу A, викликається цей метод. Цей метод викликає пов'язані з Handling Board та Stacker Board методи для завершення операції зберігання. Також він обчислює деякі дані про продуктивність, такі як час очікування в черзі та час переміщення замовлення. У цьому методі кожна частина фізичної системи реєструється з часом виникнення подій у текстовому полі «Журнал».

StoreB. Подібно до методу StoreA, за винятком того, що цей метод викликається для порядку зберігання продукту типу B.

RetrieveA. Подібно до методу StoreA, за винятком того, що цей метод викликається для порядку отримання продукту типу A.

RetrieveB. Подібно до методу StoreA, за винятком того, що цей метод викликається для порядку отримання продукту типу B.

Automated. Цей метод контролює поточного члена AutomationSequence та визначає тип замовлення. Він очікує часу надходження поточного замовлення, а потім викликає пов'язаний метод відповідно до типу замовлення. Тим часом поточне замовлення видаляється з черги.

btnAutomated_Click. Запускає потік для автоматизованого методу, оскільки він виконується протягом тривалого часу. Якщо він виконується в одному потоці з Windows-формою мініатюрного елемента керування AS/RS, користувач не може отримати доступ до графічного інтерфейсу.

btnReference_Click. Викликає методи ArmReference та StackerReference для посилання на частини фізичної системи.

btnPause_Click. Ця подія змушує мініатюрний елемент керування AS/RS очікувати події btnContinue_Click. Коли відбувається подія btnPause_Click, програма може чекати після завершення поточного замовлення.

bnContinue_Click. Якщо ця подія відбувається після події btnPause_Click, програма відновлює роботу з решти черги замовлень.

Методи та події, пов'язані з продуктивністю та журналами.

UpdatePerformanceMeasurement. Як показники продуктивності для вивчення продуктивності фізичної системи обрані час у дорозі кожного замовлення, час очікування в черзі кожного замовлення, середній час у дорозі, середній час між надходженнями, кількість оброблених продуктів за хвилину, кількість продуктів, що очікують у черзі, кількість продуктів із затримкою, середньозважений за часом розмір черги та максимальна кількість продуктів у черзі. Ці параметри оновлюються та відображаються в графічному інтерфейсі

після завершення кожного замовлення під час виконання мініатюрного керування AS/RS.

Час у дорозі та час очікування в черзі кожного замовлення обчислюються в методах Store та Retrieve, а інші обчислюються в цьому методі. Також цей метод оновлює стан полиць у графічному інтерфейсі під час операції.

btnPerformanceSave. Зберігає всю інформацію про вимірювання продуктивності у текстовому файлі з назвою «Вимірювання продуктивності».

btnPerformanceClear. Очищає всі вимірювання продуктивності, пов'язані з текстовими полями та форматованими текстовими полями, у графічному інтерфейсі.

btnLogSave. Зберігає всі дані, записані в полі журналу з форматованим текстом, у текстовий файл з назвою «Журнал операцій».

btnLogClear. Очищає поле форматованого тексту журналу в графічному інтерфейсі.

3.2. Графічний інтерфейс користувача (GUI)

На етапах проектування мініатюризованого керування AS/RS розробляється кілька графічних інтерфейсів користувача (GUI), один з яких представлений у цьому підрозділі (Рис. 3.1). Графічний інтерфейс користувача написано на C# як додаток Windows Form.

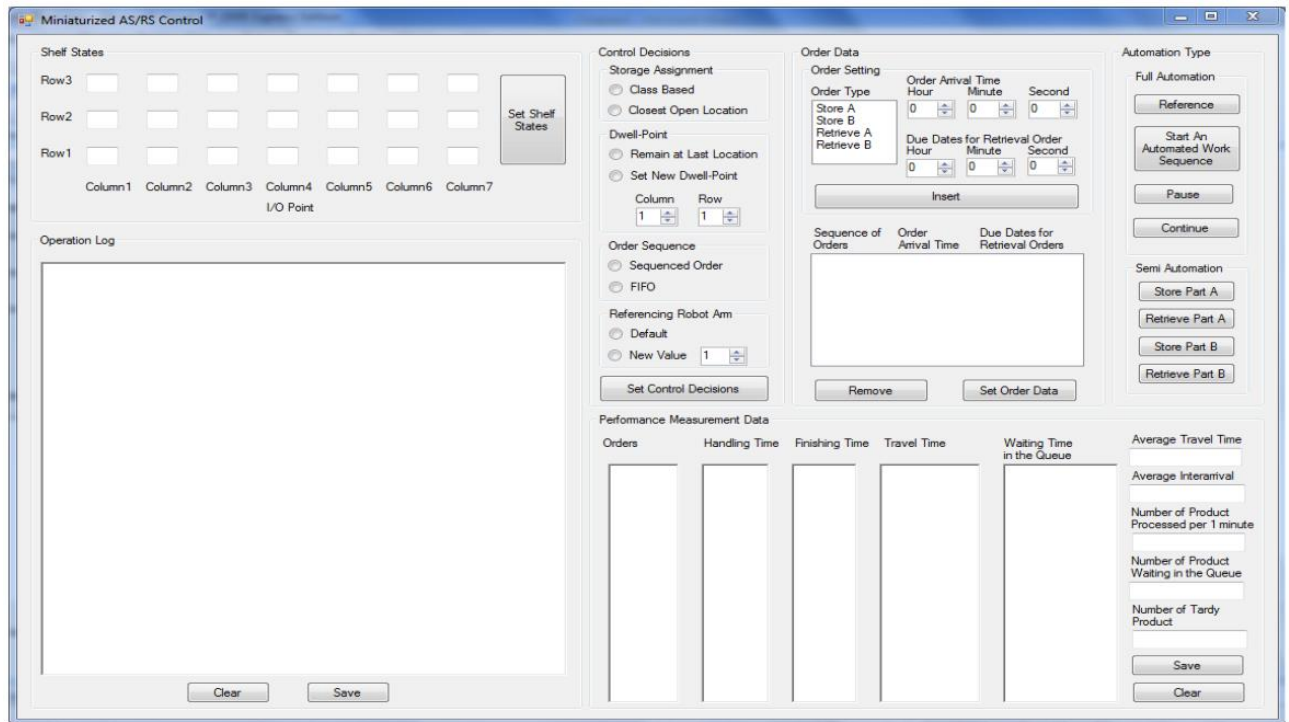


Рисунок 3.1 - Зразок графічного інтерфейсу

Для визначення початкового стану полиць існує груповий елемент керування (рис. 3.2). Літери А, В, Е, Р вводяться у відповідні текстові поля для полиць, завантажених продуктами типу А, полиць, завантажених продуктами типу В, порожніх полиць та полиць, завантажених піддонами, відповідно. У цьому груповому елементі керування є кнопка для налаштування станів. Також поточний стан полиць спостерігається з цієї частини під час операції.

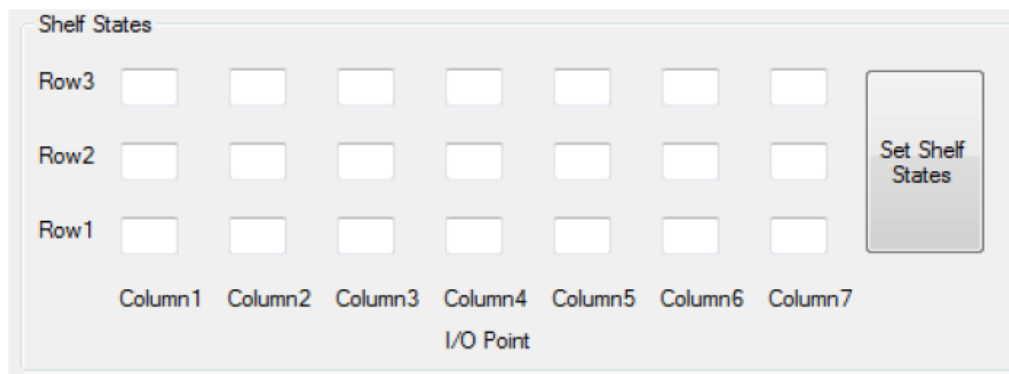


Рисунок 3.2 - Елементи керування, пов'язані зі станом полиць, графічного інтерфейсу

Існує групове керування для встановлення чотирьох рішень керування, таких як правило призначення пам'яті, розташування точки затримки, правило послідовності порядків та посилення на маніпулятор робота (Рис. 4.3). Окрім посилення на маніпулятор робота, рішення керування щодо AS/RS згадувалися раніше, тому вони не пояснюються знову. Положення маніпулятора робота контролюється трьома енкодерами на трьох осях як керування з розімкнутим контуром. Під час тривалого робочого процесу фізичної системи накопичується помилка, і маніпулятор робота може бути розташований у неправильному положенні. Щоб уникнути цієї помилки, маніпулятор робота повинен бути посиленням у певний період порядку. Значення цього періоду за замовчуванням становить п'ять порядків. Якщо потрібно встановити нове значення для цього періоду, існує числове керування вгору вниз. Коли всі рішення керування визначені, вибір встановлюється кнопкою «Встановити рішення керування».

Control Decisions

Storage Assignment

☐ Class Based

☐ Closest Open Location

Dwell-Point

☐ Remain at Last Location

☐ Set New Dwell-Point

Column 1

Row 1

Order Sequence

☐ Sequenced Order

☐ FIFO

Referencing Robot Arm

☐ Default

☐ New Value 1

Set Control Decisions

Рисунок 3.3 - Рішення щодо керування, пов'язані з елементами керування графічним інтерфейсом користувача.

Тип замовлення, час прибуття замовлення та термін виконання замовлень на отримання встановлюються та додаються до черги замовлень в елементі керування групою даних замовлень. Якщо замовлення встановлено неправильно, є кнопка видалення для видалення цього замовлення з черги замовлень.

Рисунок 3.4 - Елементи керування графічним інтерфейсом, пов'язані з даними замовлення.

Існує два типи автоматизації: повна автоматизація та напівавтоматизація. У повній автоматизації мініатюрне керування AS/RS обробляє кожне замовлення, яке знаходиться в черзі замовлень, одне за одним. Також є кнопка паузи та кнопка продовження для керування процесом повної автоматизації. У напівавтоматизації користувач вибирає тип замовлення та керує операцією вручну за допомогою кнопок, призначених для кожного типу замовлення. Для будь-якого типу автоматизації фізична система повинна бути посилатися за допомогою кнопки посилення.



Рисунок 3.5 - Елементи керування графічним інтерфейсом, пов'язані з типом автоматизації

Існує груповий елемент керування для моніторингу даних вимірювання продуктивності під час операції (рис. 3.6). Після завершення замовлення ці дані оновлюються та відображаються в цьому груповому елементі керування. За бажанням, дані про продуктивність можна зберегти в текстовий файл, натиснувши кнопку «Зберегти» в кінці операції.

Orders	Handling Time	Finishing Time	Travel Time	Waiting Time in the Queue	
					Average Travel Time
					Average Interarrival
					Number of Product Processed per 1 minute
					Number of Product Waiting in the Queue
					Number of Tardy Product

Save Clear

Рисунок 3.6 - Елементи керування графічним інтерфейсом, пов'язані з даними вимірювання продуктивності

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності при роботі за комп'ютером

У сучасному світі все більше людей проводять значну частину свого робочого часу за комп'ютером, що призводить до ряду ергономічних проблем, які негативно впливають на безпеку та здоров'я людей. Неправильна позиція тіла, незручне розташування робочого місця, тривале сидіння та напружена робота з клавіатурою та мишею спричиняють м'язове напруження, біль у спині та напругу очей, що викликає дискомфорт та незручності.

Розташування робочого місця відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та здоров'я під час роботи за комп'ютером. Оптимальна висота столу та стільця є ключовим фактором для забезпечення комфорту і підтримки правильної позиції тіла. Стіл належної висоти, щоб лікті могли спокійно розташовуватися на клавіатурі, а стопи - на підлозі. Стілець обладнаний підтримкою для спини та належними регульованими підлокітниками. Клавіатура розташована на рівні ліктів, монітор - належним чином вирівняний перед очима, а миша - в зоні доступу для зап'ястя.

Правильне розташування робочого місця сприяє уникненню незручностей та проблем зі здоров'ям. Ергономічні пристрої підтримки є корисними для забезпечення комфорту та запобігання напрузі м'язів. Використання регульованих підлокітників та підставок для зап'ястя допомагає знизити напругу на м'язах і запобігти незручностям. Оптимальне розташування робочого місця повинне враховувати індивідуальні особливості користувача та забезпечувати комфортні умови для роботи.

Правильна позиція тіла та рухи є ключовими факторами для забезпечення комфорту та запобігання напрузі м'язів та незручностям.

Важливо пам'ятати про правильну позицію спини та уникати підгорблення або надмірного нахилу голови під час тривалої роботи за комп'ютером. Регулярні перерви для розтяжки та руху є важливими для підтримання здоров'я. Прості фізичні вправи, такі як розтягування шиї, плечей, рук і ніг, допомагають зняти напругу з м'язів та покращити кровообіг. Регулярні перерви дозволяють розслабитися і зберегти енергію для продуктивної роботи. Очі є одними з найбільш вразливих органів під час роботи за комп'ютером. Постійне спрямування погляду на екран призводить до напруження та втому очей.

Для зменшення негативного впливу необхідно використовувати екрани з антиблисковим покриттям, яке знижує відблиск та рефлексію світла. Також важливо налаштовувати яскравість та контрастність екрану для комфортного сприйняття. Щоб зменшити напругу на очі, необхідно робити перерви для відпочинку, фокусуючись на далеких предметах або виконуючи вправи для розслаблення очей.

Використання неправильної клавіатури та миші призводить до м'язового напруження і тунельного синдрому. Важливо використовувати ергономічні клавіатури та миші з додатковою підтримкою для зап'ястя та комфортною формою. Правильна позиція рук та зап'ястя під час роботи з ними має велике значення. Регулярні перерви для розтяжки рук та масажу зап'ястя допомагають уникнути негативних наслідків від тривалого використання клавіатури та миші. Розглядаючи ергономічні проблеми безпеки життєдіяльності при роботі за комп'ютером, варто зазначити, що їх вирішення є ключовим для забезпечення безпеки та здоров'я під час роботи.

Дотримання принципів ергономіки, налагодження робочого місця, правильна позиція тіла та виконання фізичних вправ сприяють покращенню безпеки та створенню здорового робочого середовища. Застосування ергономічних пристроїв підтримки, таких як регульовані підлокітники та підставки для зап'ястя, також сприяє комфорту та попередженню

незручностей. Загальною метою є створення безпечного та здорового робочого середовища для людей, які працюють за комп'ютером та виконують дослідження захищеності веб сервісу електронного навчання Atutor, що забезпечує збереження здоров'я та підвищення продуктивності працівників, сприяє запобіганню травмам та ергономічним проблемам, а також сприяє загальному комфорту та задоволенню від роботи.

Додатково, важливо зазначити, що належна освітленість приміщення також є важливим фактором, який впливає на комфорт та здоров'я під час роботи за комп'ютером. Потрібно забезпечити достатнє природне або штучне освітлення, яке не перевантажує очі. Розміщення робочого місця біля вікна або використання належної освітлювальної техніки допомагає забезпечити оптимальні умови освітлення.

Важливо також уникати відблисків на екрані, розташовуючи монітор під правильним кутом до джерел світла. Безпека та конфіденційність інформації також є важливим аспектом при роботі за комп'ютером. Важливо зберігати конфіденційні дані та захищати їх від несанкціонованого доступу. Використання паролів, шифрування даних та регулярне оновлення програмного забезпечення допомагає забезпечити безпеку інформації.

Крім того, необхідно усвідомлювати потенційні загрози з боку шкідливих програм та фішингових атак і приймати заходи для їх запобігання, такі як використання антивірусного програмного забезпечення та обережне відкривання електронних листів та посилань. Регулярне навчання та свідомість про важливість ергономіки та безпеки при роботі за комп'ютером є важливими.

Працівники повинні мати бути проінформовані про правильні методи роботи, виконання пауз і фізичних вправ, а також процедур безпеки. Організації можуть проводити навчання та інформаційні тренінги, щоб підвищити свідомість та забезпечити правильну поведінку під час роботи за комп'ютером.

Враховуючи всі ці аспекти, створення комфортного, безпечного та здорового робочого середовища є важливим завданням як для працівників, так і для роботодавців. Захист здоров'я та добробуту працівників при роботі за комп'ютером не тільки покращує їхню якість життя, але й сприяє збільшенню продуктивності та задоволення від роботи, що має позитивний вплив на всю організацію.

4.2 Організація безпечної роботи електроустаткування задіяного при роботі системи електронного навчання

Безпечна робота електроустаткування є ключовим елементом для забезпечення стабільної та безперебійної роботи системи електронного навчання. Це включає в себе правильне проектування, встановлення, експлуатацію та обслуговування електроустаткування. Дотримання стандартів і правил охорони праці допомагає мінімізувати ризики електричних ударів, пожеж та інших небезпек.

Перед встановленням електроустаткування необхідно ретельно оцінити його відповідність вимогам системи електронного навчання. Вибір обладнання повинен базуватися на таких критеріях: надійність та безпека: обладнання має відповідати стандартам якості та безпеки, мати сертифікати відповідності та бути розрахованим на довготривалу експлуатацію; відповідність технічним вимогам: обладнання повинно підтримувати необхідні технічні параметри, такі як напруга, потужність, тип з'єднання тощо; сумісність з іншими компонентами: всі компоненти системи повинні бути сумісні між собою, щоб уникнути збоїв та небезпек при експлуатації/

Під час встановлення необхідно дотримуватися таких заходів безпеки:
правильне заземлення: всі пристрої повинні бути заземлені відповідно до норм, щоб уникнути накопичення статичної електрики та можливості удару струмом; використання захисних пристроїв: встановлення автоматичних

вимикачів, пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) та інших захисних засобів є обов'язковим для забезпечення безпеки; професійний монтаж: монтаж повинен виконуватися кваліфікованими спеціалістами з дотриманням всіх норм і правил/

Для забезпечення безпечної експлуатації електроустаткування слід дотримуватися таких рекомендацій: регулярний контроль та технічне обслуговування: обладнання повинно регулярно перевірятися на наявність зношення, перегріву, пошкоджень проводів та інших дефектів. Технічне обслуговування повинно проводитися відповідно до інструкцій виробника; контроль температурного режиму: устаткування не повинно перегріватися. Необхідно забезпечити достатню вентиляцію та уникати розташування пристроїв поблизу джерел тепла; правильне використання: обладнання має використовуватися тільки за призначенням, з дотриманням інструкцій та рекомендацій виробника.

При обслуговуванні та ремонті електроустаткування необхідно дотримуватися таких заходів безпеки: відключення живлення: перед проведенням будь-яких робіт обладнання має бути відключене від джерела живлення; використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): спеціалісти повинні використовувати відповідні ЗІЗ, такі як діелектричні рукавички, килимки, інструменти з ізоляційними покриттями; дотримання процедур: всі ремонтні роботи повинні проводитися відповідно до технічних інструкцій та нормативних документів;

Управління ризиками та навчання персоналу є невід'ємною частиною забезпечення безпеки електроустаткування: ідентифікація ризиків: постійний аналіз можливих ризиків та їх мінімізація є ключовим аспектом безпеки. Для цього проводяться регулярні оцінки стану обладнання та аналіз умов експлуатації; навчання та інструктаж: персонал повинен проходити регулярні навчання та інструктажі з питань безпечної роботи з електроустаткуванням. Це включає як базові знання, так і спеціальні навички для роботи з

конкретними видами обладнання; розробка та впровадження процедур безпеки: необхідно розробити детальні інструкції та процедури з безпеки, які повинні бути доступними для всіх працівників та регулярно оновлюватися. Таким чином, організація безпечної роботи електроустаткування задіяного при роботі системи електронного навчання вимагає комплексного підходу, що включає вибір надійного обладнання, правильне його встановлення, регулярне технічне обслуговування, навчання персоналу та управління ризиками. Дотримання цих заходів дозволяє забезпечити стабільну та безпечну роботу системи, що є критично важливим для ефективного функціонування освітнього процесу.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено огляд лабораторного обладнання, пов'язаного з автоматизованими системами зберігання та пошуку, огляд літератури з метою визначення критеріїв проектування системи керування поточним прототипом.

Враховуючи всі прийняті критерії проектування, було розроблено дві плати та їх прошивки як система керування низького рівня. Крім того, за допомогою C# розроблено систему керування високого рівня. Ця система керування високого рівня реалізує деякі рішення щодо керування, пов'язані з системою зберігання та пошуку, та обчислює дані вимірювання продуктивності. Графічний інтерфейс користувача розроблено для зручності використання системи та аналізу в режимі реального часу.

Після розробки та виготовлення систем керування високого та низького рівнів, було протестовано всю систему.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Bozer Y.A., White J.A. Travel-time models for automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 1984, 16(4), pp. 329–338.
2. BUFAIM. Home page for Flexible Automation and Intelligent Manufacturing Systems Laboratory, Boğaziçi University. URL: <http://www.bufaim.boun.edu.tr/Default.aspx> (Режим доступу: 2024).
3. Chang D.T., Wen U.P. The impact on rack configuration on the speed profile of the storage and retrieval machine. *IIE Transactions*, 1997, 29, pp. 525–531.
4. De Koster R., van der Poort E., Wolters M. Efficient order batching methods in warehouses. *International Journal of Production Research*, 1999, 37(7), pp. 1479–1504.
5. Eben-Chaime M., Pliskin N. Operations management of multiple machine automatic warehousing systems. *International Journal of Production Economics*, 1997, 51, pp. 83–98.
6. Egbelu P.J. Framework for dynamic positioning of storage/retrieval machines in an automated storage and retrieval system. *International Journal of Production Research*, 1991, 29(1), pp. 17–37.
7. Egbelu P.J., Wu C.T. A comparison of dwell point rules in an automated storage/retrieval system. *International Journal of Production Research*, 1993, 31(11), pp. 2515–2530.
8. Elsayed E.A. Algorithms for optimal material handling in automatic warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 1981, 19(5), pp. 525–535.
9. Elsayed E.A., Stern R.G. Computerized algorithms for order processing in automated warehousing systems. *International Journal of Production Research*, 1983, 21(4), pp. 579–586.
10. Farrukh M.A., Gardezi A.R., Hayat N. Design, Development and Analysis of Automated Storage and Retrieval System with Single and Dual Command

Dispatching using MATLAB. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, 60, pp. 91-95.

11. Goetschalckx M., Ratliff H.D. Shared storage policies based on the duration of stay of unit loads. *Management Science*, 1990, 36, pp. 1120–1132.
12. Graves S.C., Hausman W.H., Schwarz L.B. Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems. *Management Science*, 1977, 23(9), pp. 935–945.
13. Han M.H., McGinnis L.F., Shieh J.S., White J.A. On sequencing retrievals in an automated storage/retrieval system. *IIE Transactions*, 1987, 19(1), pp. 56–66.
14. Hausman W.H., Schwarz L.B., Graves S.C. Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 1976, 22(6), pp. 629–638.
15. Heskett J.L. Cube-per-order index – a key to warehouse stock location. *Transportation and Distribution Management*, 1963, 3, pp. 27–31.
16. Heskett J.L. Putting the cube-per-order index to work in warehouse layout. *Transportation and Distribution Management*, 1964, 4, pp. 23–30.
17. Hwang H., Lee M.K. Order batching algorithms for a man-on-board automated storage and retrieval system. *Engineering Costs and Production Economics*, 1988, 13, pp. 285–294.
18. Intelitek. Educational CIM Setup. URL: http://www.intelitek.com/Products.asp?CategoryID=135&Industrial=&Education=yes&category_str_id=5;135 (Режим доступа: 2024).
19. Kayalığil S., Altınçay H. Küçültülmüş Ölçekli Bir Otomatik İmalat Hücre Modelinde Parça Yükleme Sıralaması Deneyi. *Endüstri Mühendisliği*, 1996, 7, pp. 3–9.
20. Kulturel S., Ozdemirel N.E., Sepil C., Bozkurt Z. Experimental investigation of shared storage assignment policies in automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 1999, 31, pp. 739–749.
21. Lee Y.H., Lee M.H., Hur S. Optimal design of rack structure with modular cell in AS/RS. *International Journal of Production Economics*, 2005, 98, pp. 172–178.

22. Material Handling Industry of America. Material Handling Equipment. URL: <http://www.ise.ncsu.edu/kay/mhetax/StorEq/index.htm> (Режим доступу: 2024).
23. O'Shea L. Development of an Automated Storage and Retrieval System in a Dynamic Knowledge Environment. Master of Science Thesis, Waterford Institute of Technology, 2007, pp. 37-75.
24. Pan C.H., Liu S.Y. A Comparative Study of Order Batching Algorithms. *Omega, Int. J. Mgmt Sci.*, 1995, 23(6), pp. 691-700.
25. Potrc I., Lehrer T., Kramberger J., Sraml M. Simulation model of multi-shuttle automated storage and retrieval systems. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004, 157–158, pp. 236–244.
26. Roodbergen K.J., Vis I. F. A. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 2008, 194, pp. 343-362.
27. Bernas, M., Mykytyshyn, A., Kartashov, V., Levytskyi, V. & Martjanov, D. (2023) The Role of Cyber-Physical Systems and Internet of Things in Development of Smart Cities for Industry 4.0. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 3468,. P. 91–102.
28. Tompkins J.A., White J.A., Bozer Y.A., Tanchoco J.M.A. *Facilities Planning*. 3rd ed. John Wiley & Sons, 2003.
29. *Warehouse Modernization and Layout Planning Guide*. Department of the Navy, Naval Supply Systems Command, NAVSUP Publication 529, 1985, pp. 8–17.
30. Wen U.P., Chang D., Chen S.P. The impact of acceleration/deceleration on travel-time models in class-based automated S/R systems. *IIE Transactions*, 2001, 33, pp. 99–608.