

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розробка інтелектуального роботизованого пристрою доставки

деталей до робочого місця на виробництві

(тема)

Виконав:

студент

2 курсу, гр. ІТМРТМ-19-1

Грищенко І.І.

(прізвище, ініціали)

Спеціальності

172 Телекомунікації та

радіотехніки

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми

освітньо-професійний

Освітня програма

Інтелектуальні технології

мікросистемної радіоелектронної техніки

(повна назва освітньої програми)

Керівник

проф.Нефьодов Л.І.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

_____ (підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехнік
Тип програми	освітньо-професійний
Освітня програма	Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____

р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Грищенко Ілля Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інтелектуального роботизованого пристрою доставки деталей до робочого місця на виробництві

затверджена наказом по університету від 02.11.2012 р. № 1508 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____

3. Вихідні дані до роботи інтелектуальне управління процесом виробництва, алгоритм управління роботизованою мобільною платформою, метод обміну даними з роботизованою платформою – безпроводний за допомогою Bluetooth, метод моделювання - імітаційний

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ

4.2 Аналіз методів транспортування виробів на виробничих підприємствах

4.3 Аналіз математичних методів опису транспортних потоків на виробництві

4.4 Проектування автоматизованої системи

4.5 Експериментальні дослідження

4.6 Охорона праці

4.7 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 10 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	20.05.2020	виконав
2	Аналіз завдання	15.06.2020	виконав
3	Огляд літератури за темою роботи	07.08.2020	виконав
4	Створення електричної блок схеми	15.08.2020	виконав
5	Планування експерименту	10.09.2020	виконав
6	Проведення досліджень	06.10.2020	виконав
7	Оформлення атестаційної роботи	12.11.2020	виконав
8	Подання на підпис керівнику дипломного	20.11.2020	виконав
9	Подання роботи в ЕК		виконав

Дата видачі завдання 20.05.2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Нефьодов Л.І.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 90 с., 1 табл., 36 рис., 1 дод., 12 джерел.

РОБОТИЗОВАНА МОБІЛЬНА ПЛАТФОРМА, INDUSTRY 4.0,
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ, БАЗА ДАНИХ, BLUETOOTH.

Об'єкт дослідження – інтелектуальне управління процесом виробництва.

Предмет дослідження – алгоритм управління роботизованою мобільною платформою.

Мета магістерської атестаційної роботи – розробка алгоритму управління роботизованою мобільною платформою для доставки деталей до робочого місця на інтелектуальному виробництві.

У магістерській атестаційній роботі досліджується цифровий двійник мобільної платформи за допомогою комп'ютерних засобів та розробленого програмного забезпечення.

Для проведення даного дослідження була розроблена структура бази даних для зберігання результатів експерименту. Програма керування потоком ресурсів розроблена на мові програмування C# із застосуванням інтегрованого середовища Visual Studio. Для зберігання даних було прийняте рішення використовувати базу даних SQLite.

В результаті тестових випробувань програма в реальному часі одержувала інформацію про поточне положення мобільної платформи та відображала її в спеціальному вікні основної форми.

ABSTRACT

Explains the note to revenge: 90 pages, 1 tables, 36 fig., 1 add., 12 sources by the list of references.

ROBOTIC MOBILE PLATFORM, INDUSTRY 4.0, INTELLIGENT MANAGEMENT, DATABASE, BLUETOOTH.

The object of research is the intelligent control of the production process.

The subject of research is an algorithm for controlling a robotic mobile platform.

The purpose of the master's certification work is to develop an algorithm for controlling a robotic mobile platform to deliver parts to the workplace in intelligent production.

The master's thesis examines the digital duplicate of the mobile platform with the help of computer tools and developed software.

To conduct this study, a database structure was developed to store the results of the experiment. The resource flow management program is developed in the C # programming language using the Visual Studio integrated environment. It was decided to use the SQLite database for data storage.

As a result of test tests, the program received real-time information about the current position of the mobile platform and displayed it in a special window of the main form

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	8
Вступ	9
1 Аналіз методів транспортування виробів на виробничих підприємствах	11
1.1 Аналіз вимог до транспортування виробів на сучасних виробництвах	11
1.2 Класифікація транспортних систем	13
1.3 Аналіз вимог до застосування транспортних засобів на автоматизованих виробництвах	16
1.4 Методи компоновки промислового обладнання на виробничій ділянці	20
1.5 Огляд методів управління матеріальними та інформаційними потоками на виробництві	24
1.6 Висновки по першому розділу	32
2 Аналіз математичних методів опису транспортних потоків а виробництві	33
2.1 Аналіз методів визначення необхідної кількості транспортних засобів перевезення вантажів на автоматизованій ділянці	33
2.2 Розрахунок часу на транспортування і обслуговування замовлень	35
2.3 Модель процесів масового обслуговування запитів на отримання інформації в системі	39
2.4 Модель процесів відображення в базі даних нових об'єктів обліку предметної області	42

2.5 Висновки по другому розділу.....	44
3 Проектування автоматизованої системи	45
3.1 Розробка архітектури автоматизованої системи	45
3.2 Розробка структурної схеми та конструкції роботизованої платформи.....	50
3.3 Розробка алгоритму роботи роботизованої платформи	61
3.4 Висновки по третьому розділу	63
4 Експериментальні дослідження.....	65
4.1 Розробка структури бази даних.....	65
4.2 Розробка програми керування потоками ресурсів на підприємстві	67
4.3 Тестове випробування роботи автоматизованої системи.....	71
4.4 Висновки по четвертому розділу	75
5 Охорона праці.....	76
5.1 Правові та нормативні основи охорони праці в Україні	76
5.2 Техніка безпеки	77
5.4 Розрахунок штучного освітлення.....	82
5.4 Висновки по п'ятому розділу	84
Висновки	85
Перелік джерел посилань.....	87
Додадок А. Демонстраційний матеріал	89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

АСУ – автоматизована система управління;

БД – база даних;

ІС – інформаційна система.

НВП – науково-виробниче підприємство;

ПЗ – програмні засоби;

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю;

ТНС – транспортно-накопичувальна система;

ЧПУ – числове програмне управління;

AGV – автоматично керовані транспортні засоби;

LAM – вантажозахватні пристосування;

ВСТУП

Сучасні виробництва, а саме інтелектуальні виробництва, які розвиваються в напрямку концепції Industry 4.0 використовують мережеві інфраструктури, інтелектуальні мехатронні системи, здійснюють комунікацію незалежно від місця розташування і компанії.

Інтелектуальне управління процесом виробництва, спрямоване на зниження витрат на інструменти, мінімізацію споживання ресурсів і короткий період підготовки виробництва.

Основними напрямками розвитку вже існуючих підприємств є:

- інтеграція життєвого циклу продуктів і виробничих ресурсів;
- інтеграція в одне ціле датчиків, машин і їх компонентів;
- застосування інтелектуальних датчиків і інструментів;
- кооперативна виробнича інфраструктура від різних постачальників;
- впровадження нових систем в системи з вже працюючим обладнанням;
- просторово-часові відносини між об'єктами в системі;
- широка область виробничих технологій.

Таким чином, розробка інтелектуального роботизованого пристрою доставки деталей до робочого місця на виробництві є досить актуальною задачею.

Об'єкт дослідження – інтелектуальне управління процесом виробництва.

Предмет дослідження – алгоритм управління роботизованою мобільною платформою.

Мета атестаційної роботи – розробка алгоритму управління роботизованою мобільною платформою для доставки деталей до робочого місця на інтелектуальному виробництві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити принципи управління обладнанням на інтелектуальному виробництві;
- обрати метод комунікації між обладнанням для організації обміну даними між компонентами автоматизованої системи;
- розробити алгоритм управління роботизованою мобільною платформою;
- виконати дослідження надійності вибраного методу комунікації та управління роботизованою платформою;
- провести експериментальне дослідження цифрового двійника мобільної платформи за допомогою комп'ютерних засобів та розробленого програмного забезпечення.
- оформити магістерську атестаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015, а також з методичними вказівками з розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВИРОБІВ НА ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

1.1 Аналіз вимог до транспортування виробів на сучасних виробництвах

У епоху Industry 4.0 затребувані рішення, що адаптуються, для подолання пікових навантажень або дефіциту ресурсів. Завдяки виробничим осередкам, що конфігуруються, транспортуванню деталей і інструментів за допомогою автоматично керованих транспортних засобів (AGV) і розділенню логістики і виробництва матричне інтелектуальне виробництво може стати основним чинником конкуренції [3].

Прогресуюча індивідуалізація в епоху Industry 4.0 міняє виробництво. Із-за нестабільності ринків усе більш важливим стає виробництво невеликих партій продукції без збитку для рентабельності. Однією з основних проблем є виробництво зростаючого числа варіантів і моделей одного виробу в різній кількості. У галузі радіоелектроніки це викликано, наприклад, підвищеним рівнем індивідуалізації.

Концепція інтелектуального виробництва дозволяє в перспективі розвинути виробництво промислового масштабу з високою здатністю до адаптації, яке буде об'єднано в мережу упродовж усього виробничого ланцюжка. Система може бути миттєво автоматично переобладнана на інший тип продукції - без простоїв і зупинки виробництва. Це дозволить без обмежень проводити індивідуалізовані серії продукції, що є важливою складовою Industry 4.0, у рамках промислового масового виробництва [4].

Інтелектуальне виробництво засноване на стандартизованих виробничих осередках. Вони розташовуються практично у будь-якій кількості на одному рівні. Усі осередки оснащені устаткуванням, не залежним від продукції, що виготовляється, і мають базові функції для конкретного виду продукції.

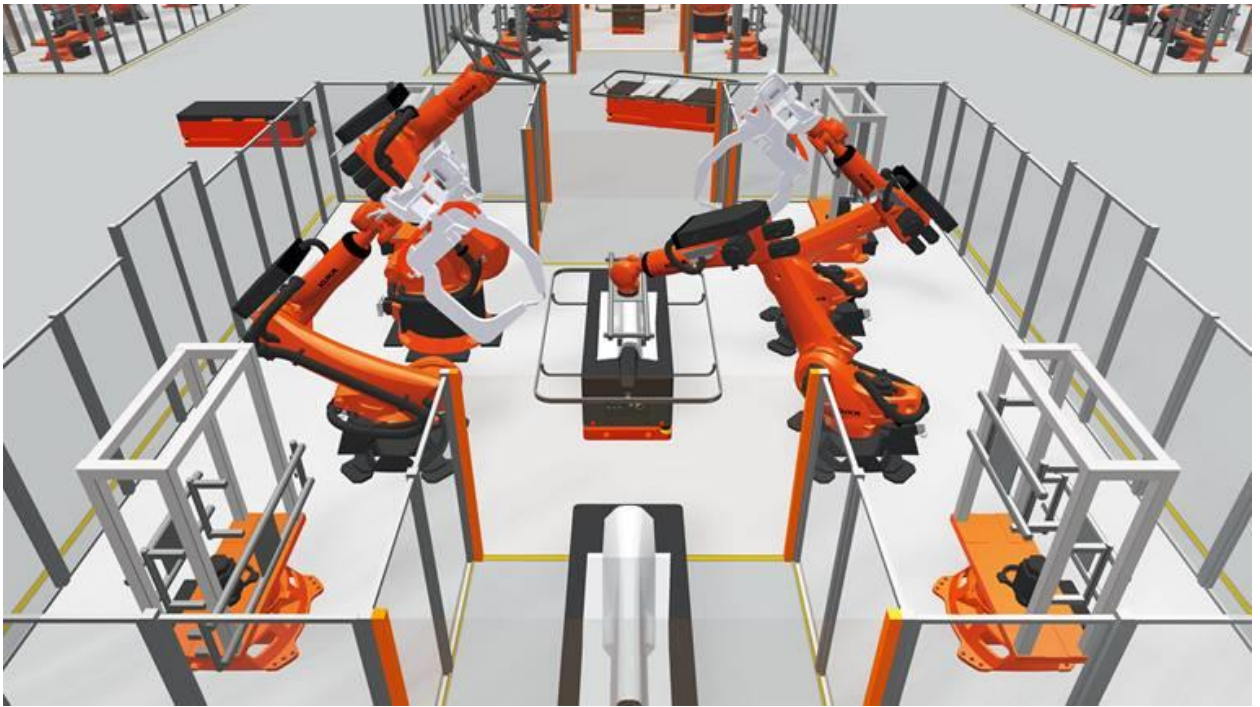


Рисунок 1.1 – Приклад стандартного осередку в інтелектуальному виробництві.

Усередині осередків розташовані поворотні столи для укладання деталей, приймальні пристосування для інструментів і роботи, які виконують відповідний процес. Ці виробничі осередки можна доукомплектувати устаткуванням, призначеним для виготовлення конкретного виду продукції. Зварювання, склеювання, штампування, пайка і клепа: можна інтегрувати практично будь-який процес.

Транспортування деталей і інструментів здійснюється за допомогою автоматично керованих транспортних засобів (AGV). За допомогою навігаційного алгоритму SLAM вони прямують до окремих осередків. Після прибуття в осередок робот бере деталі для виконання певних операцій.

Ці деталі потім обробляються з використанням інтелектуальних застосувань на базі робота, таких як технологія Jigless Bodyshop. При цьому один робот тримає одну деталь, другий робот - іншу деталь. Обидві деталі з'єднуються в єдине ціле, після чого третій робот, так званий технологічний робот, може виконувати їх зварювання.

Зберігаються деталі на складі. На інструментальному складі знаходяться інструменти для виготовлення певних типів продукції.

Автономні AGV, що пересуваються, можуть брати різні деталі і інструменти за допомогою вантажозахватних пристосувань (LAM), що індивідуально конфігуруються, і перевозити їх. Логістичні процеси і виробництво в інтелектуальному виробництві розділені, що є основною вимогою Industry 4.0. Завдяки такому рішенню система з логістикою різних деталей у будь-який момент при сильному завантаженні може бути переорієнтована на інші осередки [4].

Крім того, вона може включити додаткові осередки, або виключити осередки з процесу. Ланцюжок створення вартості при цьому не уривається. Логічний зв'язок логістики і виробництва здійснюється за допомогою програмного забезпечення.

1.2 Класифікація транспортних систем

Існує багато методів транспортування деталей, що задовольняють потреби промислового виробництва [5]. Виконаємо класифікацію даних пристроїв за призначенням:

- доставка із складу в необхідний момент часу до необхідної виробничої ділянки вантажів;
- доставка, орієнтування і установка заготівель, напівфабрикатів або виробів в необхідний момент часу на необхідне технологічне устаткування:
- знімання напівфабрикатів або готових виробів з устаткування і подальше транспортування їх в задану адресу;
- відправка в накопичувач вантажів і видача їх з накопичувача в необхідний момент часу;
- доставка напівфабрикатів або готових виробів з виробничих ділянок на склад.

При обиранні засобу і способу транспортування необхідно орієнтуватися передусім на класифікацію вантажів і транспортних систем.

Вантажі розділяються:

- по масі;
- за способом завантаження (у тарі, без тари, орієнтовані, навалом);
- за формою (вал, корпус, диск, циліндр і так далі);
- по виду матеріалів (метал, неметал і так далі);
- по властивості матеріалу (твердий, крихкий, пластичний).

У свою чергу транспортні засоби підрозділяються:

- за призначенням (внутрішньоцехові, міжопераційні);
- за способом переміщення (у тарі, без тари, в навалювання, орієнтовані, в супутниках);
- за способом руху (періодичні і безперервні);
- за напрямом руху (прямоточні, поворотні);
- за принципом роботи (що несуть, штовхають, тягнуть);
- за схемою руху (лінійні, замкнуті, такі, що галузяться, неветвящеся) :
- по конструктивному виконанню (рейкові і безрейкові);
- за принципом маршрутослеження (механічні, по приладах із зворотним зв'язком, індуктивні, оптоелектронні, керовані по радіо);

Оптимальна транспортна система повинна забезпечувати:

- мінімальне число дійсно необхідних операцій;
- мінімальну відстань транспортування і число перевалів вантажів;
- автоматизацію кожної операції і усього процесу транспортування;
- максимально можливе поєднання підйомно-транспортних операцій з технологічними;
- використання для автоматизації процесів прогресивних високопродуктивних засобів;
- однотипність засобів автоматизації процесів транспортування;
- мале число перетинів і відгілкувань;
- вимоги охорони праці;

- економічну ефективність;
- ремонтпридатність.

При виборі типів, вантажопідйомності і кількості транспортних засобів необхідно враховувати розділення транспортних засобів на основні і допоміжні.

Основні транспортні засоби проектуються централізовано і випускаються серійно, а допоміжні засоби часто виготовляють за місцем, оскільки їх типорозмери різноманітні.

На рисунку 1.2 приведена класифікація транспортних засобів на виробництві.

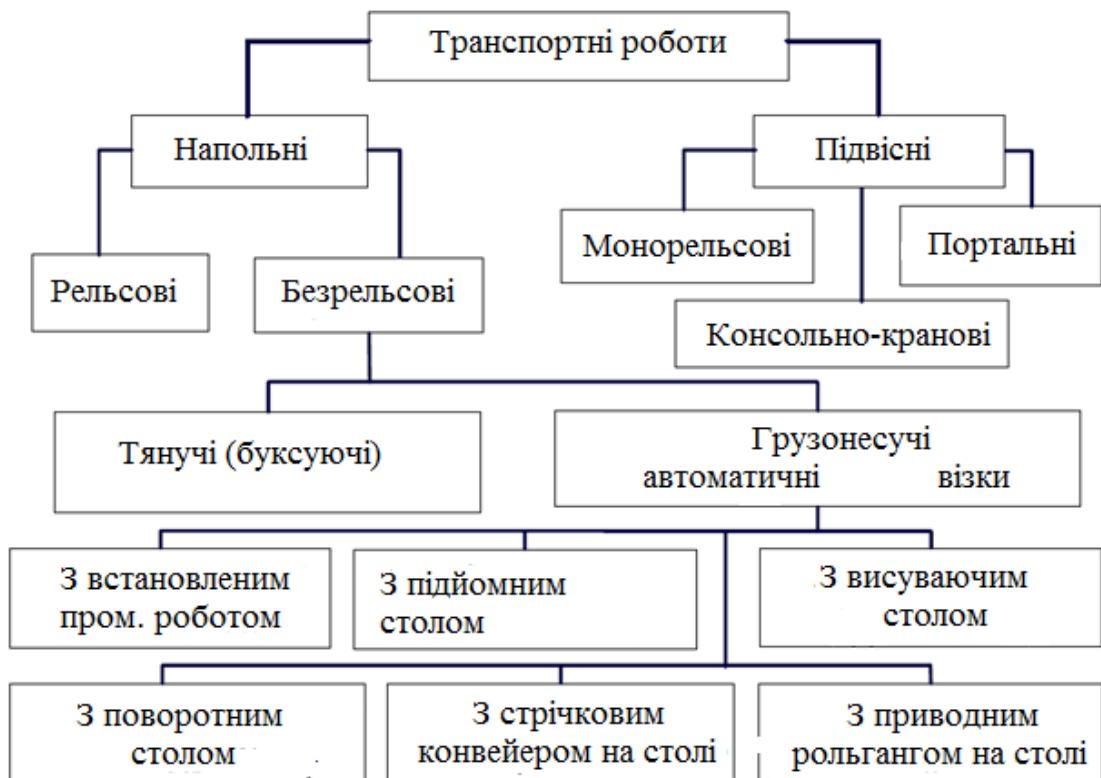


Рисунок 1.2 – Класифікація транспортних засобів на підприємстві.

До основних транспортних засобів відносять:

- конвеєри;

- транспортні роботи:
 - пристрої пневмо-гідротранспорту і т.д.
- До допоміжних транспортних засобів відносять:
- орієнтуючі пристрої;
 - фіксатори:
 - адресователи:
 - відсікачі:
 - штовхальники:
 - зкидачі:
 - підйомні столи:
 - поворотно-координатні столи:
 - підйомники;
 - виробничу тару і т.д.

1.3 Аналіз вимог до застосування транспортних засобів на автоматизованих виробництвах

Транспортні пристрої автоматизованих систем призначені для переміщення деталей і складальних одиниць з позиції на позицію, розподіл деталей по потокам, повороту і орієнтації деталей. Всі транспортні пристрої ділять на автоматизовані системи з жорсткою і гнучкою зв'язком.

Транспортні механізми автоматизованих систем з жорстким зв'язком включають в себе:

- крокові транспортери;
- поворотні столи і кантователи;
- перевантажувачі;
- пристосування-супутники;
- механізми повернення пристосувань-супутників.

Транспортні механізми автоматизованих систем з гнучким зв'язком включають в себе:

- транспортери-розподільники;
- лотки, подільники потоків;
- підйомники;
- транспортні роботи.

Сюди ж в якості складової частини транспортних механізмів з гнучким зв'язком можна віднести транспортери-накопичувачі; магазини-накопичувачі; бункери-накопичувачі.

До групи транспортних механізмів систем з гнучким зв'язком відносять і транспортні засоби переналагоджуваних автоматизованих систем. Їх особливістю є широке використання автоматизованих складів і накопичувачів, що обслуговуються штабелерами, транспортними візками з маніпуляторами, приймально-передавальними пристроями, поворотними столами, що дозволяє об'єднувати їх в транспортно-накопичувальні системи (ТНС). Характер роботи, склад і конструктивні особливості транспорту залежать від характеристик виробів і характеру основних і допоміжних операцій. Робота транспорту в найбільшій мірою впливає на надійність і продуктивність автоматизованих систем [6].

Технічні засоби ТНС ділять на дві групи: основне обладнання та допоміжне.

Основне обладнання призначене для переміщення вантажів в умовах автоматизованого виробництва (стелажні і мостові крани-штабелери, транспортні роботи, конвеєри, накопичувачі, перевантажувальні та орієнтують пристрої, транспортно-складська тара, засоби АСУ).

Допоміжне обладнання: штовхачі, орієнтатори, підйомники, живильники, адресователі.

Транспортні та накопичувальні засоби вибирають на основі аналізу вантажопотоків на ділянці або в цеху з урахуванням властивостей матеріалів виробів. При виборі схеми вантажопотоків необхідно враховувати найменші по протяжності маршрути переміщення вантажів, мінімальне застосування перевантажувальних пристроїв, кантователів.

Особливістю автоматизованого виробництва є застосування в якості транспортних засобів кранів-штабелерів і транспортних промислових роботів. Всі транспортні засоби, що використовуються на цих ділянках, повинні бути оснащені системами автоматичного адресування і мати пристрої автоматичного навантаження-розвантаження вантажів.

Крім того, в умовах автоматизованого виробництва широко застосовують підвісний транспорт, підлогові конвеєри, транспортери, вазовий транспорт.

До підвісному транспорту відносяться:

- підвісні конвеєри для внутрішньоцехових і міжопераційних переміщень деталей і виробів вагою до 2 т на відстань до 1000 м, для створення рухомих запасів деталей на робочих підвісках конвеєра; важчі вантажі вагою до 2,5 т і вище можуть транспортуватися на конвеєрах з візками;
- підвісні монорельси для внутрішньоцехових вантажопотоків максимальною вантажопідйомністю до 20 т;
- монорейкові транспортні роботи з пристроями для переміщення і маніпулювання виробами вагою до 300 кг;
- підвісні дороги з електричною тягою і причіпними візками вантажопідйомністю до 500 кг.

До підлоговим конвеєрів і транспортерів для поточного виробництва відносяться:

- рольганги (приводні та неприводні похилі) для міжопераційного переміщення виробів вагою до 1200 кг;
- стрічкові конвеєри для транспортування дрібних деталей вагою до 250 кг з малим тактом випуску;
- візкові конвеєри, що застосовуються для транспортування виробів на складальному ділянці, рідше на механічних ділянках. Залежно від габаритів виробів застосовують вертикально і горизонтально замкнуті конвеєри вантажопідйомністю до 8000 кг і до 1000 кг відповідно;

– крокуючі конвеєри з пульсуючим переміщенням виробів при складанні вантажопідйомністю до 7 т при щодо малих габаритах і простоті конструкції.

До підлого-візкового внутрішньоцехового транспорту відносяться:

– електронавантажувачі і електровізки (електрокари) вантажопідйомністю до 0,5 т;

– електроштабелери підлогові вантажопідйомністю до 2 т;

– транспортні підлогові роботи (рейкові і безрейкові), змонтовані на візках і керовані за програмою.

Монорейкові транспортні роботи (підлогові і підвісні) призначені для міжопераційного і внутрішньоцехового переміщення деталей і виробів в умовах автоматизованого виробництва. Вони переміщуються по примусовому маршруту в суворій відповідності із заданою програмою. Мостові і підлогові безрейкові роботи переміщуються по вільному маршруту між будь-якими позиціями завантаження (розвантаження), що знаходяться в межах обслуговуваної зони.

Підлогові транспортні роботи можуть рухатися:

– вздовж дротів, покладених на глибині 40-60 мм від поверхні підлоги (по дроту пропускають струм силою в кілька сотень міліампер, з частотою 2 ... 20 кГц і напругою не більше 12 В; створюється змінне електромагнітне поле, за яким стежать датчики транспортного робота);

– по світловідбиваючої смузі, прикріпленою до підлоги (стеження за трасою здійснюється за допомогою датчиків;

– з використанням локальної системи навігації на основі лідарів, радіо міток, візуальної одометрії.

В якості накопичувачів можна використовувати автоматизовані склади, що обслуговуються штабелерами і транспортними роботами, і між операційні магазини-накопичувачі (підлогові і підвісні). Магазини-накопичувачі застосовують в умовах поточного виробництва для деталей типу тіл обертання, а підвісні накопичувачі - в основному для корпусних деталей і деталей складної конфігурації.

Кількість підйомно-транспортних засобів для цеху (ділянки) визначають або докладно з урахуванням вантажопотоків, маси вантажів, або за даними базового виробництва.

1.4 Методи компоновки промислового обладнання на виробничій ділянці

Компонування автоматизованих систем визначається технологічним процесом, конструктивно-технологічними особливостями, заданим обсягом випуску виробів, конкретними умовами виробництва і характеризується структурою технічних засобів і схемою їх розташування [6].

Структура технічних засобів – якісний і кількісний склад основного і допоміжного обладнання – залежить від характеру виробничого процесу і обсягу випуску виробів. Наприклад, форма спеціалізації виробничої системи визначає однотипність і взаємозамінність технологічного обладнання; наявність міжопераційних заділів викликає необхідність включення в автоматизовану виробничу систему магазинів-накопичувачів. Міжопераційний передача деталей в процесі обробки вимагає єдиної транспортної системи, а робота за принципом склад - верстат - склад - локальних транспортних систем. Необхідність межопераційного контролю вимагає організації контрольних постів (осередків), а застосування автоматизованих засобів контролю в процесі обробки деталей в складі обладнання призводить до відсутності контрольних осередків всередині виробничого процесу. Від прийнятої системи управління і ступеня її автоматизації залежить включення в компоновку керуючих пристроїв (диспетчерських пультів, систем ЧПУ, засобів збору і передачі інформації, ЕОМ різного рівня).

Залежно від прийнятого поділу виробничого процесу розрізняють автоматизовані виробничі процеси з предметної (в тому числі предметно-замкнутої) і з технологічної формами спеціалізації. У предметно-замкнутих

системах повністю або частково виготовляють одне або групу виробів, в системах з технологічної спеціалізації виконують окремі види робіт для широкої номенклатури виробів.

На предметно-замкнутих ділянках виділяють зони обладнання з ЧПУ і зони обладнання з ручним управлінням. Розрізняють також зони попередньої, основної і остаточної обробки. У зонах попередньої і остаточної обробки застосовують обладнання з ручним управлінням.

На предметно-замкнутих ділянках в зв'язку з різним часом Тшт операцій з'являється необхідність створення міжопераційних заділів і, отже, розміщення магазинів-накопичувачів всередині виробничої системи. Варіанти розташування магазинів-накопичувачів на ділянці представлені на рисунку 1.3.

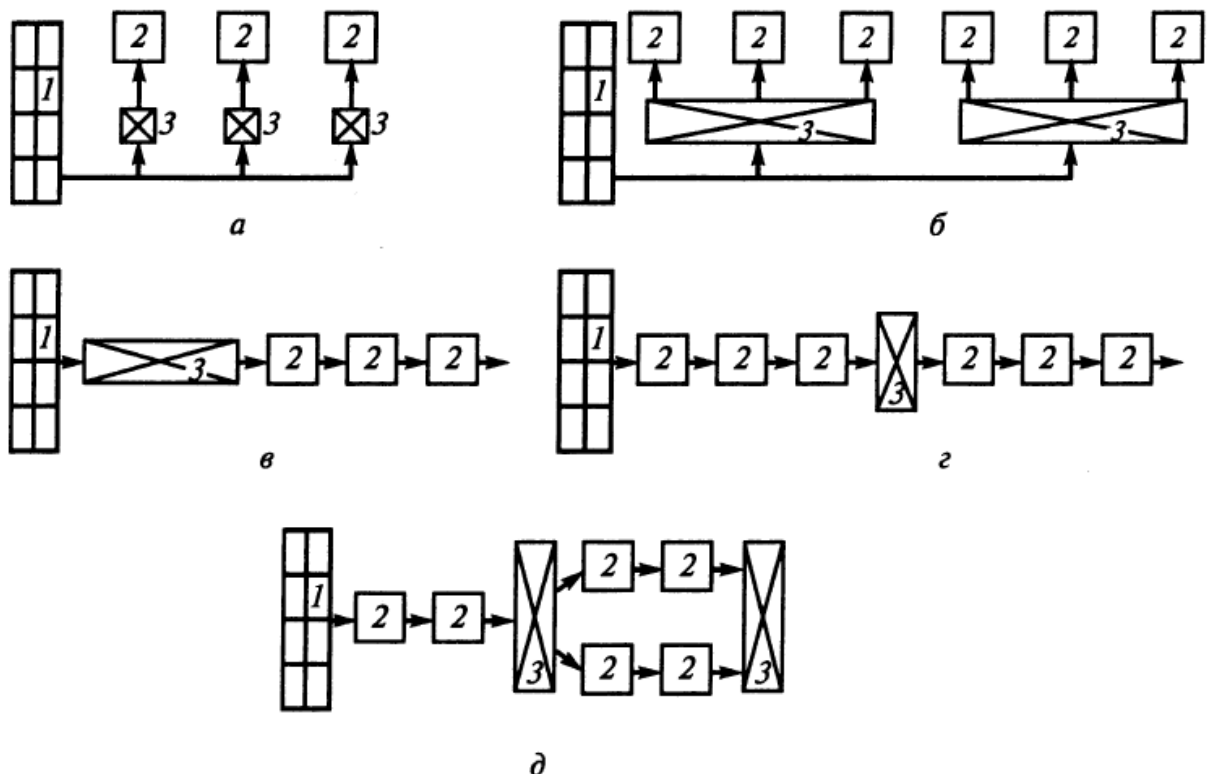
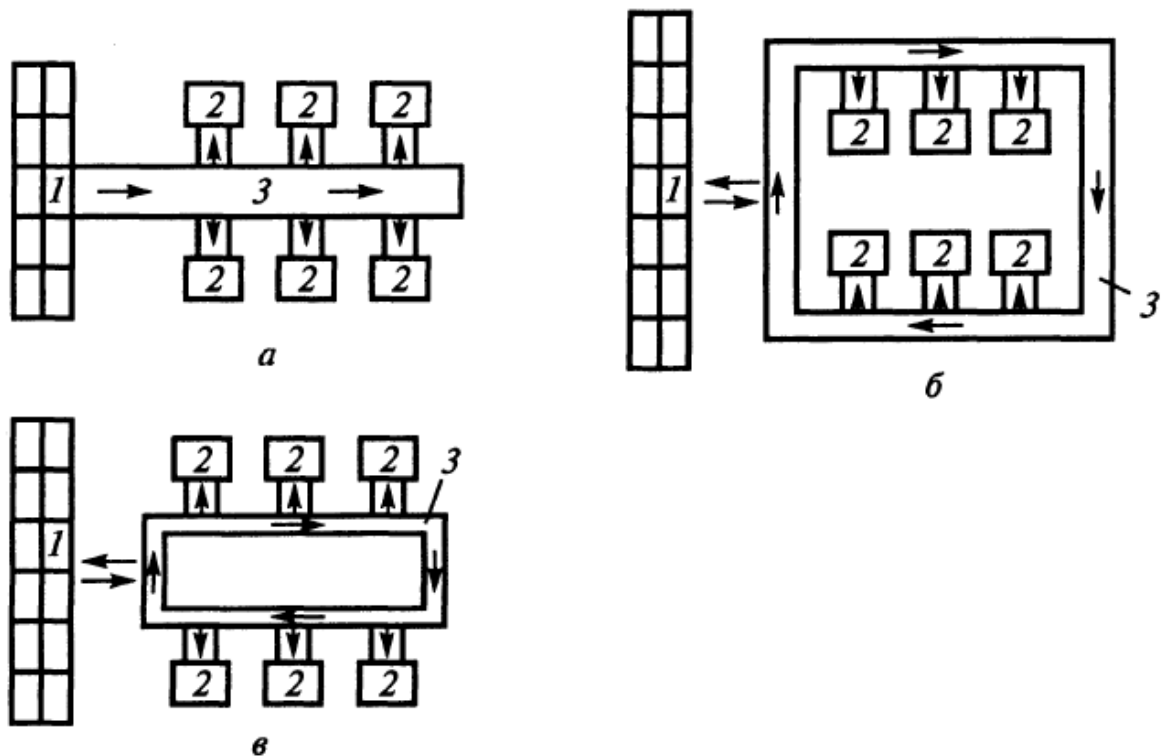


Рисунок 1.3 – Варіанти розташування магазинів-накопичувачів на ділянці

На рисунку 1.3 використовуються такі умовні позначки:

- а) магазин-накопичувач у кожного верстата;
- б) магазин-накопичувач на групу верстатів;
- в) єдиний магазин-накопичувач на початку ділянки;
- г) єдиний магазин-накопичувач в середині ділянки;
- д) проміжні магазини-накопичувачі;
- 1) автоматизований склад;
- 2) обладнання для обробки;
- 3) магазини-накопичувачі.

Транспортна система може бути локальною і єдиною для всього підрозділу. По розташуванню розрізняють лінійні і кругові транспортні системи (рис. 1.4). Розташування обладнання всередині зон обробки таке ж, як і в звичайних підрозділах: послідовне, паралельне, змішане.



а – лінійна ТС; б і в – кругові ТС

Рисунок 1.4 – Схеми транспортних систем

На рисунку 2.4 цифрами позначені:

- 1) автоматизований склад;
- 2) модуль, обробний центр, верстат з ЧПУ;
- 3) транспортна система.

При застосуванні пристосувань-супутників в компонуванні ділянки необхідно передбачити вантажно-розвантажувальні позиції або станції для установки і знімання деталей і пристосувань. Розташування цих позицій або станцій на ділянці залежить від прийнятої системи забезпечення обробного обладнання деталями в пристроях-супутниках і співвідношення часу обробки деталей на верстаті і часу установки-зняття деталі [6].

На рисунку 1.5 показано варіанти схем розташування вантажно-розвантажувальних позицій в виробничих системах.

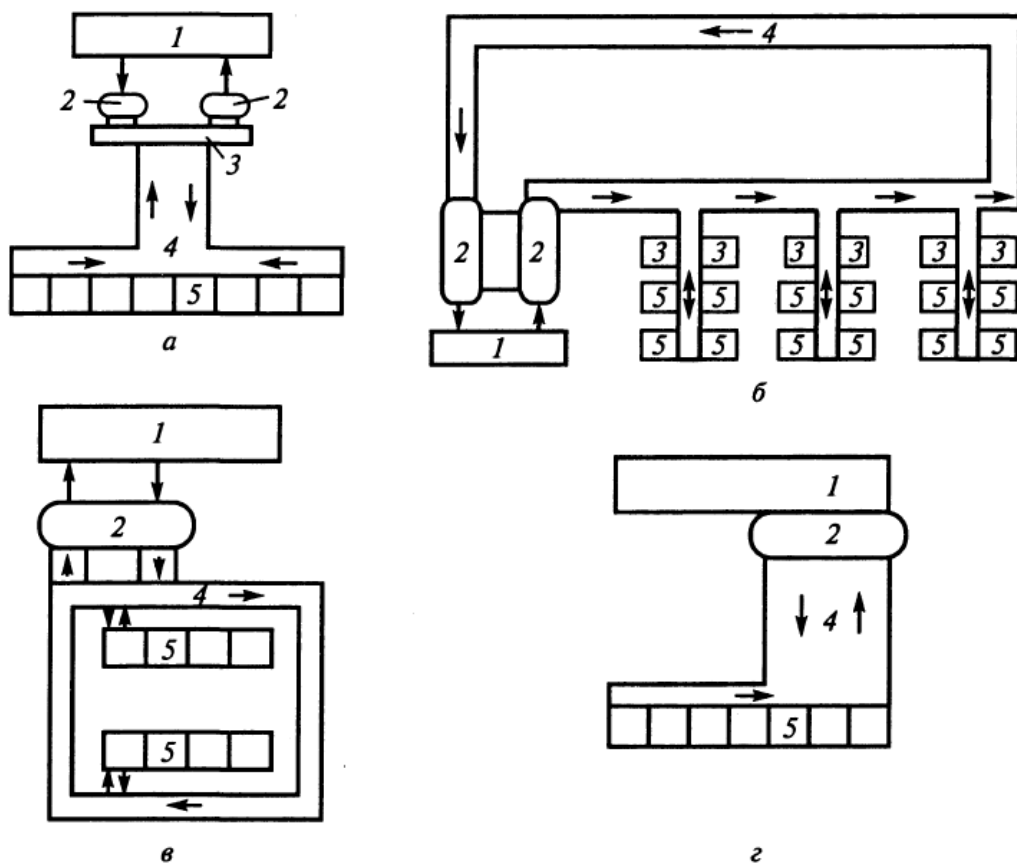


Рисунок 1.5 – Варіанти схем розташування вантажно-розвантажувальних позицій в виробничих системах

На рисунку 1.5 цифрами позначені:

- 1 автоматизований склад;
- 2 завантажувально-розвантажувальний пристрій (станція);
- 3 накопичувач;
- 4 транспортна система;
- 5 обладнання для обробки.

При великому часу $T_{маш}$ і відносно малому $T_{чуз}$ (час установки-зняття) забезпечують вантажно-розвантажувальні позиції всіх верстатів ділянки через загальний накопичувач (рис. 1.5, а) або безпосередньо подають деталі до робочих місць. В цьому випадку до кожного робочого місця деталі в пристосуванні доставляють або за допомогою транспортної системи безпосередньо на верстати (рис. 2.5, в), або в накопичувачі до кожного робочого місця, або в накопичувачі для груп верстатів (рис. 2.5, б). При певному співвідношенні $T_{маш}$ і $T_{чуз}$ можлива установка вантажно-розвантажувальних позицій на групу верстатів всередині підрозділу (рис. 2.5, г).

1.5 Огляд методів управління матеріальними та інформаційними потоками на виробництві

Управління складом – це адміністрування та управління потоками товарів на складах компанії. Розроблений програмний продукт автоматизує процеси, що пов'язані з прийманням, зберіганням, переміщенням та відгрузкою товарів.

Основна задача програми управління макетом складу:

- облік товару або заготовок на складі;
- видати інформацію, де певний товар знаходиться (фізичний адрес)
- видати інформацію про кількість матеріальних цінностей (МЦ) що можна ще розмістити на складі.

На рисунках 1.6 і 1.7 приведені приклади товарних потоків на складі відповідно до схеми, що закладена в функціональності програмного модуля управління складом.

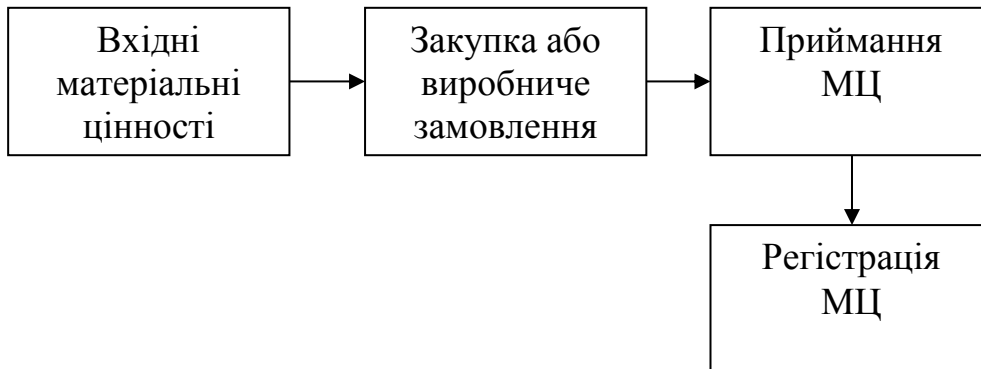


Рисунок 1.6 – Приклад товарних потоків при прийомі матеріальних цінностей на складі

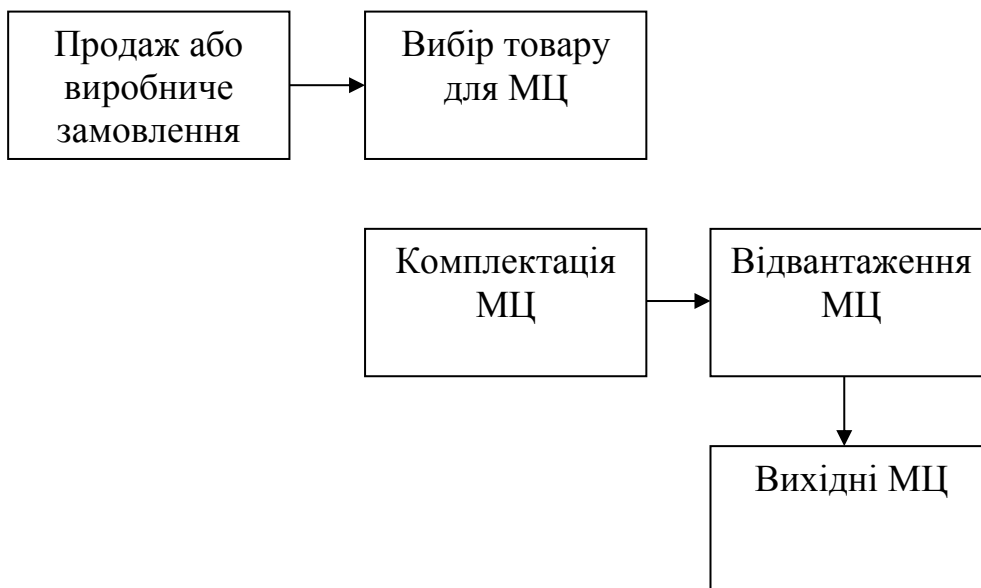


Рисунок 1.7 – Приклад товарних потоків при видачі матеріальних цінностей на складі

Товари або матеріальні цінності прибувають на склад в результаті їх закупки у постачальників, або як результат кінцевого виробництва. Після цього товар проходить процедури приймання та реєстрації.

Товари відвантажуються зі складу в результаті створення замовлення на продаж товарів, або в результаті запуску нового виробництва. Після цього система спочатку вибирає товар, який необхідно відвантажити, потім може проходити процедура комплектації товару, після чого товари відвантажуються зі складу.

Для розуміння принципів роботи програми управління складом подивимося на схему руху товарів на складі в контексті комірок зберігання (рисунок 1.8).

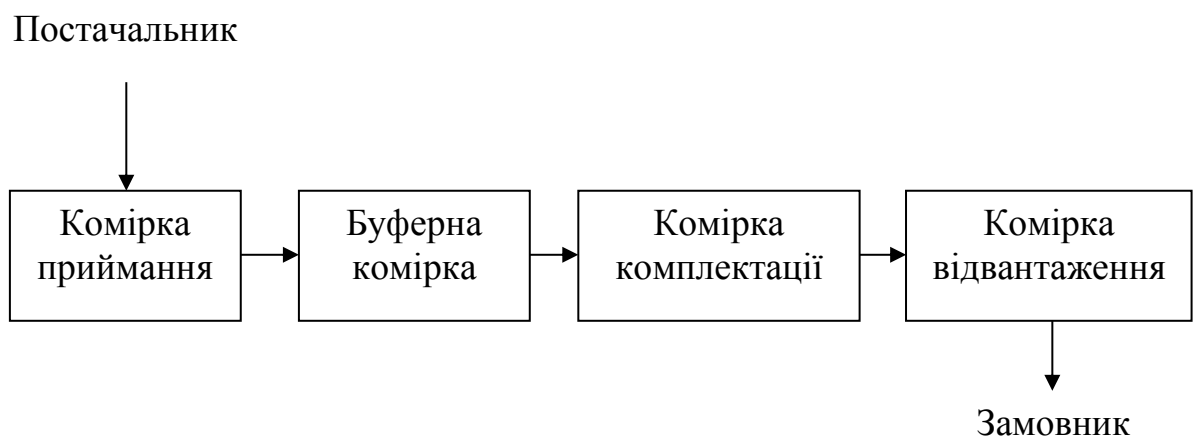


Рисунок 1.8 – Схема руху товарів на складі в контексті комірок зберігання

На цьому рисунку можна бачити, як фізично товар може переміщуватися по складу між різними типами комірок зберігання, коли він проходить різні стадії обробки. Варто пояснити основні відмінності між різними типами комірок зберігання.

Комірки приймання – це ті комірки, в котрі поміщається товар, що прибуває на склад.

Комірки відвантаження – це комірки, в котрих складається товар, що готовий для відправки клієнту або в виробництво.

Комірки комплектації – це комірки, в котрих відбувається процедура комплектації (або упаковки). Зазвичай в якості комірок комплектації вибирають ті комірки зберігання, доступ до яких максимально спрощений.

Буферні комірки – це вся решта комірок зберігання на складі, зазвичай в буферних комірках зберігаються товари, відвантаження котрих не потребує процедури комплектації та упаковки.

Буферні комірки можуть бути використані в якості комірок комплектації при переповненні останніх. В таблиці 1.1 приведені стадії обробки товарів на складі і відповідні цим стадіям фізичні дії, що здійснюються з товаром, та місцезнаходження товарів.

Таблиця 1.1 – Стадії обробки товарів на складі

Стадія	Дія	Розташування товарів
Прийом товарів	Товари прибувають до складу	Комірка приймання
Регістрація товарів	Створення журналу прибуття товарів	Комірка приймання
Зберігання товарів	Фізичний перенос товарів і виконання завдань на транспортування	3 комірки приймання в буферні комірки або в комірки комплектації
Вибір замовлень/товарів для відвантаження	Активація відвантаження	Буферні комірки або комірки комплектації
Комплектація товарів	Виконання: Маршрутів комплектації Транспортування відвантажень Завдання на поповнення комірок комплектації	3 буферних комірок або комірок комплектації до комірки відвантаження
Відвантаження товарів	Друк документів та завершення відвантаження	3 комірок відвантаження клієнтам, до виробництва і т.д.

Варто зазначити, що обробка товару на складі не повинна проходити через всі ці стадії. Наприклад, система може бути налаштована так, що процедура реєстрації та комплектації не потребується. Загалом, вибір тих стадій, через котрі повинна проходити обробка товарів залежить від

складності складських процесів, типа зберігаємої номенклатури, структури складу і т.д.

Реалізації тієї чи іншої процедури в стандартному чи розширеному управлінні складом відрізняються. Розширене управління складом, в цілому, надає більш широкий функціонал, але рішення про те потрібно їм користуватись чи ні, цілком залежить від того який склад вам потрібно автоматизувати.

На рисунку 1.9 відображено декілька різних варіантів прийомки товару.

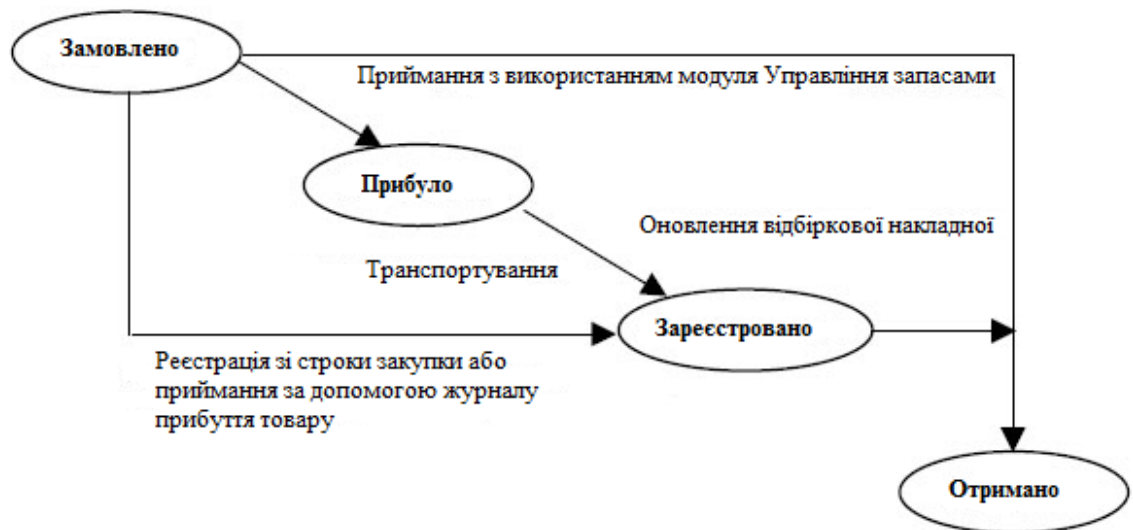


Рисунок 1.9 – Схема приймання товару

Будь-який рух товару на складі фіксується в системі в вигляді складської проводки – спеціального внутрішнього документа.

В момент створення закупки або виробничого замовлення, відповідний модуль складає складську проводку, що інформує вас та інші модулі системи про те, що очікується поставка товару на склад. На даний час ця складська проводка буде мати статус «замовлено».

Після цього, в ході обробки закупки або виробничого замовлення, статус проводки може змінитися на «прибуло», «зареєстровано», «отримано» та «закуплено».

В залежності від налаштувань модуля управління складом, декотрі з цих статусів (а саме «прибуло», «zareєстровано», «отримано») можуть бути пропущені. Наприклад, проводка може змінити статус «замовлено» одразу на «закуплено»

Всі статуси задіяні в розширеному управлінні складом, коли в процедурі приймання товару присутні стадії реєстрації та розміщення товару за допомогою транспортування палет.

В загалом, при прийманні товару на складі створюється журнал прибуття товару – спеціальний документ, в котрому фіксується список номенклатури, що прибула та її кількість. Після перегляду цього журналу, складські проводки змінюють свій статус на «отримано» та створюються транспортування приймання – завдання на розміщення товару на складі.

Після того як транспортування приймання виконані, складські проводки змінюють статус на «zareєстровано», в проводках відображене нове місцезнаходження номенклатури та процес реєстрації надходження є виконаним. В цей момент весь прибутий товар розміщений по своїм адресам зберігання. Процедура обробки відборочної накладної може проінформувати про це менеджера по закупівлям, т.я. вона зі зміною статусу складських проводок на «отримано», змінює і статус закупівлі.

Після цього менеджер по закупівлям може обробити накладну по закупівлі, що призведе до розрахунку собівартості прибуття, а статус складських проводок зміниться за «закуплено».

При створенні транспортування прийомки запускається механізм визначення місця зберігання для товару, що прибув. Розглянемо більш детально принцип роботи цього механізму.

Для роботи цього механізму весь прибутий товар повинен бути розбитий по палетам. Якщо товар надійшов в своїх стандартних палетах, зі стандартною кількістю по одній палеті, то таке розбиття може бути зроблено автоматично, при створенні строк журналу прибуття товару (після того, як в журналі прибуття товару визначені значення за замовчуванням: необхідно встановити

опцію «Ініціалізувати кількість»). Інакше (не стандартні палети), строки журналу прибуття товару необхідно створити вручну, вказавши для кожної строки код номенклатурної одиниці, кількість та тип палети, на котрій розміщена дана номенклатурна одиниця.

Роботу механізму можна розбити на наступні логічні етапи:

По типу палети механізм визначає список комірок зберігання, котрі підходять для зберігання даного виду палети (механізм груп типів палет).

З цього списку вибираються тільки ті комірки, котрі належать зоні зберігання номенклатури (настройки місцезнаходження номенклатури).

Далі зі списку вибираються ті комірки, в котрих є вільні палетомісця (настройки максимальної кількості палет, що поміщені до комірки зберігання).

Потім визначається, чи вміщується дана палета в комірку по висоті (настройка висоти комірки).

Якщо механізм виявляє підходящу комірку зберігання, то створюється траспортування прийомки з комірки приймання до цієї комірки. Якщо підходящої комірки виявити не вдалося, то рознесення журналу прибуття товару припиняється і виводиться повідомлення про помилку.

Вище описані основні моменти роботи механізму визначення вільного місця, але мають певні нюанси, на котрих не варто загострювати увагу.

На рисунку 1.10 зображено декілька різних варіантів відвантаження товару: з використанням процедури комплектації, а також без неї.

При створенні заказа на видачу та виробництво замовлення, відповідні модулі програми створюють складські проводки, що інформують нас та інші модулі системи про те, що планується відвантаження товару зі склада. Такі складські проводки мають статус «В замовленні».

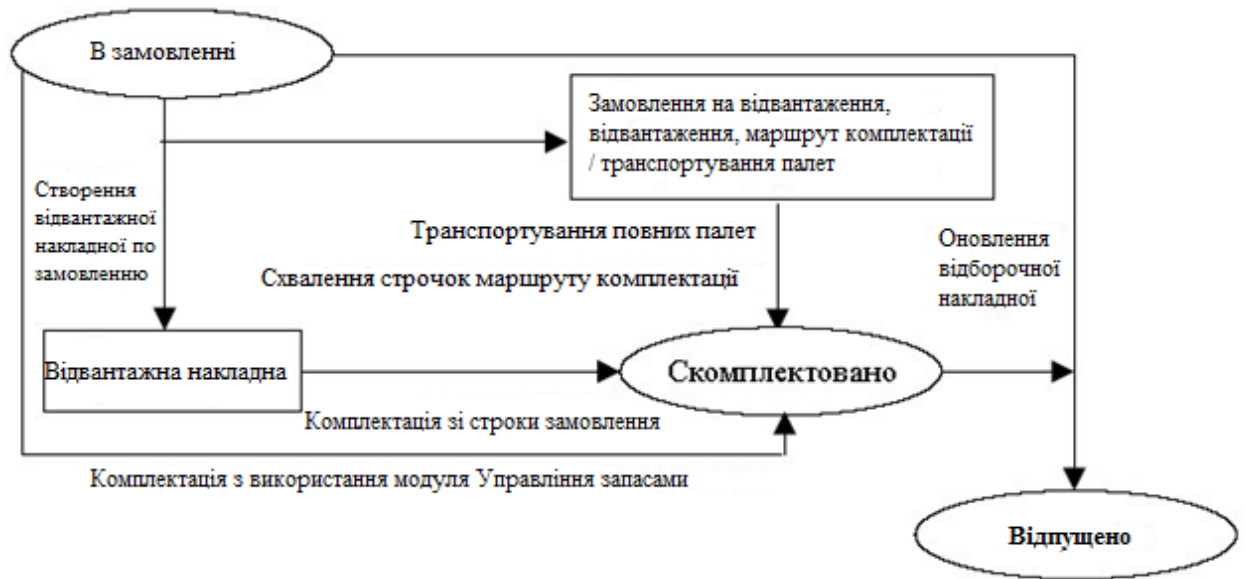


Рисунок 1.10 – Схема відвантаження товару

Далі, в ході обробки замовлення на продаж чи виробничого замовлення, статус складських проводок може змінюватися на «зарезервовано», «скомплектовано», «відпущено» та «продано».

Також як і з прийманням товару, в залежності від налаштувань, декотрі зі статусів можуть бути опущені. Наприклад, статус «скомплектовано» може не з'являтися, в випадку якщо для відвантаження товару не потребується комплектація.

Менеджер продаж оброблює по замовленню відвантажну накладну, це призводить до створення замовлень на відвантаження – внутрішні документи, що інформують склад по те, що необхідно почати процедуру комплектації необхідних товарів.

Менеджер складу, на основі замовлень на відвантаження, створює відвантаження. Саме відвантаження, а не замовлення на відвантаження, проходять процедуру комплектації.

При активації комплектації відвантаження, створюються маршрути комплектації – завдання на комплектацію, котрі виконуються робітниками складу.

Якщо для виконання відвантаження можна використовувати повністю заповнені палети (тобто комплектація не потрібна), то створюються транспортуючі відвантаження – завдання на перенос заповнених палет з комірок зберігання в комірки відвантаження.

Після того, як комплектація відвантаження виконана, статус складських проводок змінюється на «скомплектовано» і по відвантаженню можлива обробка відборочної накладної. Обробка відборочної накладної інформує робітників відділу продаж про те, що комплектація та упаковка замовлення завершена та він може бути відправлений клієнту [7].

Після обробки відборочної накладної статус проводок змінюється на «відпущено», разом зі зміною статусу замовлення. Можно обробляти накладну по замовленню, що призводить до виставлення заборгованості клієнту.

1.6 Висновки по першому розділу

В результаті виконання другого розділу магістерської атестаційної роботи був виконаний аналіз вимог до транспортування виробів на сучасних виробництвах в рамках концепції Industry 4.0. Виконана класифікація транспортних систем та проаналізовані вимоги до застосування транспортних засобів на автоматизованих виробництвах. Розглянуті методи компоновки промислового обладнання на виробничій ділянці в залежності від технологічного процесу, конструктивно-технологічними особливостями, заданим обсягом випуску виробів та конкретними умовами виробництва.

2 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ОПИСУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВИРОБНИЦТВІ

2.1 Аналіз методів визначення необхідної кількості транспортних засобів перевезення вантажів на автоматизованій ділянці

Як біло зазначено в першому розділі, кількість транспортних засобів кожного типу визначають виходячи з завантаженості машин (T_{ME}) транспортних операцій [11].

$$T_{M.E.} = \frac{Q \cdot T_{\text{ц}}}{q_n \cdot 60}, \quad (2.1)$$

де Q – потік вантажу (т);

$T_{\text{ц}}$ – середня тривалість одного рейсу або одного циклу роботи транспортних засобів (хв.);

q_n – середня транспортна партія(т).

Завантаженість машин можна розрахувати виходячи з величини транспортної партії:

$$T_{M.E.} = \frac{Z_T \cdot T_{\text{ц}}}{Z_{T.P.} \cdot 60}, \quad (2.2)$$

де Z_{TP} – величина транспортної партії, одиниці тари;

Z_T – вантажопотік, одиниця тари.

Для визначення вантажу використовується наступна формула:

$$Z_{T.i.} = \frac{Q_i}{C_i} \quad (2.3)$$

де $Z_{T.i.}$ – вантажопотік, одиниця тари, для певної групи виробів;

Q_i – вантажопотік (т.) для певної групи;

C_i – середня вантажомісткість тари.

Час руху транспортного засобу визначають виходячи з довжини транспортного шляху і швидкості переміщення, які не повинні перевищувати: 80 м./хв. – для підлогового транспорту і 50 м./хв. – для підвісного транспорту.

Для непотокового виробництва час руху транспортних засобів може бути розрахований по середній довжині транспортного шляху.

Кількість транспортних засобів визначають по формулі (2.4) :

$$N_{T.P.} = \frac{\sum_{i=0}^n T_{M.E.} \cdot k_c}{\Phi_0 \cdot k_3}, \quad (2.4)$$

де k_c – 1,2.. 1,6 – коефіцієнт попиту, що враховує нерівномірність отримання вимог на обслуговування в одиницю часу;

k_3 – 0,7.. 0,8 – коефіцієнт завантаження транспортного засобу;

Φ_0 – ефективний річний фонд часу роботи обладнання, г.;

N – число вантажопотоків, що обслуговуються цим типом транспорту.

Загальна кількість одиниць тари одного найменування:

$$Z_{T.O.} = 1,15 \cdot (Z_{T.C.} \cdot Z_{P.M.} \cdot Z_3), \quad (2.5)$$

де 1,15 – коефіцієнт, що враховує тару, яка знаходиться в ремонті і на транспортній системі;

$Z_{Т.С.}$ – кількість одиниць тари, що знаходиться в цехових сховищах;
 $Z_{Р.М.}$ – кількість одиниць тари, що знаходиться на робочих місцях;
 Z_3 – кількість одиниць тари, що знаходиться на зберіганні на міжопераційних та складських ділянках.

2.2 Розрахунок часу на транспортування і обслуговування замовлень

При розробці транспортної системи в автоматизованому виробництві необхідно намагатися такого автоматичного переміщення інструменту, заготівель і деталей, між елементами устаткування, при якому мінімізуються простой системи обробки, виміру і досягається економічне доцільне співвідношення між вартістю цих простоїв і втратами із-за простоїв самої транспортної системи за відсутності заявок на обслуговування [8].

Таким чином, необхідно не лише вибрати конструкцію транспортної системи, що забезпечує переміщення інструменту, деталі або заготівлі, погоджувати за часом її роботу з роботою технологічного устаткування, а також підтвердити це відповідними розрахунком.

Незалежно від виду транспортного пристрою, загальним і одним з основних видів розрахунку є розрахунок часу обслуговування :

$$T_{об} = T_3 + T_T + T_B, \quad (2.6)$$

де T_3 — час завантаження транспортного засобу;

T_T – час транспортування;

T_B – час вивантаження.

Як правило:

$$\sum (T_3 + T_B) < 10\%, \quad (2.7)$$

Отже, основним резервом підвищення продуктивності транспортних пристроїв являється зменшення T_T :

$$T_T = t_P + t_M + t_T + t_{II}, \quad (2.8)$$

де t_P – час розгону:

t_M – час руху зі швидкістю, що встановилася, V_M ;

t_T – час гальмування до зниженої швидкості V_{II} ;

t_{II} – час руху із швидкістю V_{II} до повної зупинки.

Час розгону t_P обчислюється за формулою:

$$t_P = \frac{V_M}{\alpha_P}, \quad (2.9)$$

де α_P – прискорення розгону.

Час руху t_M обчислюється за формулою:

$$t_M = \frac{S_M}{V_M}, \quad (2.10)$$

де S_M – шлях з усталеною швидкістю V_M .

Час гальмування t_T обчислюється за формулою:

$$t_T = \frac{(V_M - V_{II})}{\alpha_T}, \quad (2.11)$$

де α_T – прискорення гальмування.

Час руху t_{Π} до повної зупинки обчислюється за формулою:

$$t_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{V_{\Pi}}, \quad (2.12)$$

де S_{Π} – шлях повної зупинки.

t_p та t_{Π} – залежать від динамічних характеристик транспортного механізму.

Для переведення транспортного модуля в режим гальмування використовують шляхові датчики, які встановлюють на відстані $S_{T.П.}$ від елементів обладнання технологічної системи.

Тоді:

$$S_n = S_{T.П.} - S_T = S_{T.П.} - \frac{(V_m^2 - V_n^2)}{2\alpha_T}, \quad (2.13)$$

де S – шлях прохідний при гальмуванні.

Тоді шлях з усталеною швидкістю V оцінюється:

$$S_M = S - S_p - S_{T.П.}, \quad (2.14)$$

де S – відстань, що проходить транспортний засіб при виконанні одноадресної операції;

S_p - переміщення при розгоні.

Для випадку – $S_1 > S_p + S_{T.П.}$

$$(T_T) = \frac{V_M}{\alpha_p} + \frac{S_1 - S_p - S_{T.П.}}{V_{\Pi}} + \frac{V_M - V_{\Pi}}{\alpha_T} + \frac{S_{\Pi}}{V_{\Pi}}, \quad (2.15)$$

Для випадку $-S_2 = S_P + S_{T.П.}$

$$(T_T)_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (S_2 - S_{T.П.})}{\alpha_p}} + \frac{2 \cdot \alpha_T \cdot S_{T.П.} - (V_M - V_{II})^2}{2 \cdot \alpha_T \cdot V_{II}}, \quad (2.16)$$

Для випадку $-S_2 < S_P + S_{T.П.}$

$$(T_T)_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot (S_3 - S_{T.П.})}{\alpha_p}} + \frac{2 \cdot \alpha_T \cdot S_{T.П.} - (V_P - V_{II})^2}{2 \cdot \alpha_T \cdot V_{II}}, \quad (2.17)$$

де V_P – швидкість, що досягається при розгоні:

$$V_P = \sqrt{2 \cdot \alpha_P \cdot (S_3 - S_{T.П.})}, \quad (2.18)$$

Для будь-якої транспортної операції (багато-адресної):

$$V_P = \sqrt{2 \cdot \alpha_P \cdot (S_3 - S_{T.П.})}, \quad (2.19)$$

де d_1, d_2, d_3 – частка транспортної операції 1, 2 і 3 виду в загальній кількості транспортних операцій.

Для конкретної номенклатури деталей з відомим маршрутом обробки, коли відомо A_i – частота появи всіх необхідних i -х одно-адресних операцій, час транспортування визначається:

$$\bar{T}_T = \left\{ \frac{1}{R} \sum_{C=1}^{R1} (A_C)_1 \right\} \cdot (\bar{T}_T)_1 +$$

$$\begin{aligned}
& + \left\{ \frac{1}{R} \sum_{C=1}^{R2} (A_C)_2 \right\} \cdot (\overline{T}_T)_2 + \\
& + \left\{ \frac{1}{R} \sum_{C=1}^{R3} (A_C)_3 \right\} \cdot (\overline{T}_T)_3 +
\end{aligned} \tag{2.20}$$

де R – загальна кількість транспортних операцій.

Для транспортної операції j -го виду ($j = 1 \dots j$) середній пробіг при виконанні одно-адресній операції j -го виду визначимо:

$$S_j = \frac{1}{A_j} \sum_{j=1}^{A_j} (S_{ij}), \tag{2.21}$$

де S_{ij} – пробіг при виконанні i -ої операції j -го виду;

A_j – кількість транспортних операцій j -го виду.

Тоді час обслуговування визначимо:

$$T_{OB} = T_3 + \sum_{j=1}^3 \left\{ d_1(\overline{T}_T)_j \right\} + T_B. \tag{2.22}$$

2.3 Модель процесів масового обслуговування запитів на отримання інформації в системі

Отримання вихідної інформації в системі здійснюється по запитам, що вимагають своєї обробки певний час [9]. Обробка запита полягає в виконанні функціональних задач (ФЗ). В результаті конкуренції різних запитів на інформаційні та програмні ресурси ІС (від користувачів, при виконанні технологічних операцій або автоматичного прийому інформації, що поступає по каналам зв'язку і ін.) можуть виникати черги. Запити з черги

обслуговуються згідно прийнятої технології обробки. Коли підходить черга обробки запиту, вмикається функціональна задача, що потребує виконання. Моментом закінчення обробки запиту є представлення запиту (виданого примусово) вихідного документу. При цьому під час обробки запиту може розумітися не тільки час, що необхідний для отримання одного вихідного документу, але й час, що необхідний для отримання по запиту сукупності декількох вихідних документів.

Для оцінки своєчасності представлення запитуємої (що видається примусово) вихідної інформації в ІС широко використовуються моделі масового обслуговування. Процеси обробки запитів в ІС формуються як процеси масового обслуговування в пріоритетній системі с нескінченим числом місць для очікування та довільної функції розподілу часу обробки запитів (M/G/1).

При цьому припущення про пуассоновість потоків запитів на обробку в систему може бути обгрунтовано тим, що серед потоків тип Пальма пуассонівський потік ставе систему обслуговування в найбільш жорсткі умови функціонування і для показників час очікування запитів в чергах дає верхні оцінки. Більш того, потоки запитів одного типу представляють собою, як правило, суму більшого числа потоків від різних джерел. Інтенсивність кожного зі складаємих потоків мала в порівнянні з інтенсивністю суммарного потоку – в такій ситуації діє гранична теорема В.Григолиониса про збіжність сум ступенчатих процесів до пуассонівського, згідно котрій сумарний потік збігається до пуассонівського. Всі приведені міркування, а також результати статичних досліджень, що проводились в ході випробувань інформаційних систем, свідчать про можливість використання допущення про пуассоновість потоків запитів на обслуговування.

Припущення про нескінченність числа місць для очікування означає на практиці виділення для зберігання запитів, вхідної та вихідної інформації таких об'ємів пам'яті буферів та бази даних, котрі при правильній експлуатації гарантують відсутність інформаційних втрат в системі внаслідок їх можливого

переповнення. Оскільки в останні роки прослідковується стійка тенденція до суттєвого збільшення об'ємів оперативної та зовнішньої пам'яті та її здешевленню в сучасних засобах електронно-вчислювальної техніки, проблеми з недоліком пам'яті зустрічаються все менше, і в найближчому майбутньому, не будуть більше викликати практичні складності. З урахуванням викладеного вище це припущення о нескінченності числа місць для очікування в системі представляється цілком обґрунтованим.

Для моделей масового обслуговування з різними пріоритетами та дисциплінами обробки пуасоновських потоків запитів ймовірність надання потребуємої інформації за заданий час визначається за допомогою апроксимації неповної гамма-функції:

$$P_{cv}(t_{зад}) = \frac{\int_0^{t_{зад}} \exp(-\tau) \cdot \tau^\gamma \partial \tau}{\Gamma(\gamma)}, \quad (2.23)$$

Тут:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} \exp(-\tau) \cdot \tau^\gamma \partial \tau, \quad (2.24)$$

гамма-функція,

$$\gamma = T_{r1} \cdot \sqrt{T_{r2}^2 + T_{r1}^2}, \quad (2.25)$$

де T_{r2}^2 , T_{r1}^2 відповідно 1-й и 2-й моменти часу перебування запитів r -го пріорітету на обслуговування в системі з урахуванням очікування.

2.4 Модель процесів відображення в базі даних нових об'єктів обліку предметної області

Під повнотою відображення в БД реально існуючих об'єктів обліку предметної області розуміється властивість ІС відображати в процесі функціонування стан всіх об'єктів обліку, що передбачені в запиті користувача ІС на отримання вихідного документа. В процесі експлуатації неповнота може виникнути як результат тимчасової затримки в відображенні в БД нових, тільки не з'явившихся об'єктів обліку з моменту їх з'явлення в реальності і до моменту фізичного запису в БД.

Для проведення оцінки використовується наступна модель відображення в БД ІС об'єктів обліку предметної області.

Оскільки БД є формальним відображення наявності та стану, реально існуючих об'єктів обліку предметної області, зіставлення вхідних та вихідних форм документів дозволяє виявити ті об'єкти обліку, котрі є ключовими у вхідних документах та інформація про стан котрих підлягає функціональному використанню відповідно з цільовим назначенням ІС. Вся множина таких об'єктів обліку звісно, а їх номенклатура або задається класифікаторами (продукції, послуг і ін.), або визначається заказниками або користувачами ІС в технічному завданні та постановках функціональних задач.

Реальне наповнення БД записами про реально існуючі об'єкти обліку на момент випробувань може:

- охопити всі можливі об'єкти обліку, існуючі в реальності і, як наслідок, констатується факт повного відображення об'єктів обліку предметної області в БД ІС;

- охопити лише частину реально існуючих об'єктів обліку, а початкові записи про інші об'єкти потенційно можуть з'являтися в процесі подальшого функціонування ІС або в окремі періоди функціонування ІС. У цьому випадку при з'явленні нових об'єктів обліку до здійснення формальних записів про них

в БД ІС матиме місце неповнота відображення реально існуючих об'єктів обліку предметної області в БД, та, якщо таких об'єктів в оцінюваний період функціонування ІС достатньо багато, а доведення інформації про них від джерел до БД займає довгий час, то неповнота БД може призвести до необліку ряду реальних факторів і, внаслідок цього, до зниження якості функціонування ІС.

Ступінь відображення в БД ІС об'єктів обліку предметної області оцінюється ймовірними показниками з використання моделі масового обслуговування (M/G/1). При цьому реальний закон з'явлення нових об'єктів обліку апроксиміюється пуасоновським законом, що дозволяє отримувати песимістичні оцінки повноти відображення інформації в БД ІС. Оцінка здійснюється в додатку до конкретного періода функціонування ІС и конкретним типам форм вхідних документів.

Якщо через випадкові інтервали часу, розподілені по експоненціальному закону з параметром μ ймовірністю q_m з'являється одразу m нових об'єктів обліку, то ймовірність того, що в БД повністю відображені реальні об'єкти обліку конкретного типу

$$P_{\text{полн}} = \exp \left\{ -\mu \cdot \int_0^{\infty} 1 - \Phi(B(t)) \delta t \right\}, \quad (2.26)$$

Тут:

$\Phi_{(Z)} = E_{m>0} q_m \cdot z^m$ - похідна функція;

$B(t)$ – ФР часу підготовка, передачі та вводу в БД інформації про нові об'єкти обліку. В частному випадку, коли одночасно може з'явитися лише один новий об'єкт обліку, тобто похідна функція $\Phi(Z) = Z$, а також у випадку, коли:

$$B(t) = \begin{cases} 0, & t < b \\ 1, & t \geq b \end{cases}, \quad (2.27)$$

при будь-якому $\Phi(z)$, справедливо:

$$P_{\text{полн}} = \exp\{-\mu \cdot b\}, \quad (2.28)$$

Тут:

$$b = \int_0^{\infty} B(t) \delta t, \quad (2.29)$$

2.5 Висновки по другому розділу

В результаті виконання другого розділу магістерської роботи було виконано аналіз методів визначення необхідної кількості транспортних засобів перевезення вантажів на автоматизованій ділянці. Наведено принцип розрахунку часу на транспортування і обслуговування системи автоматичного переміщення інструменту, заготівель і деталей, між елементами устаткування, при якому мінімізуються простой системи обробки щоб досягти економічне доцільне співвідношення між вартістю цих простоїв і втратами із-за простоїв самої транспортної системи за відсутності замовлень на обслуговування.

3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка архітектури автоматизованої системи

3.1.1 Опис архітектури автоматизованої системи

Для реалізації автоматизованої доставки деталей до робочого місця пропонується реалізувати наступну архітектуру системи керування виробничою ділянкою, що показано на рисунку 3.1.

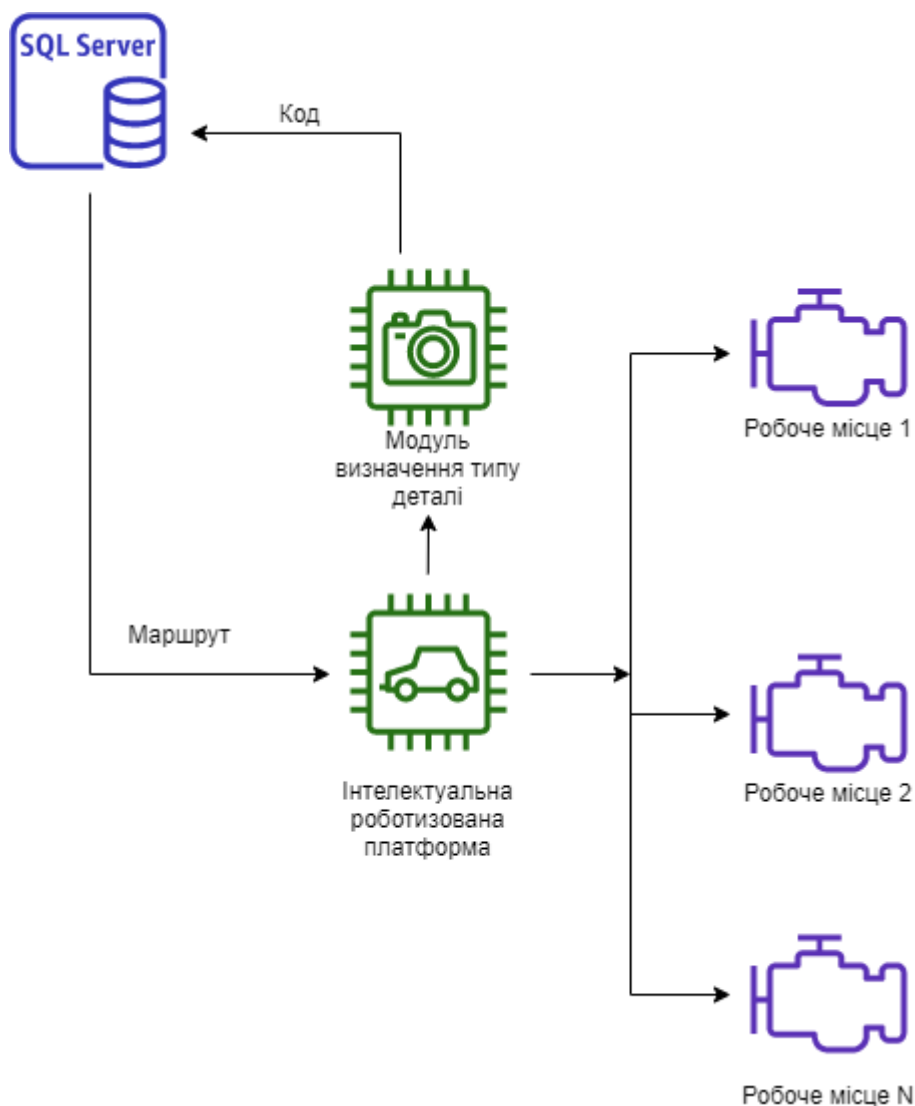


Рисунок 3.1 – Архітектура автоматизованої системи керування виробничою ділянкою

До складу автоматизованої системи входять:

- сервер з встановленою системою керування базами даних та програмою керування роботизованою платформою;
- роботизована платформа;
- модуль визначення типу деталі;
- робочі місця виробничої ділянки.

Інтелектуальна роботизована платформа працює самостійно в межах виробничої ділянки. Керуючись даними, що отримані від сервера, вона визначає маршрут слідування до потрібного робочого місця з метою доставки потрібної деталі.

Роботизована платформа реалізує одну з концепцій Industry 4.0, а саме автоматизовану логістичну систему безперервного постачання матеріалів до робочої зони верстатів з ЧПУ.

Програма, що встановлена на сервері, отримує дані з роботизованої платформи через засоби безпроводного зв'язку. За допомогою візуального інтерфейсу оператору відображається поточне положення мобільних платформ на плані виробничої ділянки. Програма має інтерфейс для ручного керування роботою платформи для корегування її положення або виконання складних задач, що виходять за межі її самостійної роботи.

Розглянемо приклад одного з сценаріїв роботи автоматизованої системи. Діаграма станів для цього сценарію показана на рисунку 3.2.

На першому кроці ERP-система передає в автоматизовану систему загальне замовлення на переміщення товару (сировини, матеріалів) на виробництво в усі цехи, всі виробничі лінії на добу. За цим завданням WMS переміщує сировину (матеріали) в буферну зону, де в процесі передачі товару виконується передача відповідальності від складу до виробництва. Далі управління рухом товарів на виробництві переходить до автоматизованої системи. Формується завдання на переміщення сировини на проміжний виробничий склад.

На другому кроці, у певний момент часу в системі формуються завдання на переміщення сировини і матеріалів до виробничих ліній. Ці завдання можуть бути скореговані на обсяг товару для однієї зміни або формуватися на основі місткості осередку виробничої лінії. В системі враховується партія сировини, поданого в виробництво.

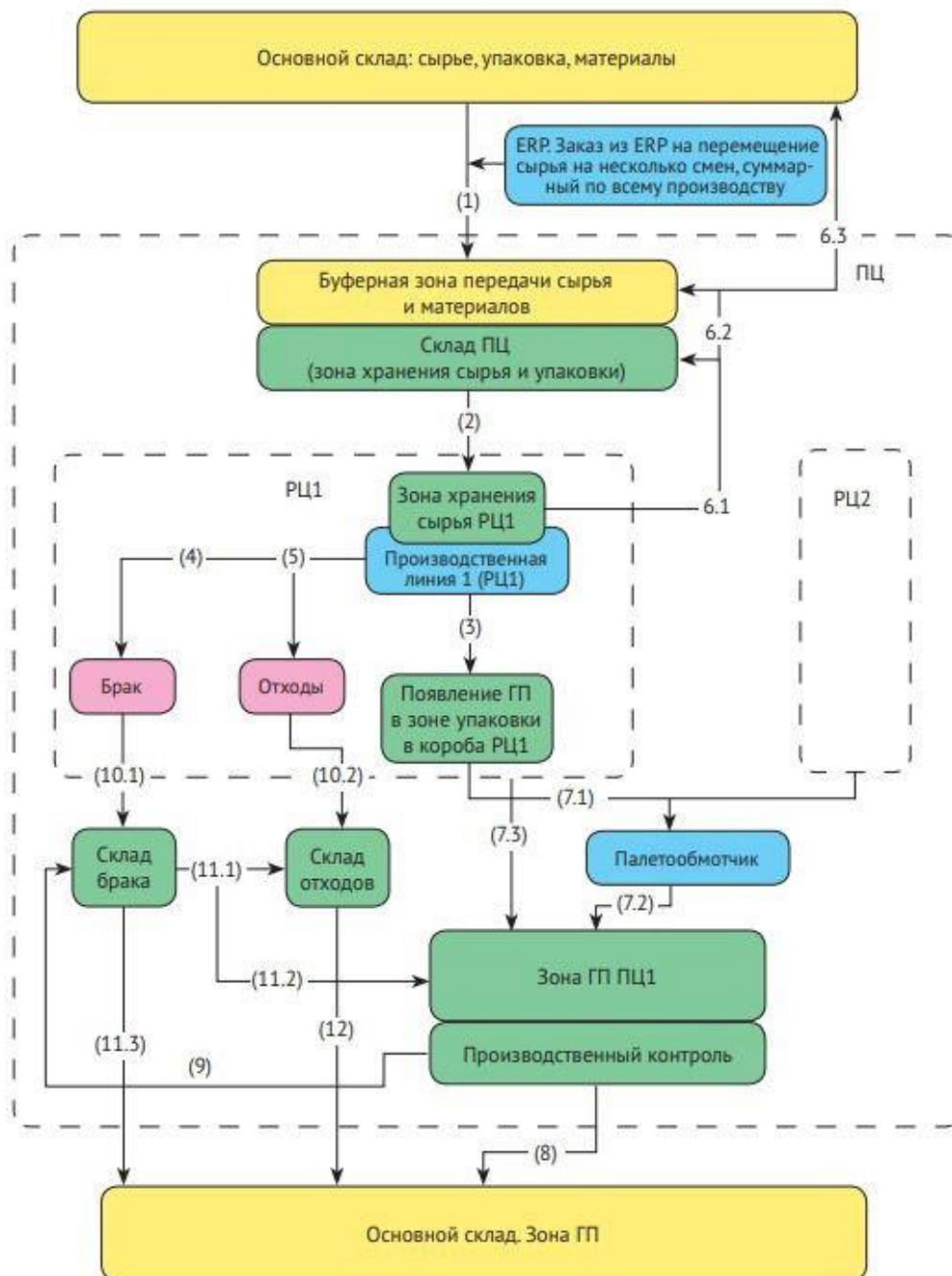


Рисунок 3.2 – Діаграма станів для зразкового сценарію поведінки автоматизованої системи

В результаті виробництва з'являється готова продукція. Тут же на виробничій лінії на основі значень вимірюваних параметрів, заданих обсягів випуску готова продукція може отримати різні статуси: придатна, умовно-годна, надлишок. Залежно від статусу подальші процеси руху і обробки цієї продукції, а відповідно і завдання по її переміщенню, будуть відрізнятися.

У процесі виробництва утворюється брак та інші відходи. Автоматизована система повинна враховувати їх кількість, оскільки це вплине не тільки на собівартість продукції, а й на формування завдань поповнення сировини на виробничі лінії.

Залишки сировини або матеріалів можуть залишитися на виробничій лінії на наступну зміну або їх повернуть на загальний виробничий склад і потім на склад сировини. Ці переміщення також формуються в системі по певних подій або рішенням.

Готова продукція може упаковуватися в коробки на виробничій лінії або в окремій зоні упаковки. У будь-якому з варіантів саме на виробництві відбувається маркування виробів, коробів або палет, виконується агрегація виробів в упаковки.

Оскільки в системі є вся необхідна інформація, то вона самостійно може керувати тим, які етикетки, якого формату і з якою інформацією друкувати в тому чи іншому випадку, наприклад для певного виробництва. Готову продукцію роботизована платформа переміщує на виробничий склад готової продукції, де виконується виробничий контроль.

Продукція, що пройшла контроль відправляється на основний склад. Цей процес, як правило, також управляється автоматизованою системою, оскільки переміщення продукції на склад проводиться через конвеєр без керуючих завдань з ERP.

Браковані вироби можуть бути доопрацьовані і знову перетворені в придатну продукцію або відходи, які, в свою чергу, можуть бути перероблені. Брак та відходи, що переробляються, переміщаються з виробництва на основний склад або в інші цехи.

3.1.2 Вибір способу автоматичного визначення типу деталі.

Як було зазначено в попередніх розділах, задача інтелектуального роботизованого пристрою, що розроблюється, доставка деталей до робочого місця зі складу без участі людини. Визначення типу деталі повинно бути реалізовано автоматичних способом.

Існують декілька методів розпізнавання типу деталей:

- за візуальними ознаками деталі;
- за характерними властивостями деталі, що роблять її унікальною;
- за спеціальними мітками, що заздалегідь нанесені на її поверхню, або на тару.

Візуальне розпізнавання деталей потребує застосування системи технічного зору з використанням складних алгоритмів ідентифікації. На даний час ще не існує методики 100% визначення типу деталей за її візуальними ознаками. Існує певна вірогідність, що деталь буде розпізнана не точно (вплив освітлення, зайві перешкоди, що присутні поряд з предметом) і без контролю з боку людини це може привести к тяжким наслідкам та, навіть, руйнуванню виробничої лінії. Таким чином ми не можемо обирати цей метод для реалізації в роботі інтелектуального роботизованого пристрою.

Визначення типу деталі за її характерними властивостями також не має сто-відсоткової вірогідності, оскільки такі параметри, як вага розмір, колір або форма можуть бути легко змінені в процесі експлуатації або неякісного зберігання.

Вище розглянуті методи розпізнавання часто потребують досить потужних обчислювальних засобів, високої пропускну здатності комп'ютерних мереж та наявності коштовних приладів реєстрації вимірюваних параметрів (промислові відеокамери, пристрої контролю ваги, кольору).

Метод розпізнавання деталей за спеціальними мітками вільний від розглянутих вище недоліків. Він простий в реалізації і дає максимальну із можливих вірогідність визначення типу деталі та її призначення. Такий метод

вже дуже давно використовується на лініях сортування продукції на виробництві.

Таким чином, ми будемо використовувати у нашій інтелектуальній роботизованій платформі метод визначення типу деталі за радіочастотною міткою, що буде нанесена на саму деталь, або вкладена в тару в якій зберігається деталь.

3.2 Розробка структурної схеми та конструкції роботизованої платформи

Структурна схема інтелектуальної робототехнічної платформи показана на рисунку 3.3.

Як можна бачити з наведеного рисунку, до складу платформи входять:

- двигуни з сервоприводами, що приводять платформу до руху (два лівих та два правих);
- таходатчик;
- драйвери двигунів;
- контролер Arduino;
- контролер Bluetooth;
- пристрій для зчитування RFID-міток.

Для контролю за рухом платформи та визначення її положення в просторі використовуються таходатчики. На кожную сторону платформи ставиться по одному таходатчику. Колеса рухаються синхронно, тому датчики можна ставити по одному.

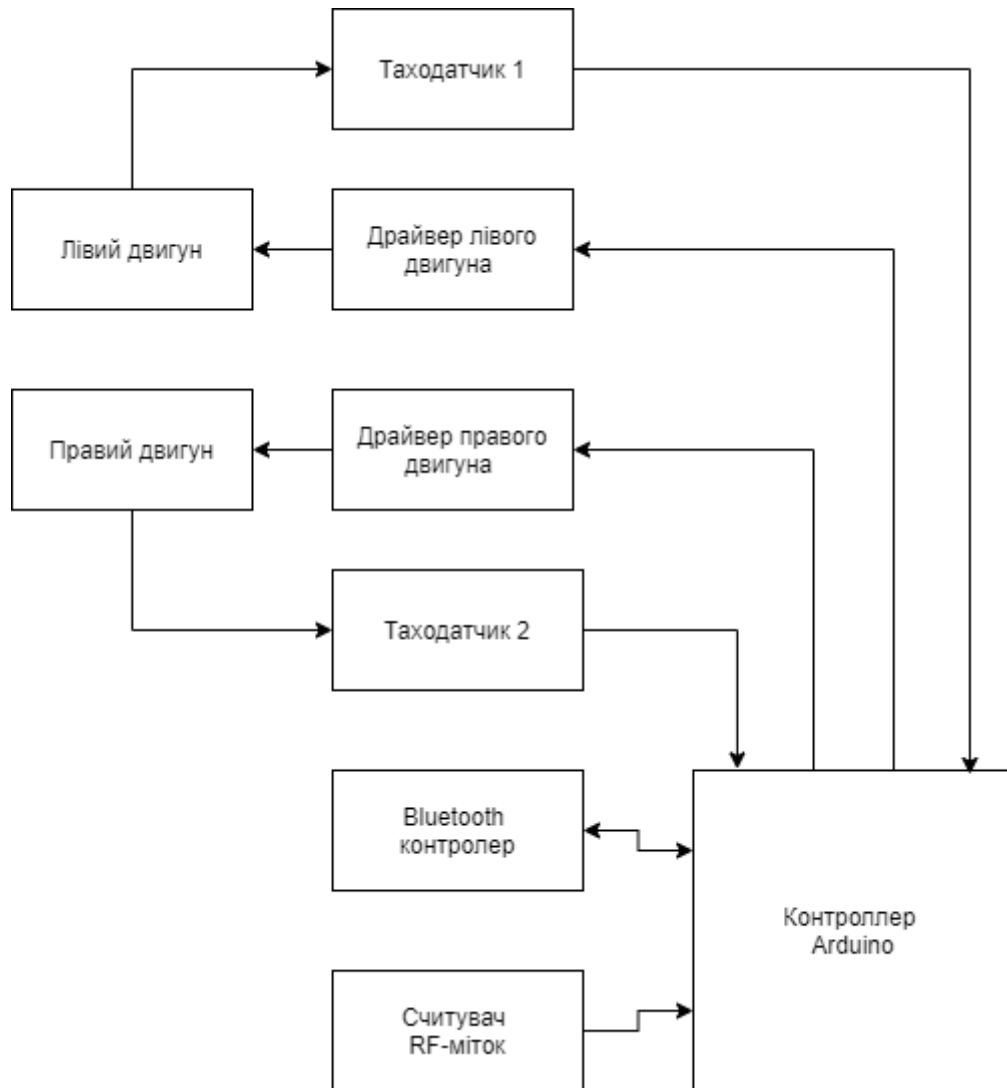


Рисунок 3.3 – Структурна схема інтелектуальної робототехнічної платформи

В якості датчика використовується модуль «Оптичний датчик перешкоди (кінцевий вимикач)». Даний пристрій може використовуватися для вимірювання швидкості обертання за допомогою диска з прорізами або як датчик перешкоди. Принцип роботи – визначення об'єкта (перепони) між прорізами. Так само цей модуль можна використовувати в якості високоточного кінцевого датчика положення (ENDSTOP). Зовнішній вигляд таходатчику, що використовується в конструкції дослідного макету показано на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд таходатчику, що використовується в конструкції дослідного макету

Датчик має чотири виходи:

- VCC: напруга живлення;
- GND: загальний провід;
- DO: цифровий вихід;
- AT: аналоговий вихід.

Для підключення до контролера будемо використовувати цифровий вихід DO.

Датчик живиться від напруги 3,3 В - 5В. Ширина пази датчика для роботи з кодовим диском становить 5 мм. В якості керуючого елемента використовується компаратор LM393.

На рисунку 3.5 показано мехатронний блок руху в зборі. Можна бачити принцип кріплення кодового диску на валу двигуна та розташування таходатчику на шасі.

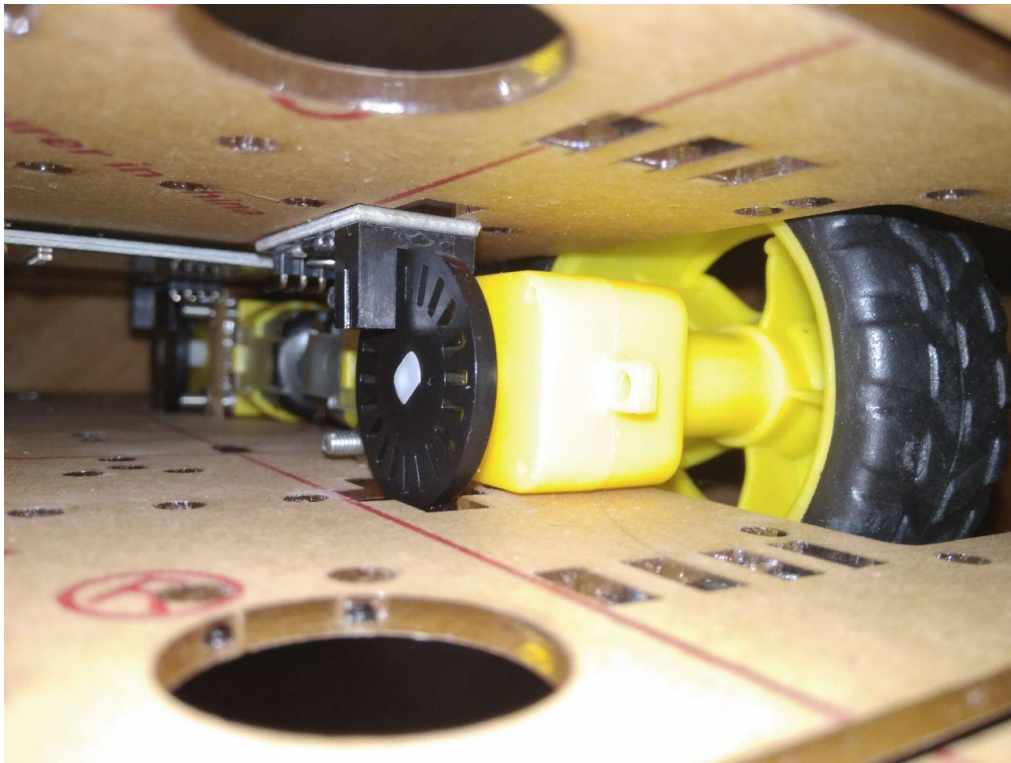


Рисунок 3.5 – Мехатронний блок руху в зборі

В якості контролера була обрана плата Arduino UNO, що базується на мікроконтролері ATmega328. Arduino представляє собою цілу екосистему, що складається з набору апаратних і програмних компонент, покликаних різко зменшити поріг входження для початківців розробників систем автоматизації та робототехніки.

Характеристики даного контролера:

- напруга живлення – 5 В;
- кількість цифрових виходів – 14;
- кількість аналогові виходів – 6;
- кількість Flash-пам'яті – 32 КБ;
- тактова частота роботи – 16 МГц;
- мікроконтролер ATmega328.

На рисунку 3.6 показано зовнішній вигляд контролера та його розташування на шасі платформи.

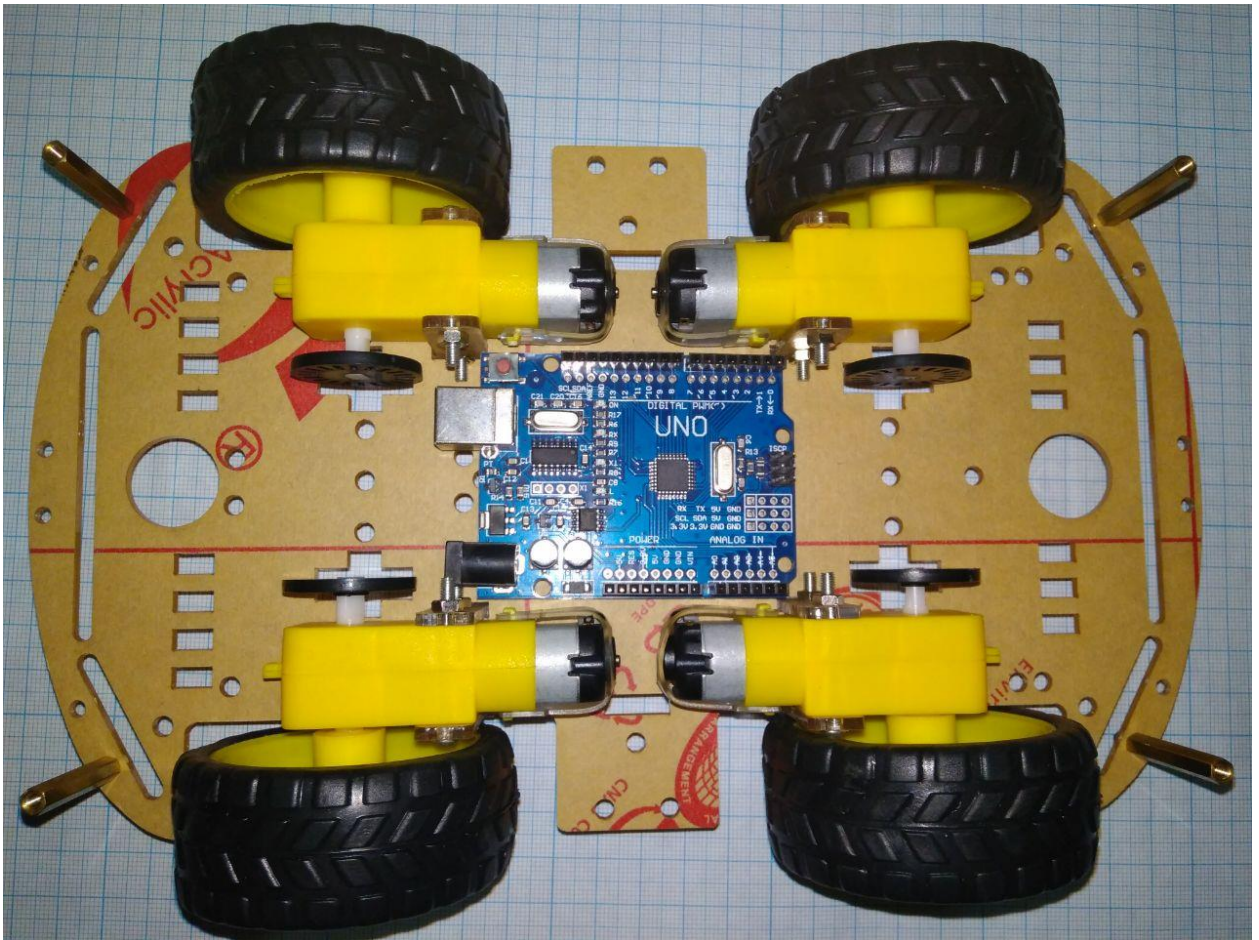


Рисунок 3.6 – Контролер Arduino UNO та його розташування на шасі платформи

Даний контролер був обраний через його популярність, демократичну ціну, стабільність та зручність роботи. Пристрій має великий набір входів та виходів, невеликі розміри, наявність варіантів підключення до елементу живлення. Традиційно використовується живлення від USB, але в нашому випадку, ми будемо використовувати автономний акумулятор 12 – 14В. Для цього в контролері є спеціальний вхід Vin, до якого можна підключити зовнішній пристрій живлення.

Сімейство Arduino складається з двох основних частин: апаратна частина являє собою набір змонтованих друкованих плат з відкритими специфікаціями, які випускаються як офіційними дилерами, так і сторонніми розробниками.

Програмна частина складається з середовища розробки (IDE), набору компіляторів і бібліотек Arduino. Сама компанія називає мову програмування Wire; насправді ця мова уявляє собою спрощена підмножина мови програмування C ++.

На платі є піни для підключення пристроїв розширення за допомогою послідовного інтерфейсу, використовуючи протокол UART. Для рішення нашої задачі ми будемо використовувати модуль бездротового зв'язку Bluetooth.

В якості модуля Bluetooth використовується модуль HC-06. На рисунку 3.7 наведено зовнішній вигляд даного модуля, що підключено через перехідник для настроювання його параметрів роботи.

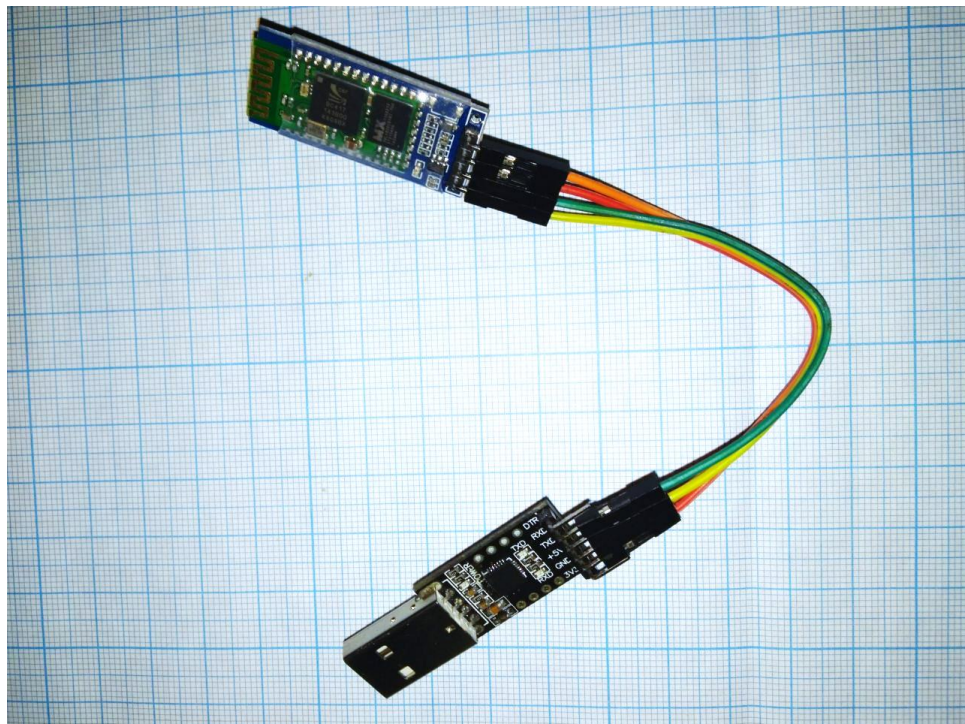


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд модуля Bluetooth HC-06

В даній конструкції макету роботизованої платформи використовується двигун постійного струму з редуктором 1:48. Загальний вигляд двигуна показано на рисунку 3.8.

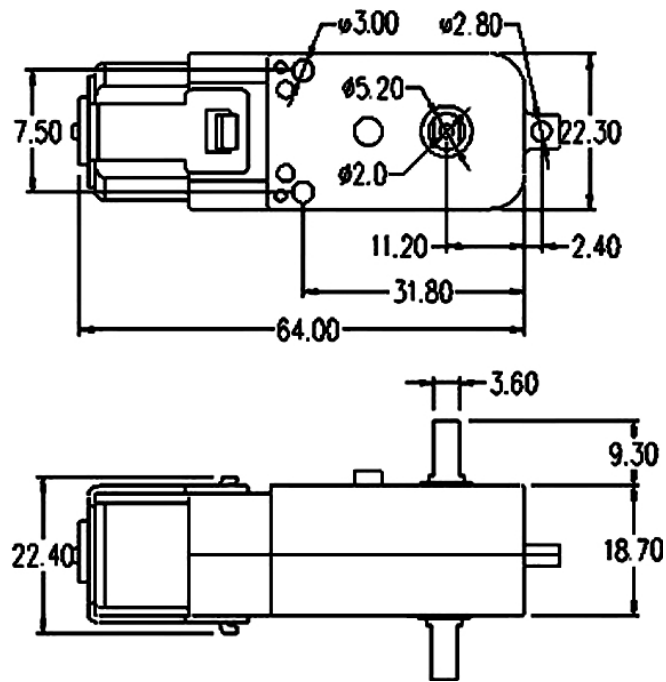


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд двигуна з редуктором 1:48

Двигун постійного струму встановлений в пластмасовий корпус в якому знаходиться понижуючий швидкість обертання редуктор з пластмасових шестерень і збільшує зусилля на валу механізму. На вал мотор-редуктора насаджується ведучий вал. Вал виходить з двох сторін корпусу редуктора. Ведучий вал може встановлюватися з будь-якого боку корпусу.

На другу частину валу мотор-редуктора встановлюють диск з отворами, що дозволяє працювати оптичному датчику контролю параметрів обертання валу.

Характеристики двигуна:

- номінальний струм: 250 мА макс. при напрузі 3,6 В;
- напруга живлення: 6 – 8 В;
- швидкість обертання без навантаження: 170 об / хв (при напрузі 3,6 В);
- передавальне число редуктора: 1: 48;
- осі виходять з двох сторін;
- діаметр осей: 5 мм;
- розміри: 64x20x20 мм;
- вага: 26 г.

Для керування двигуном постійного струму в макеті використовується спеціалізований драйвер L9110S-MODUL.

Зовнішній вигляд драйверу показаний на рисунку 4.9.

Даний драйвер може використовуватися для управління двома двигунами постійного струму або 4-х фазними або двофазним кроковими двигунами, а також обмотками реле.

Після подачі живлення повинен засвітитися світлодіод позначений D1. Модуль можна закріпити на плоскій поверхні за допомогою шурупів або болтів. Для цього на платі передбачено чотири отвори. Управління драйвером здійснюється або від контролера, або від іншого мікропроцесорного керуючого пристрою за допомогою спеціальних програм.

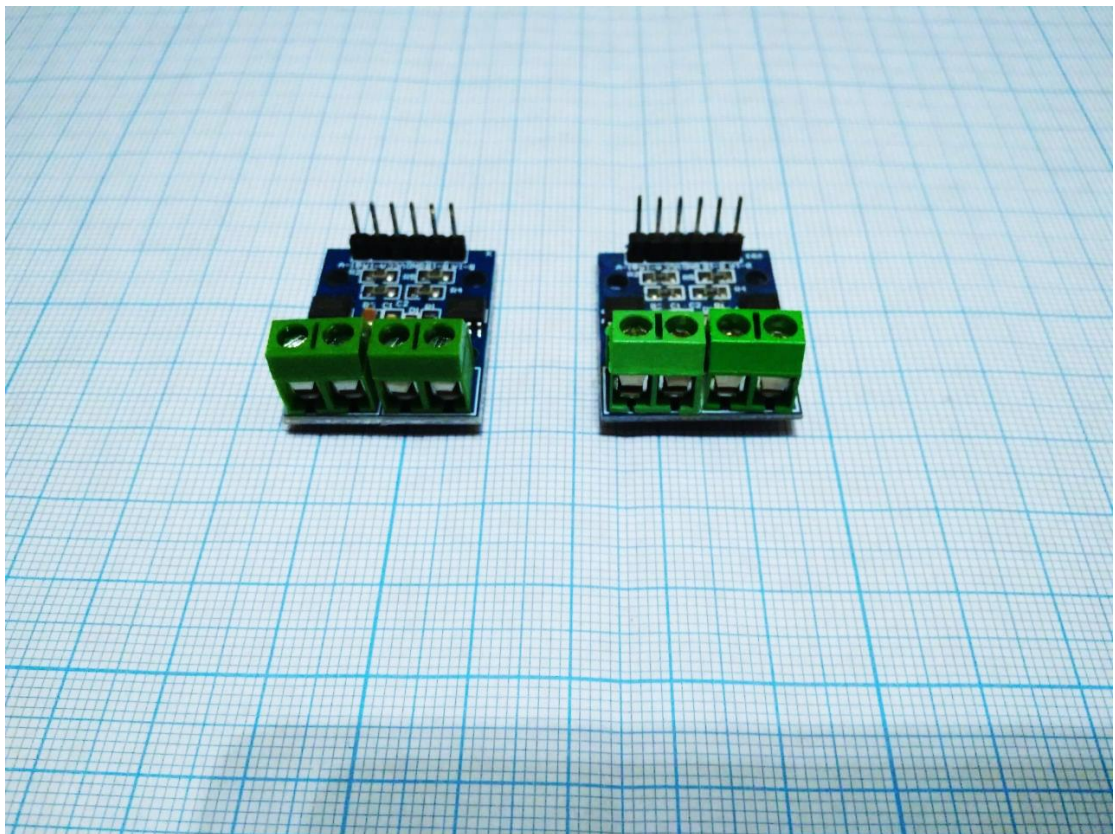


Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд драйверу L9110S

Мікросхеми модуля працюють за принципом Н-моста і використовуються для зміни полярності живлення мотора.

L9110S-MODUL має два інтерфейси для підключення живлення, мікроконтролера і керованих пристроїв:

- інтерфейс для підключення керованих пристроїв складається з двох елементів і кожен з них має по 2 контакту. На платі модуля ці інтерфейси позначені MOTOR A, MOTOR B;

- інтерфейс для підключення живлення та керуючих сигналів має 6 штирьових контактів.

Контакти живлення модуля позначені VCC і GND. Контакти для підключення керуючих сигналів від мікроконтролера позначені A – IA, A – IB (для виходу MOTOR A); B – IA, B – IB (для виходу MOTOR B).

Живлення модуля здійснюється або від контролера, або іншого мікропроцесорного керуючого пристрою, або зовнішнього джерела живлення. Напруга живлення 2,5 ... 12 В. Споживання струму до 800 мА на кожен канал.

Характеристики модуля:

- модуль зібраний на двох мікросхемах L9110S;
- мікросхеми L9110S працюють за принципом H-моста;
- можливість управління двома двигунами постійного струму або чотирьох провідним двофазним кроковим двигуном, а також обмотками реле;
- напруга живлення модуля: 2,5 ... 12 В;
- споживання струму: до 800 мА на кожен канал;
- розміри (Д x Ш x В): 30x24x15 мм.

Для визначення присутності деталі на роботизованій платформі та визначення її типу використовується зчитувач RFID міток RC522.

Приклад кріплення модуля на шасі роботизованої платформи показано на рисунку 3.10.

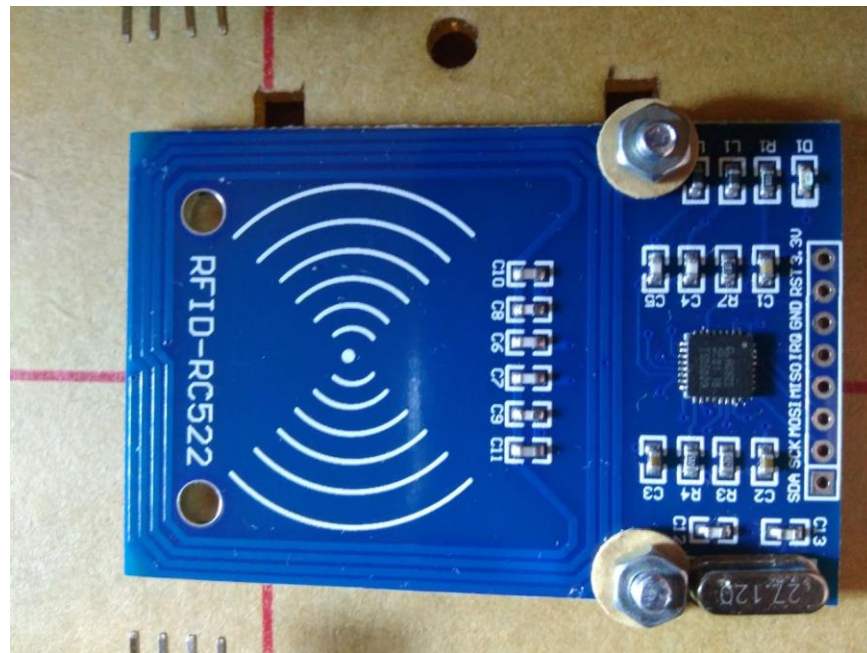


Рисунок 3.10 – Приклад кріплення модуля на шасі роботизованої платформи

RFID-модуль працює на частоті 13.56 МГц, має SPI-інтерфейс для підключення к модулю Arduino. Основні характеристики модуля:

- базується на мікросхемі MFRC522;
- напруга живлення: 3.3V;
- струм: 13-26mA;
- споживаний струм в режимі очікування: 10-13mA;
- споживаний струм в сплячому режимі: менше 80 мкА;
- робоча частота: 13.56MHz;
- дальність зчитування: 0 ~ 60 мм;
- інтерфейс: SPI, максимальна швидкість передачі 10Мбіт / с;
- розмір: 40мм x 60мм.

Всі перелічені модулі, що входять до складу структурної схеми зображеної на рисунку 3.3 розташовано на двох деталях (верхньої та нижньої) шасі роботизованої платформи.

На рисунку 3.11 показано розташування деталей на нижній частині шасі, а на рисунку 3.12 – частині розташування деталей на верхній частині.

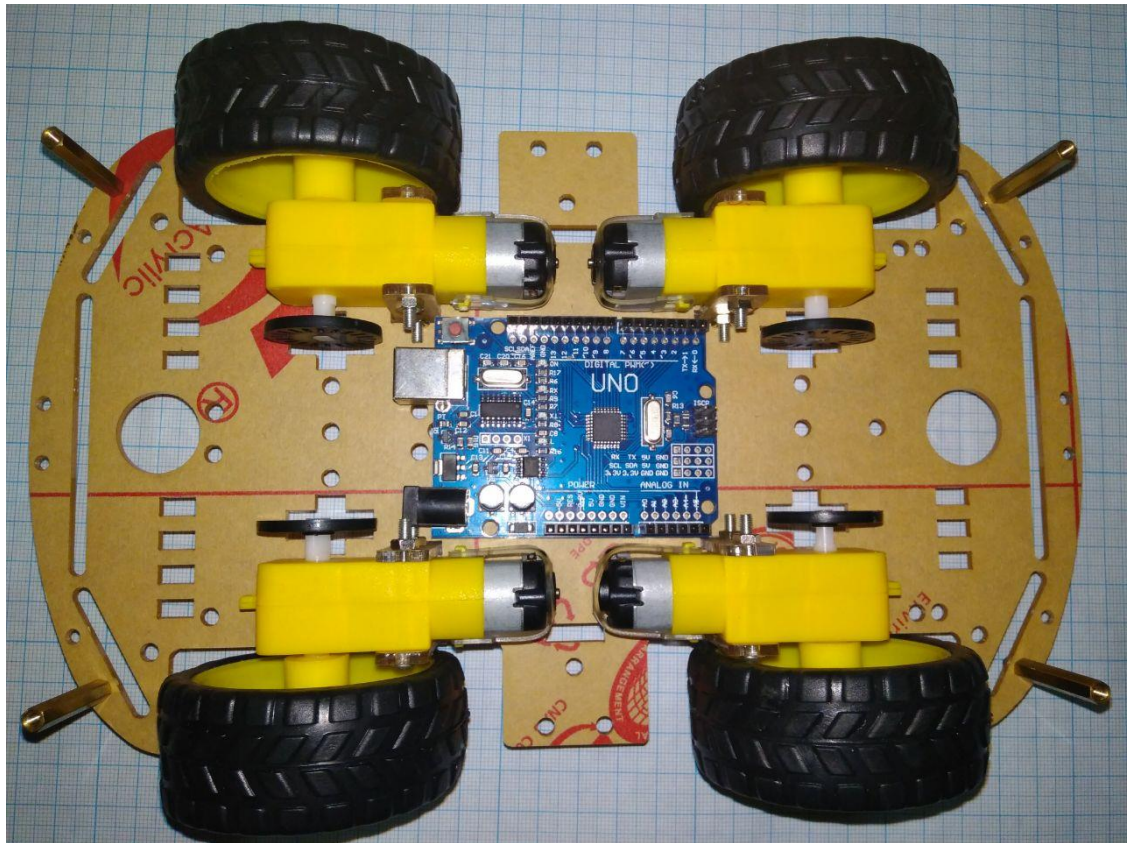


Рисунок 3.11 – Розташування деталей на нижній частині шасі

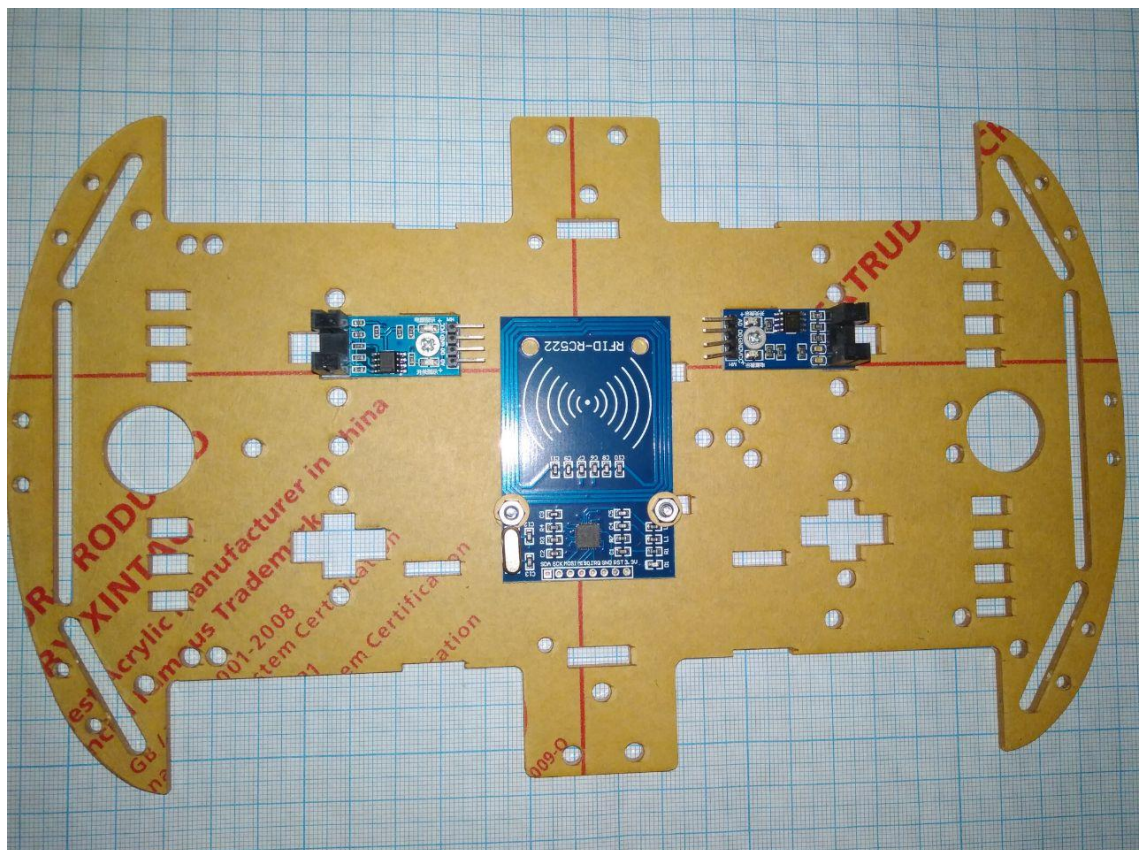


Рисунок 3.12 – Розташування деталей на верхній частині шасі

3.3 Розробка алгоритму роботи роботизованої платформи

Алгоритм роботи інтелектуальної роботизованої платформи показано на рисунку 3.13.





Рисунок 3.13 – Алгоритм роботи інтелектуальної роботизованої платформи

Робота платформи складаються з трьох основних етапів:

- очікування вантажу в боксі завантаження;
- розпізнавання деталі та визначення маршруту слідування;
- розвантаження та повернення в бокс завантаження.

Перед початком роботи платформа перевіряє зв'язок з сервером, де розміщується база даних. Тільки після встановлення зв'язку, можлива подальша робота. Сервер виконує функції контролюючого модуля та довідкової системи яка дає необхідну інформацію про кожну деталь, яка зареєстрована в системі за її унікальним кодом.

На першому етапі платформа знаходиться в боксі на автоматизованому сховищі та очікую, поки автоматизований завантажувач, або людина розмістить деталь на платформі.

Після того, як деталь з'явиться на платформі, зчитувач RFID отримує записаний на мітці, що прикріплена до деталі, унікальний цифровий ідентифікатор. За даним ідентифікатором визначається тип деталі та її призначення. Ця операція виконується за допомогою модуля Bluetooth через

який проводиться зв'язок з сервером та пошук у базі даних повної інформації про деталь.

Після отримання інформації, що деталь знаходиться на платформі і визначення її призначення сервер визначає місце її призначення та передає адресу на інтелектуальну платформу.

За вказаним адресом платформа визначає маршрут слідування та прокладає його в приміщенні виробничої ділянки.

Після доставки деталі до місця призначення роботизована платформа очікує поки її розвантажать (пропаде зв'язок з деталлю, що неї знаходиться) та повертається до початкового місця розташування.

3.4 Висновки по третьому розділу

В результаті виконання третього розділу магістерської атестаційної роботи розроблена архітектура автоматизованої системи та алгоритм роботи роботизованої платформи. Згідно запропонованому методу керування, інтелектуальна роботизована платформа працює самостійно в межах виробничої ділянки. Керуючись даними, що отримані від сервера, вона визначає маршрут слідування до потрібного робочого місця з метою доставки потрібної деталі.

Обрано спосіб автоматичного визначення типу деталі. Роботизована платформа реалізує одну з концепцій Industry 4.0, а саме автоматизовану логістичну систему безперервного постачання матеріалів до робочої зони верстатів з ЧПУ. Запропоновано використовувати метод визначення типу деталі за радіочастотною міткою, що нанесена на саму деталь, або вкладена в тару в якій вона зберігається.

Згідно з обраними рішеннями, розроблена структурна схема та конструкція роботизованої платформи. Обрані компоненти для практичної реалізації макету інтелектуального пристрою. Для рішення задачі комунікації

між компонентами автоматизованої системи ми будемо використовувати модуль бездротового зв'язку Bluetooth.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Розробка структури бази даних

Для зберігання результатів експерименту була створена структура бази даних, що показана на рисунку 4.1.

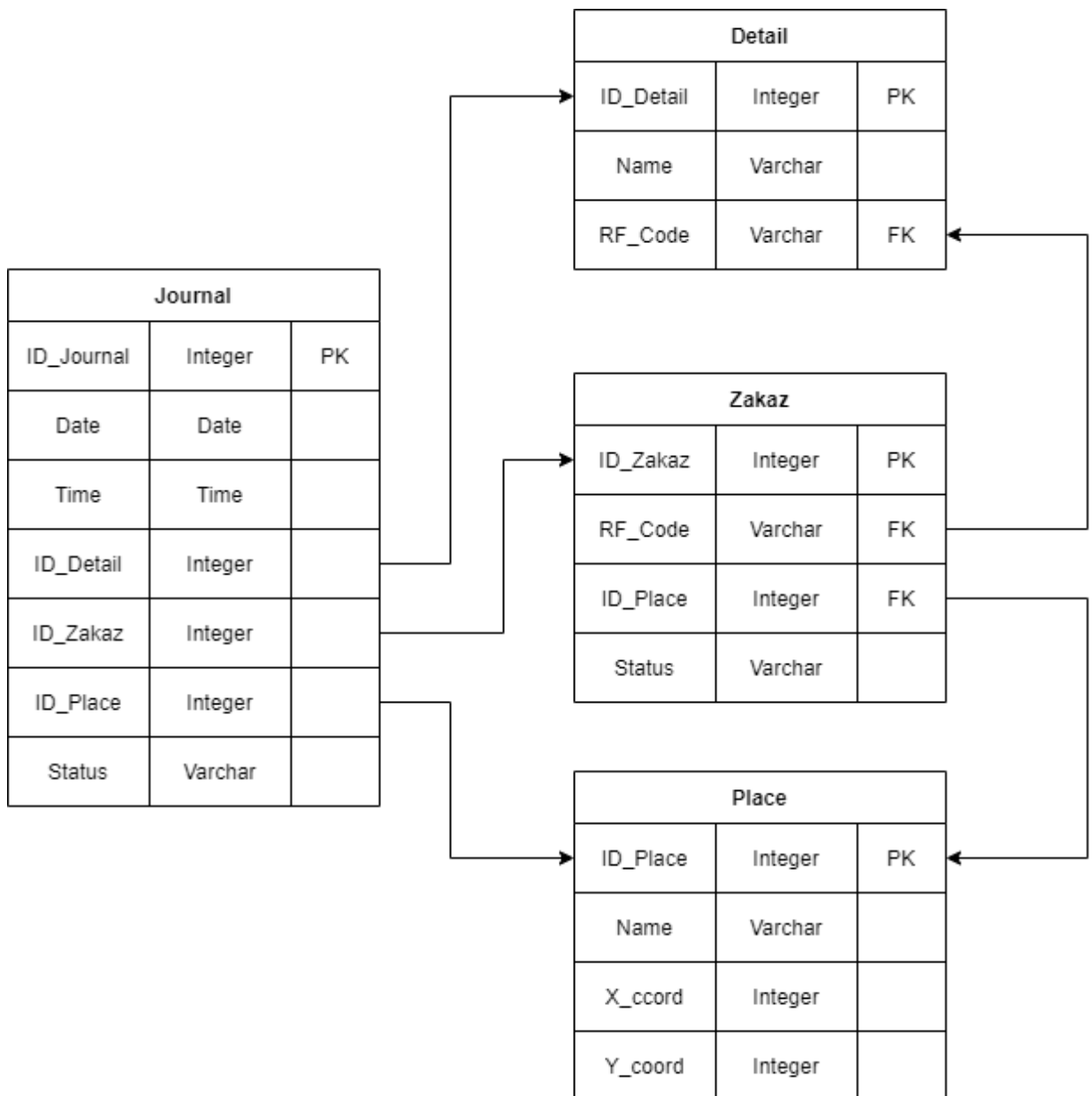


Рисунок 4.1 – Структура бази даних

До складу бази даних входить чотири таблиці:

- довідник деталей;
- довідник заказів;
- довідник робочих місць;
- журнал експерименту.

Довідник деталей включає в себе наступні поля:

- код деталі в базі даних (ключове унікальне поле);
- назва деталі (текстове поле);
- RFID код деталі, що присвоюється їй при додаванні до бази даних за допомогою сканеру RFID міток (текстове поле).

Довідник заказів включає в себе наступні поля:

- код заказу в базі даних (ключове унікальне поле);
- RFID код деталі (текстове поле);
- код робочого місця до якого треба доставити деталь, (числове поле);
- статус виконання заказу (чи доставлена деталь до потрібного місця – текстове поле).

Довідник робочих місць включає в себе наступні поля:

- код робочого місця в базі даних (ключове унікальне поле);
- назва робочого місця (текстове поле);
- X-координата робочого місця, (числове поле);
- Y-координата робочого місця, (числове поле).

Журнал експерименту включає в себе наступні поля:

- код запису в журналі (ключове унікальне поле);
- дата проведення експерименту (поле для зберігання дати);
- час проведення експерименту (поле для зберігання часу);
- код деталі в базі даних (числове поле);
- код заказу в базі даних (числове поле);
- код робочого місця в базі даних (числове поле);
- статус завершення експерименту (чи доставлена деталь до потрібного місця – текстове поле).

Таблиці поєднуються між собою за допомогою зв'язків один-до-багатьох.

4.2 Розробка програми керування потоками ресурсів на підприємстві

Програма керування потоком ресурсів розроблена на мові програмування C# із застосуванням інтегрованого середовища Visual Studio. Для зберігання даних було прийняте рішення використовувати базу даних SQLite [10, 11]. На рисунку 4.2 показано приклад вибору драйверу баз даних за допомогою вбудованого інструменту NuGet.

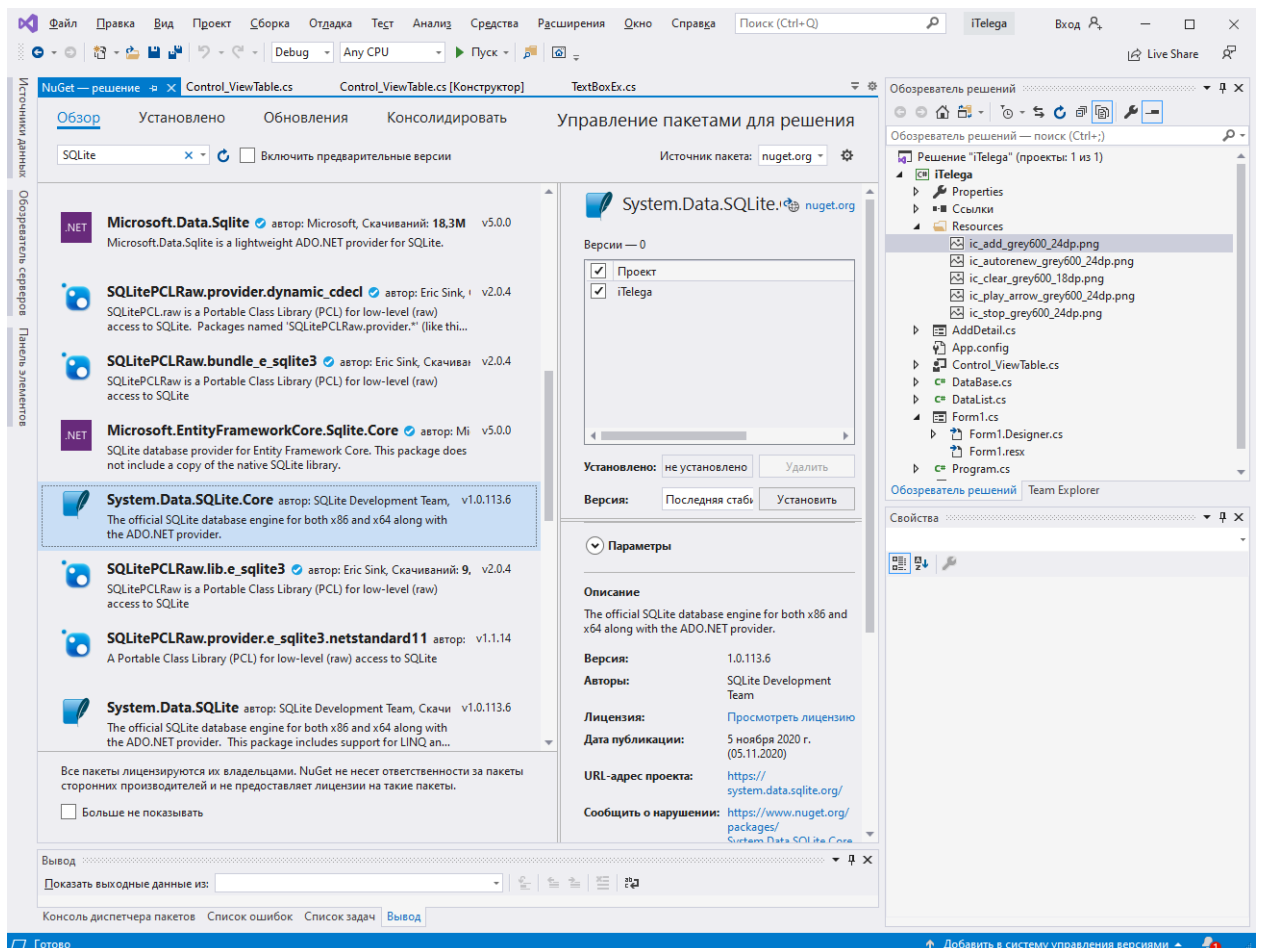


Рисунок 4.2 – Приклад вибору драйверу баз даних за допомогою вбудованого інструменту NuGet

За допомогою редактора SQLite була створена розроблена раніше структура бази даних. Приклад додавання нового поля до таблиці «Деталі», показано на рисунку 4.3.

Рисунок 4.3 – Приклад додавання нового поля до таблиці «Деталі»

Структура створеної таблиці «Деталі» показана на рисунку 4.4.

Index	Name	Declared Type	Type	Size	Precision	Not Null	Not Null On Conflict	Default Value	Collate
1	ID_Detail	INTEGER	INTEGER	0	0	<input type="checkbox"/>			
2	Name	CHAR	CHAR	0	0	<input type="checkbox"/>			
3	RF_Code	CHAR	CHAR	0	0	<input type="checkbox"/>			

Рисунок 4.4 – Структура створеної таблиці «Деталі»

Програма має таку структуру:

– головне вікно програми;

- вікно додавання нової деталі;
- вікно додавання нового робочого місця;
- вікно створення заказів.

На рисунку 4.5 показано приклад головного вікна програми.

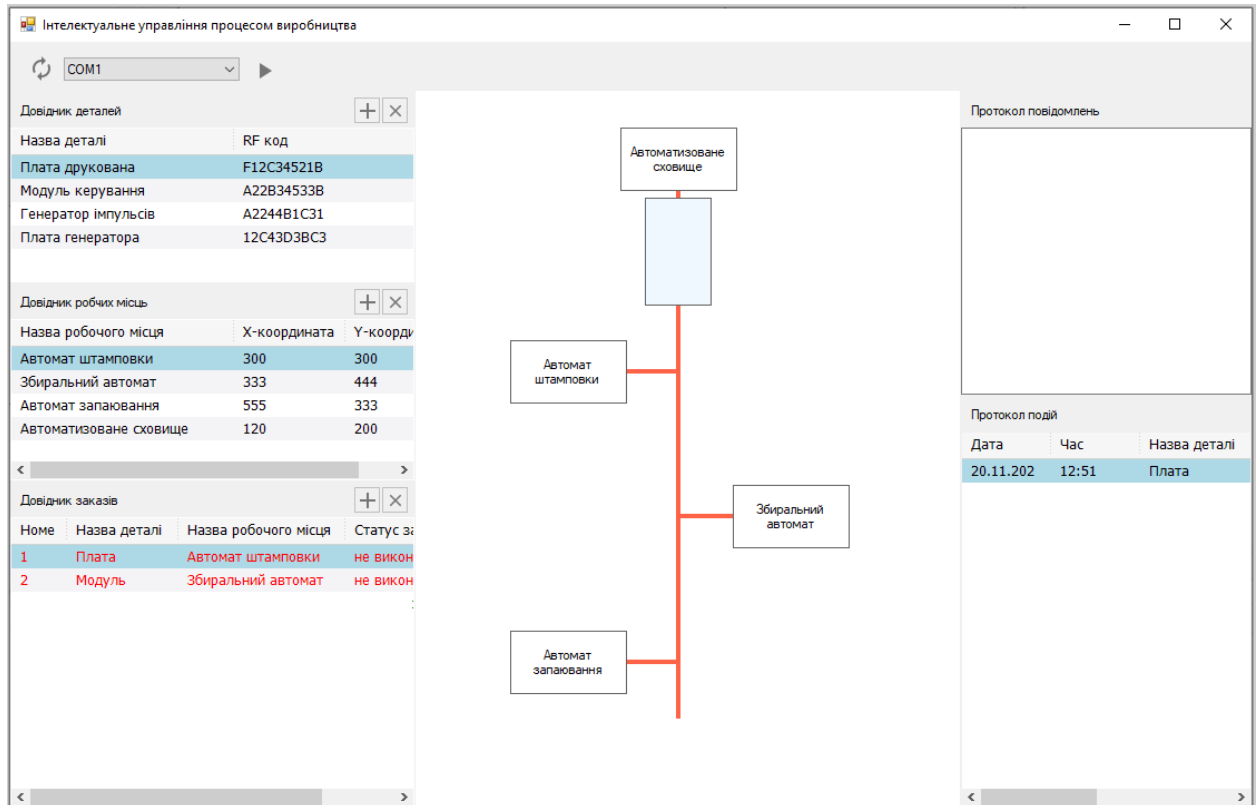


Рисунок 4.5 – Головне вікна програми

В головному вікні програми виділено шість робочих зон для відображення інформації;

- довідник деталей;
- довідник робочих місць;
- довідник заказів;
- протокол подій;
- протокол повідомлень;
- зона відображення роботи інтелектуальної роботизованої платформи в реальному часі.

Кожний довідник має кнопку додавання інформації. Наприклад, для додавання нової деталі було розроблено наступне вікно, що показано на рисунку 4.6.

Рисунок 4.6 – Вікно додавання нової деталі

При натисканні на кнопку «Зберегти» виконується наступний код (рисунок 4.7).

```

AddPlace.cs  AddPlace.cs [Конструктор]  AddDetail.cs  TextBoxEx.cs [Конструктор]  DataList.cs  DataBase.cs  Form1.cs
iTelega
7  using System.Text;
8  using System.Threading.Tasks;
9  using System.Windows.Forms;
10
11 namespace iTelega
12 {
13     Ссылка: 4
14     public partial class AddDetail : Form
15     {
16         public string mode = "Insert";
17
18         Ссылка: 1
19         public AddDetail()
20         {
21             InitializeComponent();
22         }
23
24         Ссылка: 1
25         private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
26         {
27             String Name = textBox1.Text;
28             String RF_Code = textBox2.Text;
29             String sql = String.Format("Insert into Detail (Name, RF_Code) values ('{0}', '{1}');", Name, RF_Code);
30             DataBase.Exec_SQL(sql);
31             Close();
32         }
33
34         Ссылка: 1
35         private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
36         {
37             Close();
38         }
39     }
40 }

```

Рисунок 4.7 – Код мовою С# для додавання нової деталі

Для додавання нового робочого місця до програми було розроблено наступне вікно, що показано на рисунку 4.8.

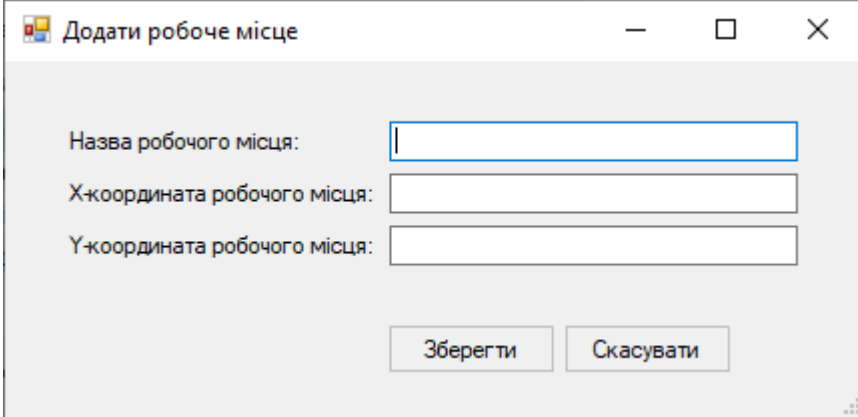


Рисунок 4.8 – Додавання нового робочого місця до програми

Крім назва робочого місця, потрібно вказати координати його розміщення в реальному просторі. Ці координати будуть використовуватись для пересування роботизованої платформи. При одержанні заявки на виконання задачі, на мобільну платформу з бази даних буде передано інформацію про місце знаходження робочого місця. Після цього інтелектуальна роботизована платформа повинна визначити маршрут та самостійно доставити вантаж до робочого місця.

4.3 Тестове випробування роботи автоматизованої системи

Програма в реальному часі одержує інформацію про поточне положення мобільної платформи та відображає її в спеціальному вікні основної форми. На рисунку 4.9 показано приклад відображення платформи на її кінцевій точці біля автомата запаювання.

Ця ситуація є прикладом виконання завдання №3 зі списку заказів (рисунок 4.9). Після кожної стадії робочого циклу від мобільної платформи надсилається повідомлення. Приклад робочих повідомлень показано на рисунку 4.10.

Рисунок 4.9 – Приклад відображення платформи на її кінцевій точці біля автомата запаювання

Рисунок 4.10 – Приклад робочих повідомлень

Для отримання інформації від мобільної платформи використовується Bluetooth перетворювач. При використанні його персональним комп'ютером

він відображається в списку пристроїв як два окремих послідовних порти, рисунок 4.11.

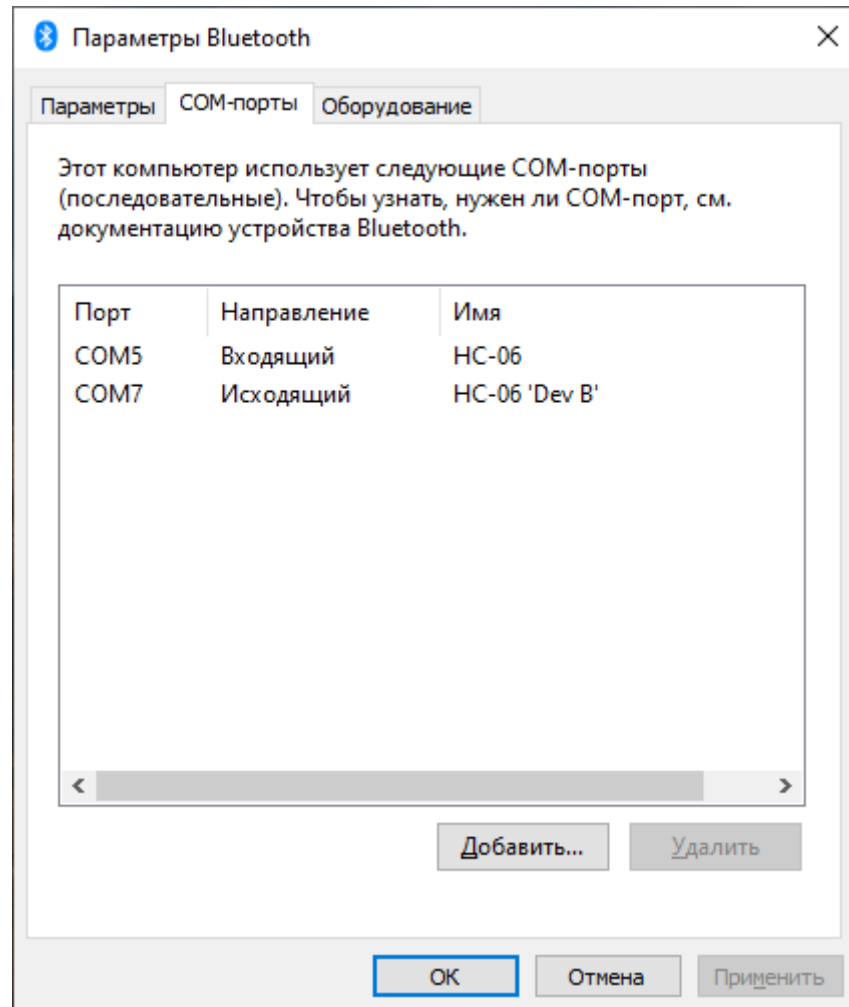


Рисунок 4.11 – Параметры Bluetooth пристрою HC-06

Для роботи з послідовним портами в програмі була написана спеціальна функція. Нижче наведено фрагмент коду обробки повідомлення з мобільної платформи, що було отримано через Bluetooth приймач.

```

if (rxString.Substring(0, 3) == "@KR")
{
string kode = rxString.Substring(3, 8);
string node_pult = rxString.Substring(11, 2);
string num_pult = "RFID=" + node_pult;
lastReadKey = kode;

```

```

if (Form1.mode == "register"){
sendOK(); }
else if (Form1.mode == "idle") {
ID_Detail = DataBase.Find_Value(String.Format("Select ID_Detail from
Detail where RF_Code = '{0}';", Form1.lastReadKey), "ID_Detail");
if (ID_Detail != "0"){
sendOK();
Якщо пакет розпізнано вірно, то відбувається пошуку в базі даних
інформації про деталь:
ID_Place = DataBase.Find_Value(String.Format("Select ID_Place from
Zakaz where ID_Detail = '{0}';", ID_Detail), "ID_Place");
ID_Zakaz = DataBase.Find_Value(String.Format("Select ID_Zakaz from
Zakaz where ID_Detail = '{0}';", ID_Detail), "ID_Zakaz");
Далі робиться відмітка про надходження заявки про переміщення деталі
до робочого місця в базі даних:
DateTime dt = DateTime.Now;
String mDate = dt.ToString("d", DateTimeFormatInfo.InvariantInfo);
String mTime = dt.ToString("T", DateTimeFormatInfo.InvariantInfo);
DataBase.Exec_SQL(String.Format("Insert into Journal (Date, Time,
ID_Detail, ID_Zakaz, ID_Place, Status) " +
"values ('{0}', '{1}', '{2}', '{3}', '{4}', '{5}');", mDate, mTime, ID_Detail,
ID_Zakaz, ID_Place, "Отримана заявка на переміщення"));
Після визначення потрібного робочого місця, виконується визначення
координат його розміщення:
string X_coord = DataBase.Find_Value(String.Format("Select X_coord from
Place where ID_Place = '{0}';", ID_Place), "X_coord");
string Y_coord = DataBase.Find_Value(String.Format("Select Y_coord from
Place where ID_Place = '{0}';", ID_Place), "Y_coord");
serialPort.Write(String.Format("=$X={0}#\r\n", X_coord));
serialPort.Write(String.Format("=$Y={0}#\r\n", Y_coord)); }

```

Коли завдання буде виконане, то в базі даних робиться відмітка в полі статус: «виконано». Приклад результату виконання завдання показано на рисунку 4.12.

Назва деталі	Назва робочого місця	Статус заказа
Плата	Автомат штамповки	не виконано
Модуль	Збиральний автомат	не виконано
Плата	Автомат штамповки	виконано

Рисунок 4.12 – Приклад результату виконання завдання

4.4 Висновки по четвертому розділу

В результаті виконання четвертого розділу магістерської атестаційної роботи розроблена структура бази даних для зберігання результатів експерименту. До складу бази даних входить чотири таблиці: довідник деталей; довідник заказів; довідник робочих місць; журнал експерименту.

Програма керування потоком ресурсів розроблена на мові програмування C# із застосуванням інтегрованого середовища Visual Studio. Для зберігання даних було прийняте рішення використовувати базу даних SQLite.

В результаті тестових випробувань програма в реальному часі одержувала інформацію про поточне положення мобільної платформи та відображала її в спеціальному вікні основної форми. Результати експерименту наведені в пояснювальній записці.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Правові та нормативні основи охорони праці в Україні

Законодавство України про охорону праці є системою взаємозв'язаних нормативних актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Законодавство про охорону праці складається із загальних законів: Конституції України, Законів "Про охорону праці", Кодексу законів про працю України та інших нормативних актів.

В ст.43 Конституції України записано: "Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується", "Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом", "Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється". Роботодавець зобов'язаний забезпечити нешкідливі умови праці Держава створює умови для повної зайнятості працездатного населення, рівні можливості для громадян у виборі професії та роду трудової діяльності, здійснює програми підготовки та перепідготовки робітників

У тексті ст.46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом.

Закон "Про охорону праці" – є одним із найважливіших законодавчих актів Цей закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності,

регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок охорони праці в Україні.

Дія Закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах про працю України визначає правові засади і гарантії здійснення громадянами України права розпоряджатися своїми здібностями до продуктивної і творчої праці, регулює трудові відносини працівників усіх підприємств, установ незалежно від форми власності, виду діяльності і галузевої належності Цей закон здійснює правове регулювання охорони праці Норми щодо охорони праці містяться в розділі "Охорона праці" та статтях "Трудовий договір", "Робочий час", "Час відпочинку", "Праця жінок", "Праця молоді", "Професійні спілки", "Нагляд і контроль за додержанням законодавства про працю".

5.2 Техніка безпеки

Безпека праці на виробництві містить такі складові:

- безпеку виробничого обладнання;
- безпеку технологічних процесів;
- організацію безпечного виконання робіт.

Необхідно знати вимоги безпеки до виробничого обладнання. Основним нормативним документом, який визначає загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання (за винятком обладнання, яке є джерелом іонізуючого випромінювання), є ДСТУ 12.2.003-91.

Безпека виробничого обладнання базується на таких принципах:

- добору принципів дії джерел енергії та параметрів робочих процесів;
- мінімізації споживаної та накопичуваної енергії;
- застосування вмонтованих у конструкцію засобів захисту та інформації про можливі небезпечні ситуації;

- застосування засобів автоматизації і дистанційного керування та контролю;
- дотримання ергономічних вимог та обмеженні фізичних і нервово-психологічних навантажень на працівників.

Матеріали конструкції виробничого обладнання не повинні бути чинником можливої небезпечної та шкідливої дії на організм працівників, а навантаження, що виникають в процесі його роботи, в окремих елементах не повинні сягати небезпечних значень. Якщо остання вимога не може бути реалізована в конструкції обладнання, необхідно передбачити відповідні засоби захисту, наприклад, огороження.

Робота виробничого обладнання супроводжується утворенням небезпечних зон.

Небезпечна зона – це простір біля обладнання, у якому постійно діють чи періодично утворюються небезпечні та/чи шкідливі виробничі фактори. Прикладами небезпечної зони може бути простір, у якому переміщуються окремі елементи обладнання; простір між шківом та набігаючою віткою паса у пасових передачах; простір біля неізольованих струмовідних частин. У разі потрапляння усього тіла або частини тіла працівника у небезпечну зону можливе виникнення нещасного випадку.

Небезпечні зони виробничого обладнання, як потенційні джерела травмонебезпеки, повинні бути огорожені, тепло чи електроізольовані або розміщені у місцях, де виключений контакт з ними працівників.

Конструкції зажимних, вантажозахоплювальних, вантажопідіймальних та інших пристроїв повинні унеможливити виникнення небезпеки у разі раптового відключення енергії, а також самовільну зміну стану при відновленні енергоживлення.

Виробниче обладнання, робота якого супроводжується виділенням шкідливих речовин чи мікроорганізмів або пожежо чи вибухонебезпечних речовин, повинно включати вмонтовані пристрої для локалізації цих виділень.

За відсутності таких пристроїв у конструкції обладнання мають передбачатися місця для підключення автономних пристроїв локалізації таких виділень.

Якщо виробниче обладнання є джерелом вібрації, шуму, ультра та інфразвуку, виробничих випромінювань (електромагнітних, оптичного діапазону чи інших), воно повинно бути виконано так, щоб вплив цих шкідливих виробничих факторів не перевищував допустимих меж, установлених відповідними нормативними документами.

Виробниче обладнання має забезпечуватися місцевим освітленням, якщо його відсутність може спричинити перенапруження органів зору або інші небезпеки.

Складовою безпеки виробничого обладнання є конструкція робочого місця, його розміри, взаємне розміщення органів управління, засобів відображення інформації, допоміжного обладнання тощо. При цьому розміри робочого місця і його елементів мають забезпечувати виконання операцій в зручних робочих позах, переважно в сидячому положенні.

Пуск виробничого обладнання в роботу, а також повторний пуск після його зупинки незалежно від її причини має бути можливим тільки шляхом маніпулювання органами пуску. Органи аварійної зупинки після спрацьовування мають залишатись у положенні зупинки до їх повернення у вихідне положення працівниками.

Повне або часткове припинення енергопостачання з наступним його відновленням, а також пошкодження мережі управління енергопостачанням не повинно призводити до виникнення небезпечних ситуацій.

Засоби захисту, які входять у конструкцію виробничого обладнання, повинні:

- забезпечувати можливість контролю їх функціонування;
- виконувати своє призначення безперервно у процесі роботи обладнання;
- діяти до повної нормалізації відповідного небезпечного чи шкідливого фактора, що спричинив спрацьовування захисту;

– зберігати функціонування під час та після виходу з ладу інших засобів захисту.

Для забезпечення захисту людей від ураження електричним струмом використовуються окремо або в поєднанні один з одним такі технічні способи та засоби як: захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, захисне відімкнення, ізоляція провідників із струмом, огорожувальні пристрої, попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки, засоби захисту та запобіжні пристрої. Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою. Заземлення здійснюється за допомогою природних, штучних або змішаних заземлювачів. Заземлення бувають виносні і контурні. В першому випадку заземлювачі розміщують на деякому віддаленні від обладнання, що заземлюється. Вони захищають за рахунок малого їх опору (максимальне значення опору заземлення 4 Ом). При контурному заземленні заземлювачі розміщують по контуру навколо заземленого обладнання на невеликій відстані один від одного.

Подвійна ізоляція електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції.

Найбільш просто подвійна ізоляція здійснюється шляхом покриття металевих корпусів і рукояток електроустаткування шаром електроізоляційного матеріалу і застосуванням ізолюючих ручок.

Поверхневий шар ізоляції схильний до механічних впливів і пошкоджень.

При руйнуванні цього шару відкривається доступ до металевих частин, які можуть опинитися під напругою.

Пошкодження і навіть повне руйнування другого шару ізоляції не перешкоджає продовженню роботи і не подає, таким чином, сигналу про втрату захисту.

Тому такий спосіб виконання подвійної ізоляції не забезпечує надійного захисту і може бути рекомендований лише в рідкісних випадках для обладнання, що не піддається ударної навантаженні.

Більш досконалий спосіб виготовлення корпусу з ізолюючого матеріалу.

Такий корпус несе на собі всі струмопровідні частини, металеві неструмоведучих частини і механічну частину.

При руйнуванні корпусу звільняється доступ до металевих струмоведучих і неструмоведучих частин, але електрообладнання працювати не може, так як порушено взаємне розташування його частин.

Захисне заземлення – заземлення точки або точок у системі чи в процесі монтажу системи або в обладнанні, з метою забезпечення електробезпеки.

Захисне заземлення реалізується у вигляді спеціального електричного сполучення із землею або її еквівалентом струмовідних елементів обладнання, які не повинні перебувати під напругою, але в процесі експлуатації можуть опинитися під напругою, наприклад, у разі пошкодження ізоляції, дефектів дугогасних пристроїв, комутаційних апаратів, в аварійних випадках тощо.

Захисне заземлення є простим, ефективним і поширеним способом захисту людини від ураження електричним струмом при дотику до металевих поверхонь, які виявились під напругою. Це забезпечується зниженням різниці потенціалів між обладнанням, що виявилось під напругою, і землею до безпечної величини. Використовується в трифазній трипровідній мережі з напругою до 1000 В з ізолюованою нейтраллю і вище від 1000 В – з довільним режимом нейтралі.

Конструктивними елементами захисного заземлення є: заземлювачі (металеві провідники, що знаходяться в землі) і заземлювальні провідники (з'єднують обладнання, що заземлюється із заземлювачем).

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Залежно від призначення електрозахисні засоби підрозділяються на ізолювальні, огорожувальні та запобіжні.

До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки, і тому ними дозволяється доторкатись до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою:

- при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізолюваними ручками, струмовимірювальні кліщі;

- при роботах в електроустановках з напругою вище 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги.

5.3 Розрахунок штучного освітлення

Основна відмінність умов праці у вечірній час від денного полягає в тому, що у вечірній час відсутня достатня освітленість поля зору працюючого рівномірно розподіленим світловим потоком. Тому необхідно створити таке штучне висвітлення, при якому сумарний світловий потік від всіх установлених у робочій зоні світильників розподілявся рівномірно.

Завданням розрахунку освітленості є визначення числа й потужності світильників, необхідних для забезпечення заданого значення освітленості.

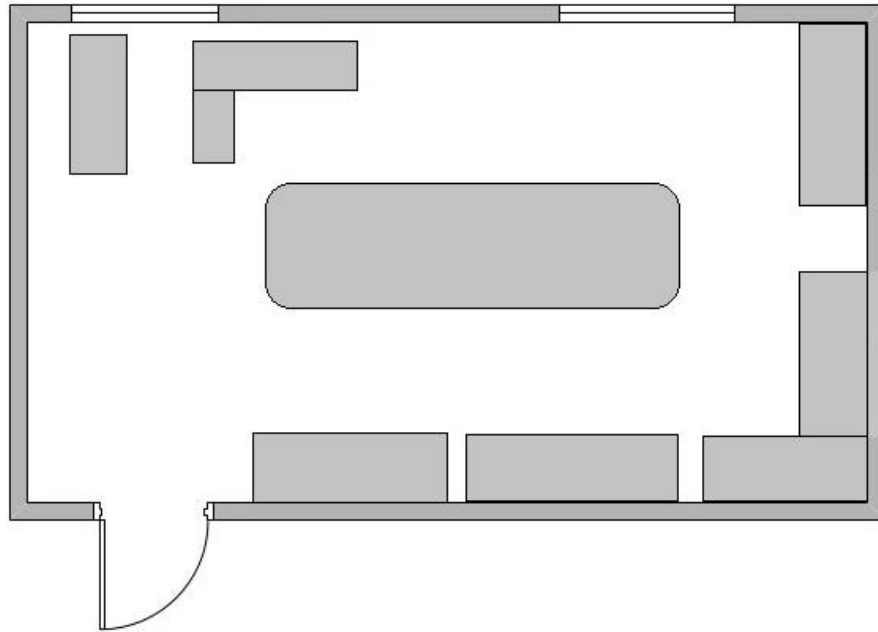


Рисунок 5.1 – Схема приміщення

На рисунку 5.1 схематично зображено приміщення у якому розташований роботизований пристрій доставки. Розрахунок проводиться методом світлового потоку [27].

Величина світлового потоку однієї лампи дорівнює:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{н} \cdot S \cdot K3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (5.1)$$

де: $E_{н}$ – нормована освітленість, лк ($E_{н} = 25$ по [56]);

S – освітлювана площа, m^2 ;

$K3$ – коефіцієнт запасу (приймаємо 1,3);

Z – поправочний коефіцієнт, залежить від типу лампи (приймаємо $Z = 1,15$);

N – число світильників; проектуємо $N = 6$;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, визначається по індексі, приміщення і коефіцієнту відбиття стелі, стін і підлоги ($\rho_{п}$, $\rho_{з}$, $\rho_{р}$).

Індекс приміщення:

$$i = a \cdot b / h(a + b), \quad (5.2)$$

де: a – довжина приміщення, $a = 7,5$ м;

b – ширина приміщення, $b = 6$ м;

h – висота приміщення $h = 5$ м.

Підставивши значення, одержимо:

$$\Phi = 25 \cdot 225 \cdot 1,3 \cdot 1,15 / 0,5976 \cdot 9 = 15635 \text{ лм}$$

Вибираємо лампу люмінесцентна типу G13 потужністю 18 Вт і світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 1\,080$ лм.

Визначимо розрахункову величину освітленості, що формується при використанні ламп типу G13.

$$E_p = E_H \cdot \Phi_{\text{л}} / \Phi, \quad (5.3)$$

$$E_p = 25 \cdot 1080 / 15635 = 2,64 = 1,7 \text{ лм}$$

Отримана величина E задовольняє умовам поставленого завдання.

5.4. Висновки п'ятого розділу

В п'ятому розділі розглянуті питання охорони праці. Розглянуті правові та нормативні основи охорони праці в Україні. Розраховане штучне освітлення приміщення

ВИСНОВКИ

В результаті виконання першого розділу магістерської атестаційної роботи був виконаний аналіз вимог до транспортування виробів на сучасних виробництвах в рамках концепції Industry 4.0. Виконана класифікація транспортних систем та проаналізовані вимоги до застосування транспортних засобів на автоматизованих виробництвах. Розглянуті методи компоновки промислового обладнання на виробничій ділянці в залежності від технологічного процесу, конструктивно-технологічними особливостями, заданим обсягом випуску виробів та конкретними умовами виробництва.

В результаті виконання другого розділу магістерської роботи було виконано аналіз методів визначення необхідної кількості транспортних засобів перевезення вантажів на автоматизованій ділянці. Наведено принцип розрахунку часу на транспортування і обслуговування системи автоматичного переміщення інструменту, заготівель і деталей, між елементами устаткування, при якому мінімізуються простой системи обробки щоб досягти економічне доцільне співвідношення між вартістю цих простоїв і втратами із-за простоїв самої транспортної системи за відсутності замовлень на обслуговування.

В результаті виконання третього розділу магістерської атестаційної роботи розроблена архітектура автоматизованої системи та алгоритм роботи роботизованої платформи. Згідно запропонованому методу керування, інтелектуальна роботизована платформа працює самостійно в межах виробничої ділянки. Керуючись даними, що отримані від сервера, вона визначає маршрут слідування до потрібного робочого місця з метою доставки потрібної деталі.

Обрано спосіб автоматичного визначення типу деталі. Роботизована платформа реалізує одну з концепцій Industry 4.0, а саме автоматизовану логістичну систему безперервного постачання матеріалів до робочої зони верстатів з ЧПУ. Запропоновано використовувати метод визначення типу

деталі за радіочастотною міткою, що нанесена на саму деталь, або вкладена в тару в якій вона зберігається.

Згідно з обраними рішеннями, розроблена структурна схема та конструкція роботизованої платформи. Обрані компоненти для практичної реалізації макету інтелектуального пристрою. Для рішення задачі комунікації між компонентами автоматизованої системи ми будемо використовувати модуль бездротового зв'язку Bluetooth.

В результаті виконання четвертого розділу магістерської атестаційної роботи розроблена структура бази даних для зберігання результатів експерименту. До складу бази даних входить чотири таблиці: довідник деталей; довідник заказів; довідник робочих місць; журнал експерименту.

Програма керування потоком ресурсів розроблена на мові програмування C# із застосуванням інтегрованого середовища Visual Studio. Для зберігання даних було прийняте рішення використовувати базу даних SQLite.

В результаті тестових випробувань програма в реальному часі одержувала інформацію про поточне положення мобільної платформи та відображала її в спеціальному вікні основної форми.

Результати експерименту наведені в пояснювальній записці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008–2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Документація. – Введ. 2015-06-22. - К.: Держстандарт України, 2015. - 31 с.
2. Методичні вказівки з дипломного проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 7.05090202 «Автоматизовані комплекси радіоелектронних виробництв», 7.05090203 "Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки" [Текст] : методичні вказівки / В. А. Палагін, С. П. Новоселов, Є. А. Разумов-Фризюк, І. В. Жарікова. МОНМС України, ХНУРЕ. - Харків: ХНУРЕ, 2012. – 68 с.
3. Industrie 4.0: матричное производство | KUKA AG. Localization [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.kuka.com/ru-ru/отрасли/база-данных-решений/2016/10/матричное-производство> – 15.10.2020.
4. Мобильные роботы в промышленном производстве | KUKA. [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.kuka.com/ru-ru/производство-будущего/мобильные-роботы> – 15.10.2020.
5. Вороненко В.П., Схиртладзе А.Г., Брюханов В.Н. Автоматизация производства. — М.: Высшая школа, 2005. – 368 с.
6. Капустин Н.М., Кузнецов П.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. — М.: Высшая школа. 2004. – 415 с.
7. Система управления складами (WMS) [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://www.itctg.ru/solutions/sap-wms> – 17.10.2020.
8. Производственный процесс и основные принципы его организации. [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https://www.cfin.ru/management/manufact/product_process.shtml – 11.11.2020.

9. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https%3A%2F%2Fela.kpi.ua%2Fbitstream%2F123456789%2F36760%2F1%2FPosibnyk_GAV1.pdf&usg=AOvVaw1weo0kWP9_EboJyflL0azD – 12.11.2020.

10. Sqlite. [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.sqlite.org/index.html> – 15.11.2020.

11. C# programming guide [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/programming-guide/> – 16.11.2020

12. Новоселов С.П., Роменський В.І., Циганок С.П. Оптимізація методу керування рухом мобільного робота з використанням двигунів постійного струму // Технологія приладолаштування : Научн.-техн. журнал. – Харків: НИТИП. – 2019. – №2. – С.14-17.