

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та та
роботехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

Другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Автоматизація процесу сортування деталей за допомогою маніпулятора з
пневматичним захватом
(тема)

Виконала:
студентка 2 курсу, групи АУТПм-22-1
Черненко О.І.
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Автоматизоване управління
технологічними процесами
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Сичова О.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2023р.

Я, як студентка ХНУРЕ Черненко О.І, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дата

04.01.2024

П.І.Б.

Черненко О.І.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ

Факультет АКТ
 Кафедра КІТАР
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 Тип програми Освітньо-професійна
 Освітня програма Автоматизоване управління технологічними процесами
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

«03» 11 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Черненко Олена Ігорівна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація процесу сортування деталей за допомогою маніпулятора з пневматичним захватом

Затверджена наказом по університету від 3 листопада 2023р. № 1286 СТ

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____

3. Вихідні дані до роботи _____

Мова програмування – Python

Діапазон напруги живлення: 5...12 В

Тип захвату- пневматичний

Вага деталі- не більше 10 г.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ.

4.2 Аналіз процесу сортування деталей на виробничій лінії.

4.3 Аналіз методів сортування деталей на виробничій лінії.

4.4 Вибір та аналіз компонентів автоматизованої системи.

4.5 Розробка архітектури автоматизованої системи

4.6 Вибір компонентів для побудови макету автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії.

4.7 Висновки.

4.8 Додатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів,

комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 с. формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури за темою атестаційної роботи	03.11 – 07.11.23	Виконано
2	Аналіз методів сортування деталей на виробничій лінії	07.11– 15.11.23	Виконано
3	Аналіз конструкцій аналогічних пристроїв для рішення задачі переміщення деталей з використанням пневматичного захвату	16.11 – 21.11.23	Виконано
4	Вибір та аналіз компонентів автоматизованої системи	22.11 – 30.11.23	Виконано
5	Розробка архітектури автоматизованої системи	30.11 – 15.12.23	Виконано
6	Розробка програми для розпізнавання форми деталей на виробничому конвеєрі	16.12– 28.12.23	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	30.12.23	Виконано
8	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unicheck	12.01.24	Виконано
9	Подання роботи на рецензію	14.01.24	Виконано
10	Подання роботи на підпис зав. кафедри	20.01.24	Виконано
11	Подання атестаційної роботи в ЕК		Виконано

Дата видачі завдання 03.11.2023 р.

Студент  Черненко О.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи доц. каф. КІТАР Сичова О.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 81 с., 48 рис., 26 джерел.

ARDUINO, МІКРОКОНТРОЛЕР, ЕНКОДЕР, МОДУЛЬ КЕРУВАННЯ.

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес сортування деталей на виробничій лінії.

Предмет дослідження – методи сортування та розпізнавання форми деталей за допомогою системи комп'ютерного зору.

Метою роботи є вдосконалення методу сортування деталей на виробничій лінії з використанням маніпулятора з пневматичним захватом в поєднанні із системою комп'ютерного зору.

Розглянуто загальні принципи та методи сортування деталей на виробничій лінії. Наведена блок-схема системи обробки цифрових зображень, та описані критерії їх обробки та основні ознаки. Проведено аналіз аналогічних рішень та розглянута структурна схема автоматизованої системи сортування деталей на базі контролера Arduino. Також в якості аналогу розглянуто принцип роботи автоматизованого виробничого модуля розподілу деталей фірми FESTO. Проведено аналіз пневматичної схеми станції розподілу деталей, показані основні пневматичні вузли виробничої лінії.

ABSTRACT

Explanatory note: 81 p., 48 figures, 26 sources.

ARDUINO, MICROCONTROLLER, ENCODER, CONTROL MODULE.

The object of research in this work is the process of sorting parts on the production line.

The subject of the research is methods of sorting and recognizing the shape of parts using a computer vision system.

The aim of the work is to improve the method of sorting parts on the production line using a manipulator with a pneumatic gripper in combination with a computer vision system.

The general principles and methods of sorting parts on the production line are considered. The block diagram of the digital image processing system is given, and the criteria for their processing and the main features are described. Similar solutions were analyzed and the structural diagram of the automated parts sorting system based on the Arduino controller was considered. Also, as an analogue, the principle of operation of the automated production module for the distribution of parts of the FESTO company is considered. An analysis of the pneumatic scheme of the parts distribution station was carried out, the main pneumatic units of the production line were shown.

ЗМІСТ

Зміст.....	7
Вступ.....	10
1 Аналіз процесу сортування деталей на виробництві	12
1.1 Аналіз методів сортування деталей на виробництві	12
1.2 Аналіз конструкцій аналогічних пристроїв для рішення задачі переміщення деталей з використанням пневматичного захвату.	17
1.2.1 Паралельний маніпулятор з чотирма ступенями свободи для сортування товарів	17
1.2.2 Високошвидкісне сортування та виконання операції підбору та розміщення деталей на конвеєрі.....	22
1.3 Постановка задач дослідження.....	28
1.4 Висновок до розділу 1	28
2 Вибір та аналіз компонентів автоматизованої системи	29
2.1 Аналіз методів виробництва та розподілу стисненого повітря.....	29
2.2 Аналіз методів та компонентів для розподілу стисненого повітря	34
2.3 Кінематичний аналіз механізму маніпулятора автоматизованої системи сортування деталей	38
2.4 Висновок до розділу 2	47
3 Розробка архітектури автоматизованої системи.....	48
3.1 Розробка структурної схеми	48
3.2 Опис принципу роботи пневматичного захвату	53
3.3 Висновок до розділу 3	57
4 Експериментальні дослідження.....	58

4.1 Вибір компонентів для побудови макету автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії	58
4.2 Розробка програми для розпізнавання форми деталей на виробничому конвеєрі	70
4.3 Висновок до розділу 4	75
Висновки	77
Перелік джерел посилань	78
Додаток А Обробка наукових результатів дослідження.....	82
Додаток Б Демонстраційний матеріал	96

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЛК – програмований логічний контролер

ШІМ– широтно-імпульсна модуляція

ШІ–Штучний інтелект

РІС– мікроконтролер периферійного інтерфейсу

ВСТУП

Останнім часом все більше підприємств приходять до рішення, що для забезпечення зниження витрат на одиницю продукції, що виготовляється, треба впроваджувати автоматизацію устаткування за допомогою роботів-маніпуляторів.

Вимога підвищення продуктивності праці призвела до створення верстатів-автоматів, а потім до створення автоматичних ліній, цехів і заводів автоматів. Якщо в потокової лінії здійснити автоматичну передачу деталей від верстата до верстата, а також автоматичний затиск і відкріплення деталей в робочих позиціях, то конвеєр перетвориться в автоматичний.

У багатьох промислово розвинених країнах використання роботів в механічному виробництві стає все більш широко поширеним рішенням. Це дає можливість створювати виробництва з робочою зміною до 24 годин на добу без вихідних, що призводить до значного зниження собівартості продукції, прискорює терміни окупності інвестицій і знижує вплив людського фактору на якість виробів, що випускаються.

Метою цієї роботи є вдосконалення методу сортування деталей на виробничій лінії з використанням маніпулятора з пневматичним захватом разом в поєднанні із системою комп'ютерного зору.

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес сортування деталей на виробничій лінії.

Предмет дослідження – методи сортування та розпізнавання форми деталей за допомогою системи комп'ютерного зору.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз аналогічних рішень та методів сортування деталей на виробничій лінії;
- виконати проектування автоматизованої системи сортування деталей;
- виконати розробку алгоритму визначення форми деталей та системи комп'ютерного зору;

- розробити програму для автоматизованого розпізнавання деталей на промисловому конвеєрі;
- виконати експериментальні дослідження для підтвердження правильності теоретичних рішень.
- оформити пояснювальну записку згідно ДСТУ 3008:2015[1-5].

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ НА ВИРОБНИЦТВІ

1.1 Аналіз методів сортування деталей на виробництві

Процес сортування, автоматизований за допомогою системи керування, не тільки робить цей процес простим і точним, але й надійним вразі використання машинного зору. Це пов'язано з тим, що автоматична сортувальна машина замінює людський зір та мислення на алгоритми та програмне забезпечення.

Існують різні методи керування системою сортувальної машини [6 – 9]. Найпоширенішим базовим контролером для цієї мети може бути контролер Arduino, мікроконтролер периферійного інтерфейсу (PIC), міні ПК Raspberry Pi або навіть програмований логічний контролер (PLC).

Arduino використовувався для багатьох різноманітних цілей, таких як роботизована система керування промисловими пристроями з реалізацією широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), а також для керування різними типами датчиків моніторингу та модулю технічного зору.

Для автоматизації процесу сортування можна використовувати контролер Arduino для керування трьома компонентами конвеєрної лінії: двигун постійного струму для руху конвеєрної стрічки, крокового двигуна та серводвигуна [10]. Крім того, інше дослідження показало, що система сортування на основі кольору за допомогою мікроконтролера Arduino показала високу ефективність при низькій вартості [11].

Оскільки цифрове зображення може бути представлене в матричній формі, Matlab має бути ідеальним інструментом для обробки зображень, оскільки він має обчислювальну здатність матрично-орієнтованих операцій. Є чотири основні типи зображень, які підтримує Matlab:

- індексне зображення;
- сіре зображення;

- зображення RGB;
- бінарне зображення [12, 13].

Найпоширеніші операції з цифровими зображеннями, які можна виконувати за допомогою Matlab, включають:

- морфологічну операцію;
- вирівнювання гістограми;
- дискретне перетворення Фур'є та косинуса (DFT і DCT);
- фільтри знешумлених зображень;
- операцію визначення країв, яка включає оператор Собеля та оператор Превітта.

Метою процесу обробки зображень є підготовка цифрового зображення до подальшої обробки або вилучення цінних ознак із вихідного зображення. На рисунку 1.1 показана блок-схема системи обробки цифрових зображень.

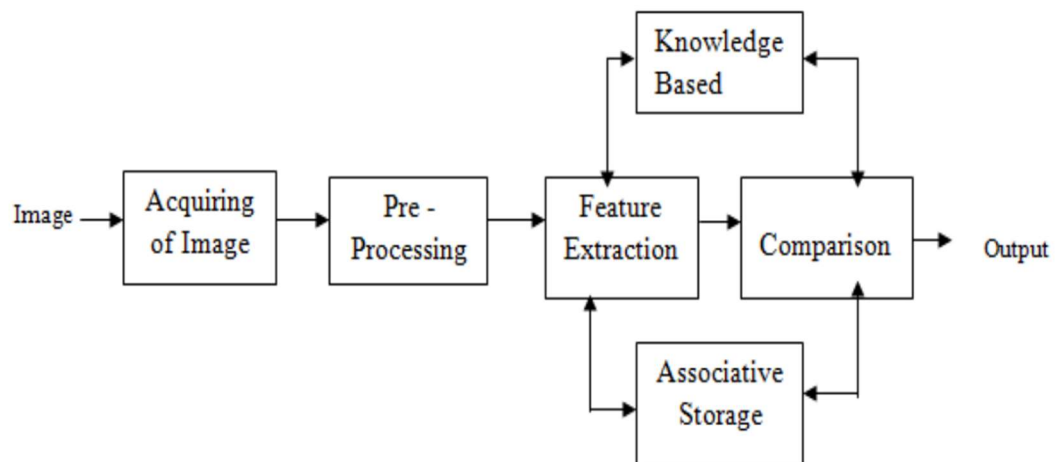


Рисунок 1.1 – Блок-схема системи обробки цифрових зображень

Штучний інтелект (ШІ) – це галузь інформатики для створення машини з інтелектом, яка має обчислювальну здатність, подібну до роботи людського мозку.

Деякі з застосувань ШІ включають комп'ютерний зір, розпізнавання мови, розуміння природної мови, а також евристичну класифікацію. Машинне

навчання, яке є однією з гілок ШІ, уже швидко розвинулося майже в усіх галузях техніки, які використовували використання інформатики та статистики для комерційного використання, а також у промисловості [14].

Найпоширенішими чотирма типами навчання в цій галузі є:

- контрольоване навчання;
- неконтрольоване навчання;
- напівконтрольоване навчання;
- навчання з підкріпленням.

Опис критеріїв та їх основні ознаки, показані на рисунку 1.2.

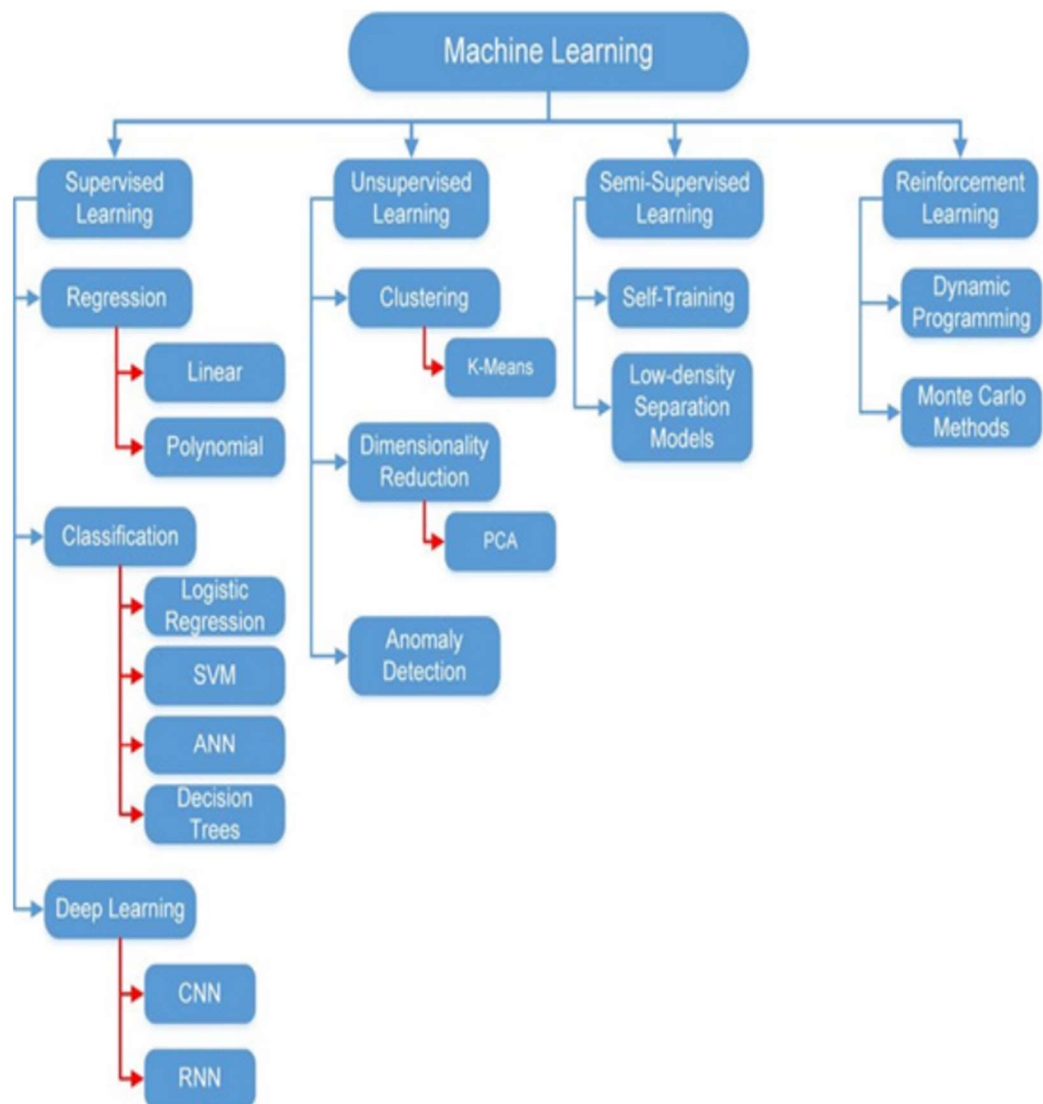


Рисунок 1.2 – Опис критеріїв та їх основні ознаки

Навчання під наглядом – це процес, у якому процес навчання бере вхідні та очікувані результати, які слід враховувати під час обчислення та аналізу. В результаті можна отримати бажаний результат. Таким чином, точність обчисленого результату покращиться та наблизиться до бажаного результату.

Мета навчання під контролем полягає в тому, щоб завершити функцію або відобразити навчальні дані у форматі з мітками. Системі буде надано вхідні дані вектора x , які є навчальними даними, а також бажаний вихід, позначений як y , який є функцією вхідних даних, які ще належить визначити. Вихідний вектор y є описом кожного відповідного вхідного прикладу з вхідного вектора x . Об'єднавши ці два позначені дані, можна сформувати модель навчання [15].

Процес позначення вихідного вектора y повинен виконуватися вручну для кожного навчального прикладу, наявного в навчальних даних. Реалізація напівконтрольованого навчання зазвичай використовується, коли кількість позначених точок даних обмежена, а в наборах даних є багато не позначених точок даних. Позначені і не позначені точки даних використовуватимуться системою для створення кращої моделі навчання.

Навчання з підкріпленням використовується, коли менша кількість інформації доступна для моделі шляхом проб і помилок для визначення результату, який дає більшу винагороду системі.

Неконтрольоване навчання не матиме відомих вихідних даних для моделі, надаватиме лише вхідні дані, позначені як вектор x . Потім алгоритм обчислить і зробить аналіз на основі шаблонів у навчальних даних, щоб передбачити результат. Категорії цього типу навчання включають кластеризацію, розмірне зменшення та виявлення аномалій.

Існують різні типи механізмів сортування. Наприклад, є механізм сортування, який використовує пневматичний або гідравлічний механізм для розділення деталей за допомогою робота з кінематикою Delta та лотка для

сортування, що приводиться в дію кроковим двигуном або серводвигуном (рисунок 1.3) [16].

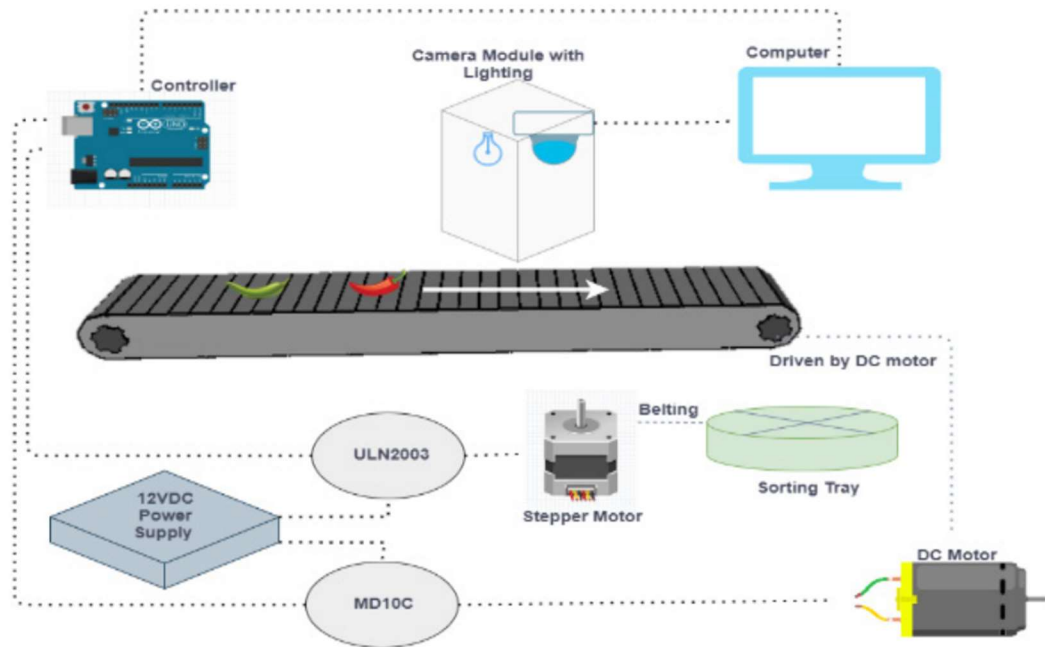


Рисунок 1.3 – Структурна схема автоматизованої системи сортування деталей

Для цієї обрано кроковий двигун, оскільки його можна точно й точно рухати відповідно до вимог конструкції. Кроковий двигун на 12 В керується драйвером двигуна ULN 2003, який зазвичай використовується як схема драйвера для реле, світлодіодного освітлення та крокового двигуна.

Мікроконтролер Arduino Uno отримуватиме живлення від портативного ноутбука, налаштованого на програму Matlab для обробки зображень. Модуль камери OV7670 VGA, який сполучається з Arduino, використовується для захоплення зображення деталей. Програма Matlab обробляє зображення, що збережено у відповідній папці, зробленого за допомогою камери OV7670.

1.2 Аналіз конструкцій аналогічних пристроїв для рішення задачі переміщення деталей з використанням пневматичного захвату

1.2.1 Паралельний маніпулятор з чотирма ступенями свободи для сортування товарів

Як аналог розглянемо конструкцію і принцип роботи паралельного робота з чотирма ступенями свободи із вбудованим пневматичним захватом для сортування товарів [17].

Нещодавно роботизовані машини для сортування товарів почали замінювати людей-операторів на підприємствах з відновлення матеріалів (MRF) та інших центрах переробки. Ці машини покладаються на комп'ютерний зір для ідентифікації класу товарів на основі RGB зображень з спеціалізованих камер. Досягнення глибокого навчання дозволяють ідентифікувати та відокремлювати з ефективністю до 95% цільового матеріалу на конвеєрі. Швидкі роботи-маніпулятори використовуються для захоплення товарів безпосередньо з потоку на конвеєрі.

Основна перевага такого методу сортування полягає в зменшенні проблем з робочою силою, таких як залежність від ручних сортувальників на об'єкті та захист працівників від контакту з виробничим обладнанням та продукцією високого ризику (травми, забруднення, розлади опорно-рухового апарату). Іншими перевагами є покращення якості сортування, безперервне сортування, підвищення рівня відновлення та мінімізація попереднього подрібнення.

Кілька компаній пропонують автоматичне сортування для MRF. AMP Robotics, Bulk Handling Systems (BHS), Machinex, TOMRA Sorting Recycling і ZenRobotics є одними з тих, хто зосереджується на комп'ютерному зорі та робототехніці. Усі вони використовують стандартних промислових роботів для збирання об'єктів. В даний час ці машини для сортування можуть досягати швидкості вибору майже вдвічі, ніж оператор-людина (відповідно 70 ppm

проти 30-40 ppm). Щоб зменшити витрати та споживання енергії на сортування, роботи мають бути швидкими та енергоефективнішими.

Для задоволення цих потреб застосовують паралельні механізми. Завдяки актуаторам, розташованим на основі робота, динаміка цих конструкцій особливо висока при зниженому споживанні енергії порівняно з серійними роботами. Зокрема, роботи Delta є одними з найшвидших, найдешевших і найлегших роботів для операцій підбору та розміщення [17]. Вони також прості в ремонті та пилозахисні.

Звичайною конфігурацією для сортування сміття є робот Delta від ABB або Omron, оснащений присоскою. Таке рішення підходить для збору легких і плоских відходів (рис. 1.4). Однак системи відсмоктування далеко не енергоефективні. Крім того, для сортування важких товарів і предметів зі складною геометрією або нерівними поверхнями краще використовувати захвати, ніж присоски. Наприклад, важкі збирачі від ZenRobotics можуть сортувати товари будівництва за допомогою портального робота 3 DoF, оснащеного великим захватом. Загалом, захвати встановлюються на декартових або шарнірних роботах, що призводить до більшої потреби в потужності, нижчої швидкості та нижчої швидкості забору, як правило, 30 ppm, але також меншого терміну служби через запилене середовище.

В прикладі, що розглядається, паралельна кінематика може забезпечувати одночасно три переміщення в просторі (3-DoF) і відкривання/закривання вбудованого захоплення (1 додатковий DoF). Таким чином, цей маніпулятор може підбирати різні типи об'єктів без додаткового захоплення, встановленого на його платформі. На додаток до зменшення маси, це усуває необхідність забезпечувати кінцевий ефектор стисненим повітрям або електроенергією.



Рисунок 1.4 – Приклад паралельного робота маніпулятора

Робот складається з чотирьох поворотних приводів, пов'язаних з оригінальною конфігурованою платформою, яка дозволяє використовувати локальну DoF для відкриття та закриття вбудованого захвату.

У сортувальній машині завдання робота полягає в тому, щоб збирати предмети з конвеєрної стрічки та кидати їх у збірний лоток. Щоб виконати цей цикл, потрібні три послідовних операції, але обертання зазвичай не потрібні, оскільки не потрібно розміщувати зібраний предмет у точному місці, як у звичайному циклі розміщення. Крім того, якщо робот оснащений захватом з великими кігтями або ковшем, він зможе брати предмети будь-якої форми та матеріалу незалежно від їх орієнтації. Нарешті, висока швидкість і низьке енергоспоживання зменшать витрати на сортування. З цієї причини перевага віддається паралельним структурам, таким як роботи Delta. Можна розглянути кілька рішень, щоб забезпечити захоплення на додаток до 3-DoF робота Delta без додаткового захоплення. Серед них найбільш привабливим є використання конфігурованої платформи у верхній частині паралельної кінематики, оскільки вона може забезпечити додатковий DoF до кінцевого ефектора з дуже невеликою додатковою вагою.

Перші паралельні роботи з конфігурованою платформою були представлені Pierrot і комерціалізовані Omron/Adept (під назвами Quattro та 1x4). Цей робот, призначений для операцій підбору та розміщення, забезпечує 3-DoF при переміщенні та 1-DoF при обертанні навколо Z за допомогою 4 осей, встановлених на основі робота (рух Шонфліса). Обертання здійснюється за допомогою настроюваного паралелограма, який замінює жорстку платформу роботів Delta. Перевагами є економія ваги та хороша рівновага між чотирма ідентичними двигунами, які приводять у дію робота. З тих пір було запропоновано декілька роботів із чотирма паралельними кінцівками з конфігурованою платформою, близькою до кінематичної архітектури робота Quattro, для генерації рухів Шенфлі.

Тим не менш, використання платформ на основі паралелограма не підходить для роботи великих захватів. Інший тип конфігурованих платформ був запропонований Gosselin і складається з двох частин, розділених пасивним шарніром. Ця мобільність може бути використана для отримання необмежених можливостей обертання кінцевого ефектора або для керування кутовим захватом.

Зубчасті захвати використовують два зубчастих колеса, що обертаються в протилежних напрямках із співвідношенням 1:1. Таке співвідношення дає можливість симетрично керувати відкриттям і закриттям правої та лівої частин захвату. Завдяки зубчастій передачі з цим специфічним передаточним числом кути лівої частини платформи та правої частини завжди однакові. Особлива конструкція платформи інтегрує цей захват, не порушуючи балансу напруг у всій конструкції.

Зокрема, кінематика маніпулятора (рис. 1.5) спирається на два рівні: паралельну структуру та конфігуровану платформу.

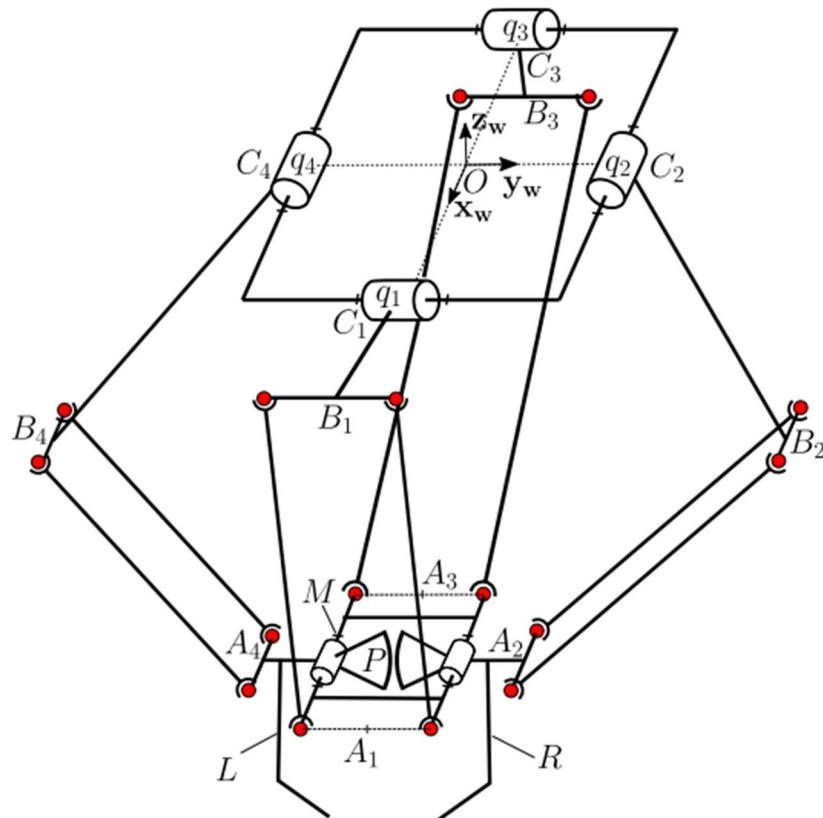


Рисунок 1.5 – Кінематична схема маніпулятора 4-DoF

Кінематична схема маніпулятора 4-DoF, що показана на рисунку 1.5 складається з паралельної конструкції та конфігурованої платформи з вбудованим захватом із двома передачами. Центри обертання шестерень збігаються з центрами поворотних шарнірів платформи.

Перший рівень складається з чотирьох незалежних шарнірів, що приводяться в дію поворотними приводами та прикріплені до конфігурованої платформи. Конфігурована платформа замикає кінематичні ланцюги з двома поворотними шарнірами та двопередачею. Осі обертання шестерень збігаються з осями поворотних шарнірів платформи. Кожне плече являє собою ланцюг R-2(S-S), який можна замінити на R-2(U-S) або R-U-U, де R означає обертовий шарнір, S – сферичний шарнір, а U – карданний шарнір.

Конфігурована платформа складається з трьох частин: центральної частини, лівої L: і правої R-частини (рис. 1.5). Центральна частина M пов'язана з двома кінематичними ланцюгами, а також лівою L і правою R частинами

поворотними шарнірами. Ліва L і права R частини з'єднані з передпліччям з одного боку та центральною частиною M з іншого боку за допомогою поворотного суглоба. Ліва L і права R частини утримують кігті захвату і обертаються симетрично завдяки зубчастій передачі між ними.

Кінематика маніпулятора проілюстрована архітектурною схемою на рисунку 1.6.

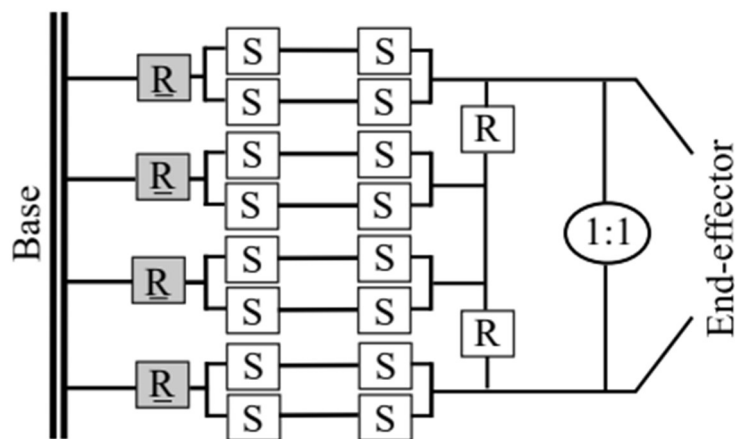


Рисунок 1.6 – Архітектура 4-DoF маніпулятора

За даною конструкцією центральна частина маніпулятора не може обертатися в будь-якому напрямку, але може переміщатися в декартовій рамці в робочому просторі маніпулятора, що призводить до 3-DoF у зміщенні. Додатковий DoF — це симетричне обертання лівої та правої частин платформи.

1.2.2 Високошвидкісне сортування та виконання операції підбору та розміщення деталей на конвеєрі

Масове виробництво малогабаритних, легких деталей є одним із найпоширеніших видів діяльності, які зустрічаються в різних галузях виробництва по всьому світу [18]. Споживчі товари, пластмаси, медичні вироби та дрібні металеві деталі є деякими показовими прикладами. У

більшості випадків жорстка автоматизація забезпечила ефективне, але дуже дороге та негнучке рішення.

Збільшення попиту на більшу різноманітність продукції, а також еволюція виробничих процесів і систем керування сприяли розробці роботизованих програм, які можуть виконувати кілька завдань у виробничому ланцюжку як автономні, так і як взаємодіючі одиниці. Сортування та подача деталей є орієнтовними прикладами. Дотепер потребу у завантаженні деталей задовольняли за допомогою таких пристроїв, як вібраційні чаші та конвеєри, а також за допомогою ручної праці. З удосконаленням сенсорних можливостей роботів і маніпуляцій стало можливим частково або повністю автоматизувати ці дії. У таких додатках основна увага при розробці зосереджена на таких питаннях:

- розробка та розгортання передових систем бачення, які здатні ідентифікувати кілька рухомих частин, які знаходяться або насипом, або рухаються на поверхні конвеєра;

- впровадження алгоритмів і комунікаційних структур для синхронізованих, безконфліктних та ефективних операцій кількох роботів в одному робочому просторі. Це включає в себе інструменти для визначення оптимальної послідовності операцій (наприклад, підбір, розміщення), а також планування руху в реальному часі та оперативну реконфігурацію кожного робототехнічного елемента для мінімізації часу циклу;

- розробка спритних і гнучких захватів, які дозволяють виконувати прості та ефективні операції підбору та розміщення, наголошуючи на мінімізації складності апаратного та програмного забезпечення для досягнення надійної роботи. На даний момент було запропоновано та класифіковано широкий спектр захватів, які також обговорюються в наступних параграфах.

Приклад найбільш типових установок для роботизованого сортування та подачі представлено на рисунку 1.7.

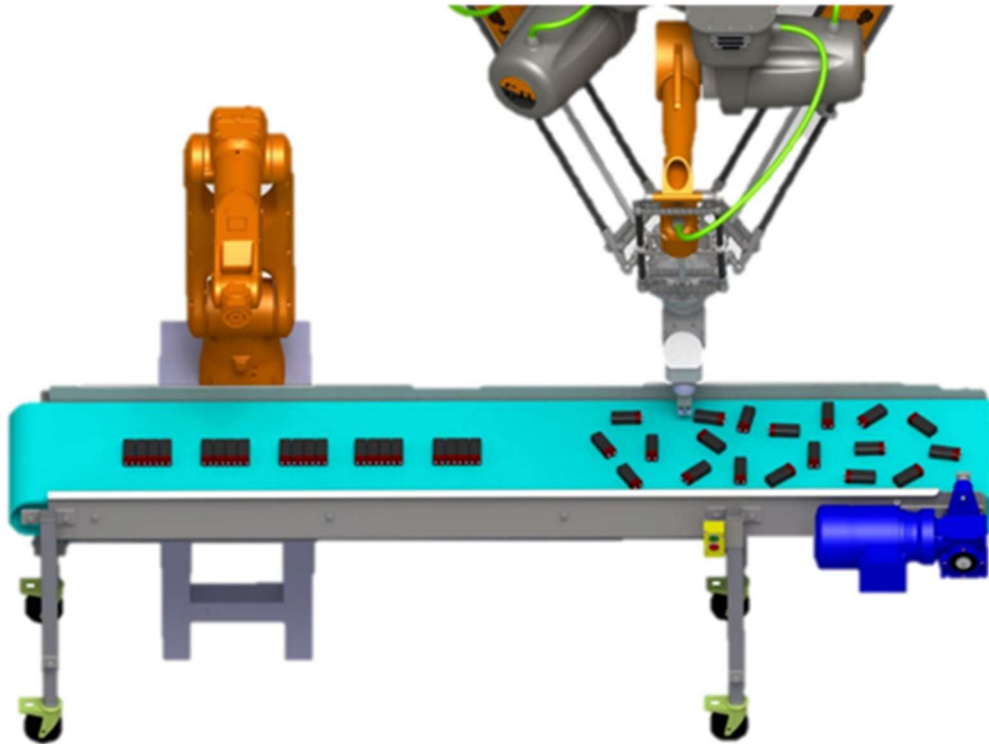


Рисунок 1.7 – Приклад високошвидкісного сортування та розміщення деталей на конвеєрі

Паралельний кінематичний робот з правого боку керується блоком керування керування, щоб вибирати випадково розміщені частини та формувати групи по чотири. Рішення обумовлено високошвидкісною системою огляду. Програмне забезпечення для координації гарантує, що деталі збираються в послідовності, яка оптимізує операцію підбору та розміщення, а також керує другим роботом (зліва) вибирати іншу групу деталей без зіткнень.

У конкретній системі, хоча робот забезпечує швидкість руху, саме захват забезпечує можливість виконувати всю роботу. Однак важливішим є те, що розглядувана проблема дещо спрощується через наступні умови:

- ідентифікація за допомогою системи зору є двовимірною проблемою і вирішується досить легко шляхом визначення контурів кожної деталі та їх орієнтації;

– деталі – це плоскі предмети, які лежать жорстко і не переміщуються з малими зусиллями внаслідок тертя між ними та поверхнею конвеєра;

– деталі завжди забезпечують рівну та досить велику площу на поверхні, щоб можна було збирати їх за допомогою вакууму. Підбирання завжди виконується на деталі без необхідності переконатися, що вона знаходиться в правильній орієнтації;

– необхідна переорієнтація деталей відбувається лише вздовж обертання вертикальної осі, і, таким чином, швидкі рухи можуть бути досягнуті паралельним роботом за рахунок обмежених/2D маніпуляцій. Щоб маніпулювати акумулятором, не потрібна додаткова вправність.

Однак, спостерігаючи за деталями на конвеєрі в реальному житті, очевидно, що ці предмети не допускають більшості вищезгаданих спрощень. Основна причина полягає в тому, що вони мають складну 3D-геометрію (не плоску), яка вимагає більш спритних маніпуляцій.

У цьому випадку необхідно застосувати новий дизайн захвату, який може працювати з такими деталями. Здатність захвату подолати ці обмеження пояснюється тим фактом, що він призначений для виконання ручних маніпуляцій з деталлю та правильною орієнтації їх перед захопленням. Узагальнення запропонованого захвату залежить від можливості використання компонентів, надрукованих на 3D принтері, для відповідності геометрії об'єктів, які потрібно обробляти, а також розташування сопел стисненого повітря, щоб гарантувати, що необхідні вектори сили для маніпулювання об'єктом.

На рисунку 1.8 зображено структуру модуля керування.

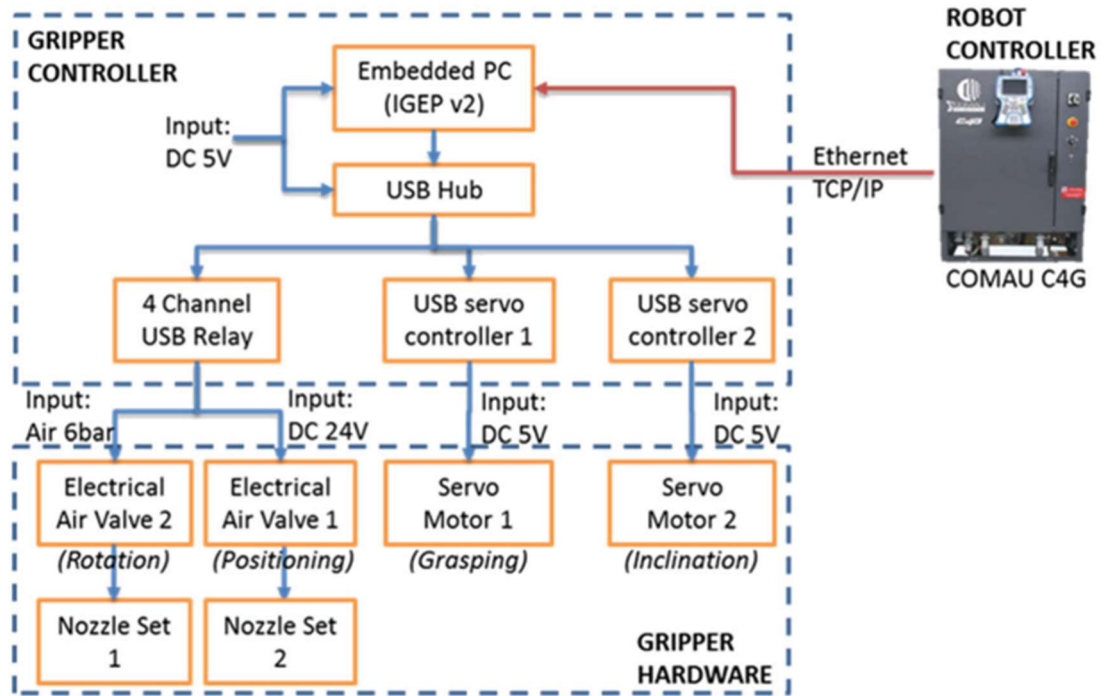


Рисунок 1.8 – Структура модуля керування

Для керування пристроєм на основі пневматичного захвату в даному прикладі використовувався вбудований ПК на базі ARM (IGEP v2 із процесором TI OMAR Cortex A8 @ 1 ГГц, 512 МБ флеш-пам'яті NAND і 512 МБ ОЗП) із дистрибутивом UBUNTU 12.04 LTS.

USB-концентратор дозволяв підключити 4-канальне USB-реле Denkovі, яке використовувалося для керування двома електричними клапанами, які відкривають і закривають подачу повітря до різних наборів сопел (обертання та остаточне позиціонування).

Реле оснащено мікросхемою FTDI, яка підтримує роботу бітбенгу, що забезпечує прямий доступ читання Avrite до кожного реле на 8-бітному двонаправленому каналі. Бібліотека з відкритим вихідним кодом libFTDI була використана як драйвер для інтерфейсу релейного модуля через Linux. Крім того, два контролери Phidget Advanced Servo 1 були прикріплені для керування функціями відкриття/закриття та нахилу модуля захоплення.

Для реалізації послідовності між електричними клапанами та двигунами використовувалася спеціальна програма. Завдяки невеликому розміру

компонентів їх можна помістити в невеликий корпус, який можна прикріпити до манипулятора робота, при цьому вимоги до живлення залишаються дуже низькими (5 В постійного струму для ПК і USB-концентратора та 24 В постійного струму для електричних клапанів).

На рисунку 1.9 показано апаратна реалізація запропонованої структурної схеми.

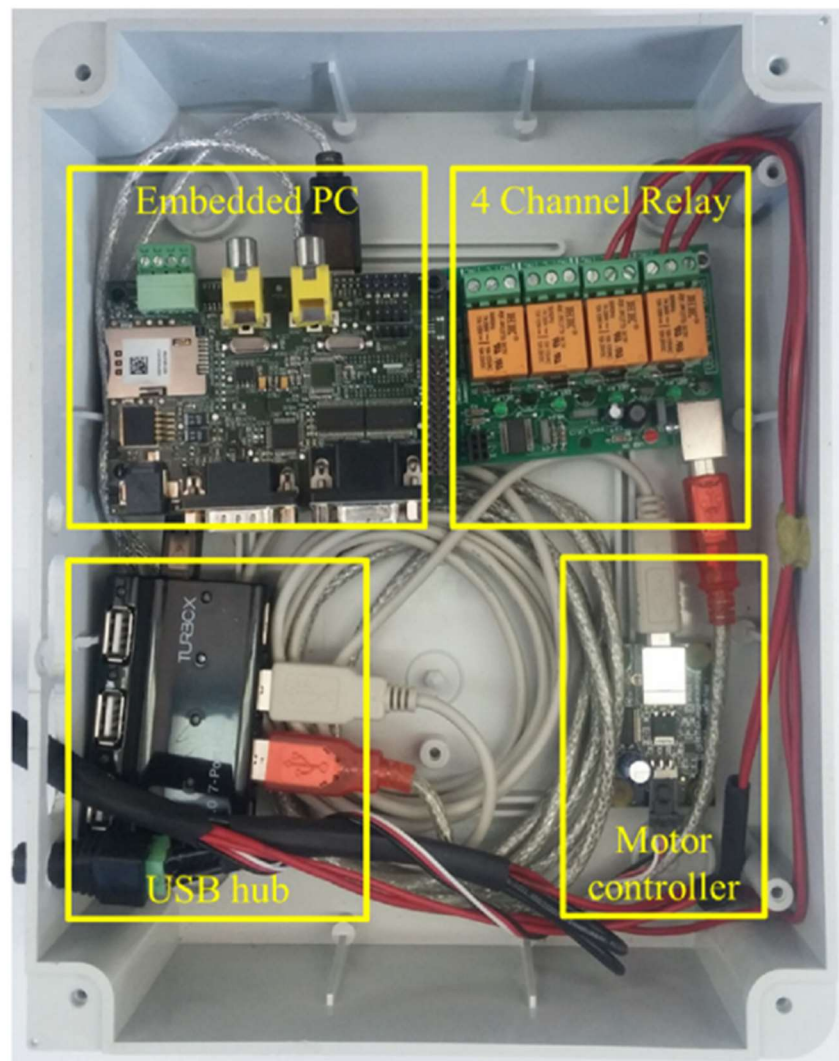


Рисунок 1.9 – Система керування манипулятором з пневматичним захватом

1.3 Постановка задач дослідження

Таким чином, для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні пункти:

- виконати проектування автоматизованої системи сортування деталей;
- виконати розробку алгоритму визначення форми деталей та системи комп'ютерного зору;
- розробити програму для автоматизованого розпізнавання деталей на промисловому конвеєрі;
- виконати експериментальні дослідження для підтвердження правильності теоретичних рішень.

1.4 Висновки до розділу 1

У процесі аналізу методів сортування деталей на виробничій лінії було виявлено, що традиційні методи сортування часто вимагають значного втручання людини, що може призвести до помилок і непослідовностей. Крім того, ці методи можуть бути повільними і неефективними, особливо при великих обсягах виробництва.

Використання маніпулятора з пневматичним захватом для автоматизації процесу сортування може значно покращити ефективність і точність цього процесу. Цей підхід забезпечує швидкість, точність і послідовність, які важко досягти за допомогою традиційних методів.

2 ВИБІР ТА АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Аналіз методів виробництва та розподілу стисненого повітря

2.1.1 Вимоги до устаткування з виробництва стисненого повітря

Стиснене повітря є важливим енергоресурсом для промисловості, займає четверте місце після електроенергії, природного газу і води. Однак, на відміну від перших трьох енергоресурсів, стиснене повітря, виробляється на місці. Тому у споживача значно більше можливостей контролювати його споживання і витрати на його виробництві.

У пневматичних системах використовується найбільш поширений і найменш дорогий газ – повітря. Для забезпечення енергії, здатної виробляти механічну роботу, необхідно створити тиск повітря вище атмосферного.

Є три важливі причини, через які необхідно витратити час і сили на зниження витрат в системах стисненого повітря:

- виявлення та усунення витоків і нераціонального використання (заощаджує енергію та гроші);
- підвищення надійності і експлуатаційних параметрів систем стисненого повітря;
- зниження електроспоживання і, відповідно, зниження викидів вуглекислого газу (зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище).

Добре спроектована і належним чином введена в експлуатацію енергоефективна система стисненого повітря може приносити споживачеві десятки і навіть сотні тисяч гривень щорічної економії.

Енергоефективна система стисненого повітря забезпечується:

- при постійному підтриманні у справному стані;
- при регулярному техобслуговуванні всього обладнання і контролем за експлуатаційними параметрами;

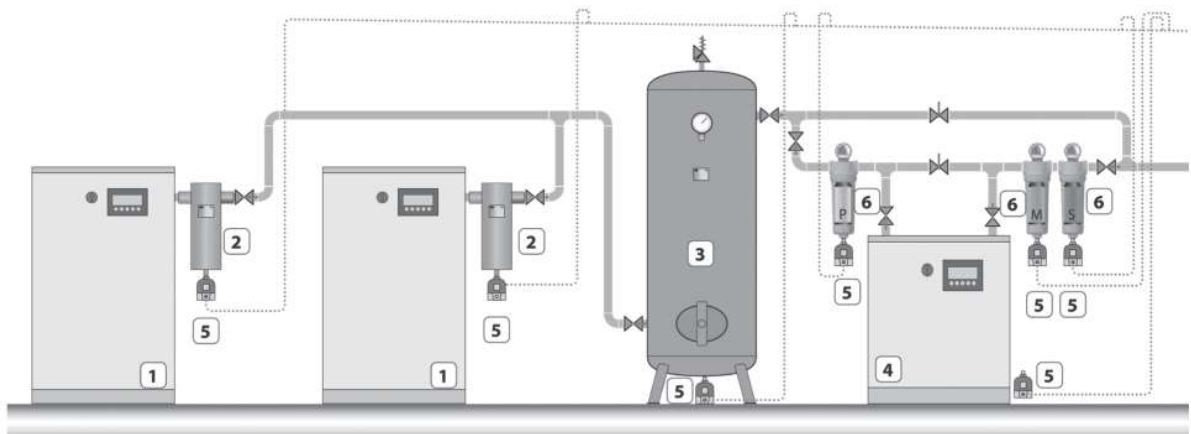
– якісно спроектованою мережею (правильно обрані фітинги, фільтри, осушувачі, труби і трубні з'єднання) – для досягнення мінімальних втрат тиску;

– роботою при постійному або регулярному моніторингу із визначенням питомого енергоспоживання на основі отриманих даних;

– експлуатацією персоналом, добре обізнаним про витрати на виробництві стисненого повітря (персонал пройшов навчання з ефективного використання обладнання, яке споживає стиснене повітря);

– постійним моніторингом енерговитрат.

Більшість систем стисненого повітря складаються покроково, а не розробляються в ході проектування. На рисунку 2.1 показано схему типової системи виробництва і підготовки стисненого повітря.



- 1 – компресор; 2 – циклонний сепаратор для видалення конденсату;
 3 – ресивер; 4 – осушувач стисненого повітря; 5 – конденсатовідвідник;
 6 – фільтр

Рисунок 2.1 – Схема типової системи виробництва і підготовки стисненого повітря

Основні типи втрат стисненого повітря:

- витоки;
- падіння тиску;

– робота компресора через відсутність потреби у стисненому повітрі.

Витоки існують у всіх системах стисненого повітря. Зниження витоків є найголовнішим енергозберігаючим заходом.

Рівень витоків у неправильно змонтованій керованій системі стисненого повітря може перевищувати 50% від обсягу виробництва стисненого повітря.

Витоки стисненого повітря також ведуть до додаткових витрат внаслідок:

– коливань тиску в системі, які можуть призвести до зниження ефективності роботи пневматичних інструментів та іншого обладнання з пневматичним приводом (потенційно може викликати зниження обсягів виробництва);

– скорочення терміну служби обладнання і позапланових ремонтів через непотрібність циклічної роботи компресора;

– надлишкової потужності компресора.

Причини витоків різноманітні, але найбільш частими є:

– залишені відкритими вентиля ручного відведення конденсату;

– залишені відкритими запірні вентиля;

– негерметичні гнучкі трубопроводи та з'єднання;

– негерметичні труби і трубні з'єднання;

– негерметичні регулятори тиску;

– увімкнене без потреби обладнання (яке споживає повітря, коли в його роботі немає необхідності).

2.1.2 Компресори

Компресор – пристрій для підвищення тиску (стиснення) і переміщення газоподібних речовин.

Робочий тиск і необхідний об'єм повітря є основними визначальними критеріями для вибору компресора.

Енергоефективність будь-якого компресора залежить від його:

– конструкції;

- установки;
- експлуатації;
- техобслуговування.

Ефективність компресорів найвища під час роботи з повним навантаженням. Навіть, на холостому ходу електроспоживання компресорів може досягати 20...70% від рівня споживання (під час повного навантаження). Таким чином, для досягнення максимальної ефективності роботи компресора необхідно, щоб його виробіток відповідав потребі в стисненому повітрі. На рисунку 2.2 наведена класифікація видів компресорів.



Рисунок 2.2 – Види компресорів

Компресори мають знаходитися у сухому, чистому, прохолодному і добре вентиляваному приміщенні.

Для стиснення теплого і вологого повітря потрібно не тільки більше енергії, а й додаткове осушення, щоб волога не стала причиною корозії труб та інших проблем з обладнанням. Можливо, потрібно буде примусова вентиляція в компресорному приміщенні для відведення теплоти. Повітрязбірник приміщення компресорної станції повинен, за можливістю, розташовуватися на стіні, яку орієнтовано на північ, або, в затіненому місці. Необхідно встановити решітку для захисту від сторонніх предметів. Фільтрувати пил і бруд з метою очищення повітря, яке подається, потрібно для

мінімізації зношування та уникнення пошкоджень системи стисненого повітря. Слід регулярно перевіряти фільтри повітрязабірника і замінювати їх до того, як падіння тиску на них стане значним.

На рисунку 2.3 показана діаграма для обирання типу компресора в залежності від продуктивності.

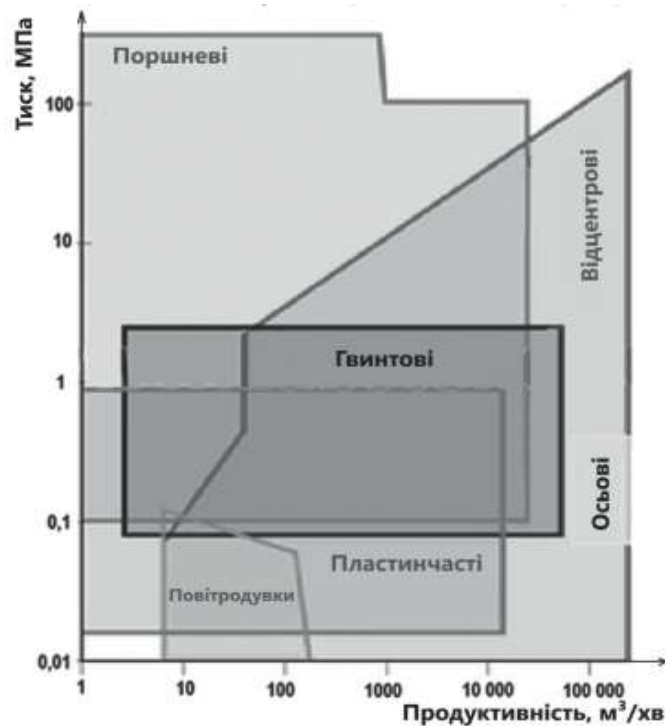


Рисунок 2.3 – Область застосування різних типів компресорів

Задача вибору компресора найбільше підходить для конкретного застосування, має ґрунтуватися на низці факторів, головними з яких є наступні:

- рівень якості повітря, необхідний для конкретного застосування/технології (наприклад, чи є необхідність в стисненому повітрі, яке не містить мастила);

- дотримання витрат повітря та тиску;

- наявне фінансування та наступні експлуатаційні витрати.

У типових промислових системах, які працюють із тиском від 6 до 10 бар, зазвичай використовуються гвинтові, пластинчасті або поршневі

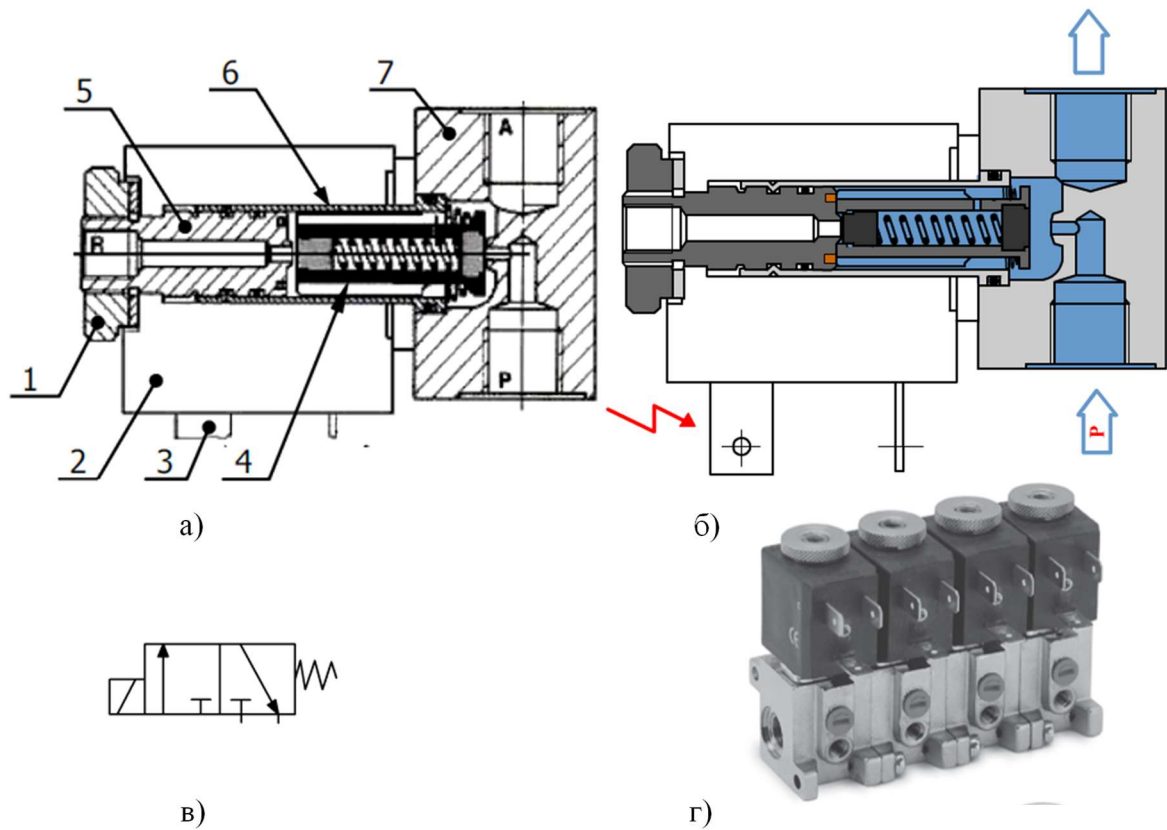
компресори. Відцентрові компресори, як правило, застосовуються в системах із великими витратами.

2.2 Аналіз методів та компонентів для розподілу стисненого повітря

Пневматичні розподільники і клапани призначені для зміни напрямку потоку стисненого повітря. Електропневматичний розподільник (клапан) – це комбінація двох основних функціональних вузлів: соленоїд (електромагніт) з сердечником (якорем) і безпосередньо розподільник (клапан), в якому встановлено золотник або поршень, щоб змінювати напрямок потоку стисненого повітря. Коли на котушку соленоїда подається живлення, магнітний сердечник втягується, викликаючи переміщення золотника і перемикання розподільника (клапана).

Розрізняють електропневматичні розподільники з електричним (електромагнітним) управлінням і з електропневматичним керуванням. У розподільниках (клапанах) з електричним керуванням золотник (поршень) механічно пов'язаний з сердечником електромагніту (рисунок 2.4).

У корпус 7 запресовано втулку 6, всередині якої знаходиться сердечник 5 і якір 4, одночасно є поршнем. Соленоїд (електромагніт) 2 насаджується на втулку і притискається до корпусу притисочною гайкою 1. За необхідності, соленоїд може бути замінено на інший. У початковому стані канал А з'єднаний з каналом R, а канал P перекрито. З подачею напруги на контакти 3 соленоїда якір притягується до сердечника.



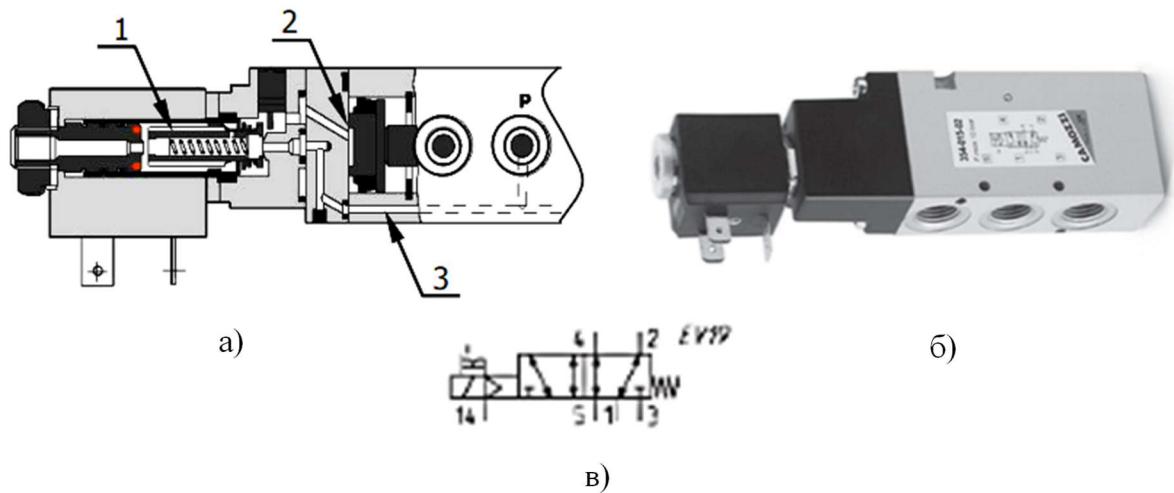
а) ескіз розподільника серії А (виробник Camozzi);

б) робоче положення розподільника в момент перепуску стисненого повітря та спрацьовування ЕМР; в) умовне позначення на схемі керування;

г) приклад групового монтажу серії А

Рисунок 2.4 – Конструкція клапана з електронним управлінням

При цьому стиснене повітря надходить з каналу Р в канал А, а канал R перекривається. Зі зняттям напруги, під дією пружини, сердечник повертається у вихідну позицію (моностабільний розподільник). У розподільниках з електропневматичним управлінням в корпусі розподільника є додатковий керуючий канал 3, пов'язаний з каналом підведення стисненого повітря Р (рисунок 2.5).



а) ескіз розподільника серії 3 (виробник Camozzi);

б) робоче положення розподільника в момент перепуску стисненого повітря та спрацьовування ЕМР; в) умовне позначення на схемі керування

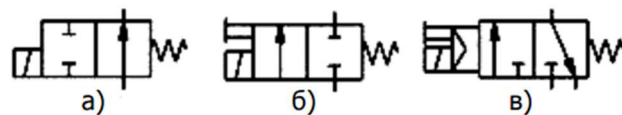
Рисунок 2.5 – Конструкція клапана з електропневматичним управлінням

З подачею напруги на контакти соленоїда якір 1 притягується до сердечника і відкриває керуючий канал. При цьому стиснене повітря впливає на поршень золотника і переміщує його в іншу позицію, викликаючи тим самим перекомутацію каналів. Розподільники з електропневматичним управлінням, розраховані на великі витрати повітря, можуть складатися з двох–трьох розподільників: основного, з пневматичним управлінням, і керуючих (пілотних), з електронним управлінням, приєднаних до входів управління.

Для управління електропневматичними розподільниками необхідно знати основні параметри соленоїдів – номінальну напругу і споживану потужність. Компанії-виробники пневматики випускають широкий спектр соленоїдів з різними параметрами. Наприклад, компанія Camozzi випускає соленоїди з номінальною напругою змінного струму 24 В, 48 В, 110 В, 230 В, 380 В і номінальною напругою постійного струму – 6 В, 12 В, 24 В, 48 В, 110 В.

Особливої уваги заслуговує соленоїд моделі G90. Він забезпечує можливість імпульсного управління клапаном. Досить короткого імпульсу – 20 мс, для того, щоб запірний елемент спрацював і залишився в цьому

положенні. Для повернення його у вихідне положення необхідна подача короткого імпульсу за окремим входом. Таким чином, цей соленоїд дозволяє змінити принцип роботи клапана з моностабільного на бістабільний. Для регулювання в процесі налагодження пневмоприводу розподільники оснащуються ручним дублюванням, тобто можливістю переміщення золотника вручну (як правило, за допомогою викрутки). Варіанти умовних графічних позначень електропневматичних розподільників з різними видами управління наведені на рисунку 2.6.



а) з електричним керуванням; б) з електричним керуванням і ручним дублюванням; в) з електропневматичним керуванням і ручним дублюванням

Рисунок 2.6 – Умовні графічні позначення пневморозподілювачів:

Особливий вид пневморозподілювачів з електроуправлінням складають пневмоострови.

Пневмоостри – це декілька розподільників, встановлених на одній плиті, що має загальний канал підведення стисненого повітря для всіх розподільників і два загальних каналу вихлопу. За необхідності, можна комбінувати окремі плити таким чином, щоб розподільники працювали на різних тисках. Контакти електромагнітів об'єднуються в один загальний рознім і за допомогою кабелю підключаються до модуля управління.

Застосування пневмоостровів дозволяє зменшити кількість трубопроводів (і відповідно втрат тиску) і електричних проводів і полегшити монтаж. Зображений на рис. 2.7 пневмоострів компанії Camozzi, складений на основі Plug-In системи для електропневматичних розподільників, дозволяє об'єднати в один конструктивний модуль до 22 розподільників, що працюють з використанням трьох і більше різних номіналів тиску.

Функції розподільників: 2x3/2, 5/2 і 5/3 (закритий центр, відкритий центр, подача тиску в обидві лінії). Багатоштиркова версія – підключення за допомогою розніму Sub-D 25-контактний. Шина Fieldbus: PROFIBUS-DP, DeviceNet, CANopen, EtherNET/IP, EtherCAT, PROFINET. Електрична частина острова оптимізована для видачі сигналів управління на моностабільні і бістабільні. Один електричний модуль може бути на 2 або 3 розподільника.



Рисунок 2.7 – Приклад модифікації Plug-In острова на базі електропневматичних розподільників серії 3 компанії Samozzi

Пневматична частина острова дозволяє здійснити роботу острова на різних тисках. Подача напруги на соленоїд розподільника здійснюється безпосередньо від джерела живлення за допомогою електричного перемикача (кнопки або тумблера) або через контакти електромагнітного реле.

2.3 Кінематичний аналіз механізму маніпулятора автоматизованої системи сортування деталей

Перше і основне завдання кінематики – визначення функції положення. Для просторових механізмів найбільш ефективними методами вирішення цієї задачі є векторний метод і метод перетворення координат. Під час розв’язання

прямої задачі про положення захвату маніпулятора зазвичай використовують метод перетворення координат. З багатьох методів перетворення координат, які відрізняються один від одного правилами вибору осей локальних систем координат, для маніпуляторів зазвичай використовується метод Денавіта і Хартенберга.

Опишемо два типи матриць:

- матриці M , що визначають відношення між системами координат сусідніх ланок;
- матриці T , визначають положення і орієнтацію кожної ланки механізму в нерухомій або базовій системі координат.

Скористаємося однорідними координатами тривимірного проектного простору PR^3 , в яких рух евклідова простора R^3 можна подати лінійним перетворенням

$$\bar{r}_i = M_{ij} \cdot \bar{r}_j, \quad (2.1)$$

де M_{ij} – матриця 4×4 виду $\begin{vmatrix} U_{ij} & b \\ 000 & 1 \end{vmatrix}$.

Це перетворення еквівалентно перетворенню в евклідовому просторі $\bar{r}_i = U_{ij} \cdot \bar{r}_j + b$, де $[\bar{r}_i, \bar{r}_j] \in R^3$. Тобто перетворенню, яке містить поворот, який визначається матрицею U_{ij} розмірністю 3×3 , і паралельне перенесення, що задається вектором розмірністю 3. В однорідному просторі положення точки визначатимуть не три x, y і z , а чотири величини x', y', z' і t' , які задовольняють наступні співвідношення

$$x=x'/t', \quad y=y'/t', \quad z=z'/t'. \quad (2.2)$$

Зазвичай приймають $t'=1$. У матриці повороту U_{ij} елементами є направляючі косинуси кутів між новою віссю i та старою віссю j . Вектор

$\bar{b} = (x, y, z)$ – тривимірний вектор, що визначає положення початку нової системи координат i в старій системі j . Вибір розташування осей має відповідати задачі, яку потрібно розв'язати. При рішенні задачі про положення необхідно: в прямому завданні визначити положення вихідної ланки, як функцію переміщень в приводах, у зворотній – задане положення вихідної ланки представити як функцію переміщень в приводах. Вибір розташування і орієнтації локальних систем координат повинен забезпечувати виконання цих завдань. Під час використання методу Денавіта і Хартенберга осі координат розташовуються за наступними правилами.

Для ланки i вісь z_i спрямовується за віссю кінематичної пари, що утворюється ним з ланкою $i+1$. Початок координат розміщують в геометричному центрі цієї пари.

Вісь x_i спрямовується за загальним перпендикуляром щодо осей z_{i-1} і z_i з напрямом від z_{i-1} до z_i . Якщо осі z_{i-1} і z_i співпадають, то x_i перпендикулярна щодо них і спрямована довільно. Якщо вони перетинаються в центрі кінематичної пари, то початок координат розташовується в точці перетину, а вісь x_i спрямовується за правилом векторного добутку (найкоротший поворот осі z_i до поєднання з z_{i-1} в ході спостереження з кінця x_i має відбуватися проти годинникової стрілки). Вісь y_i спрямовується так, щоб система координат була правобічною.

У прямій задачі необхідно визначити положення захоплення маніпулятора і пов'язаної з ним системи координат M_{xnyzn} по відношенню до нерухомої або базової системи координат K_{x0y0z0} . Це здійснюється послідовними переходами з системи координат ланки i у систему координат ланки $i-1$. Згідно з прийнятим методом, кожен перехід включає послідовність чотирьох рухів: двох поворотів і двох паралельних перенесень, які здійснюються у вказаній послідовності (див. рис. 2.8):

– поворот i -ї системи навколо осі x_i на кут $-\theta_i$ до паралельності осей z_i і z_{i-1} (позитивний напрям повороту під час спостереження з кінця вектору x_i проти годинникової стрілки);

– перенесення уздовж осі x_i на величину $-a_i$ до поєднання початку системи координат O_i з точкою перетину осей x_i і z_{i-1} (відлік за віссю x_i від точки перетину осі x_i і осі z_{i-1});

– перенесення уздовж осі z_{i-1} на величину $-s_i$, після якого початок системи координат O_i виявляється на початку координат O_{i-1} системи $i-1$ (відлічується за віссю z_{i-1} від її початку координат до O_{i-1} точки її перетину з віссю x_i);

– поворот навколо осі z_{i-1} на кут $-\varphi_i$, доти, доки вісь x_i не стане паралельною щодо осі x_{i-1} (позитивний напрям повороту під час спостереження з кінця вектору z_{i-1} проти годинникової стрілки).

Необхідно відмітити, що знак кута повороту не має значення, оскільки в матрицях переходу використовуються направляючі косинуси (парні функції). Доцільно розглядати кут, що забезпечує найкоротший поворот осі старої системи i до поєднання (паралельності) з відповідною віссю нової $i-1$. Переміщення початку координат визначаються як координати початку старої системи O_i в новій O_{i-1} . В маніпуляторах зазвичай використовуються однорухливі кінематичні пари або обертальні, або поступальні. Обидві відносні рухи як обертальні, так і поступальні, реалізуються в циліндричних парах. Тому під час загального подання механізму використовуються циліндричні пари.

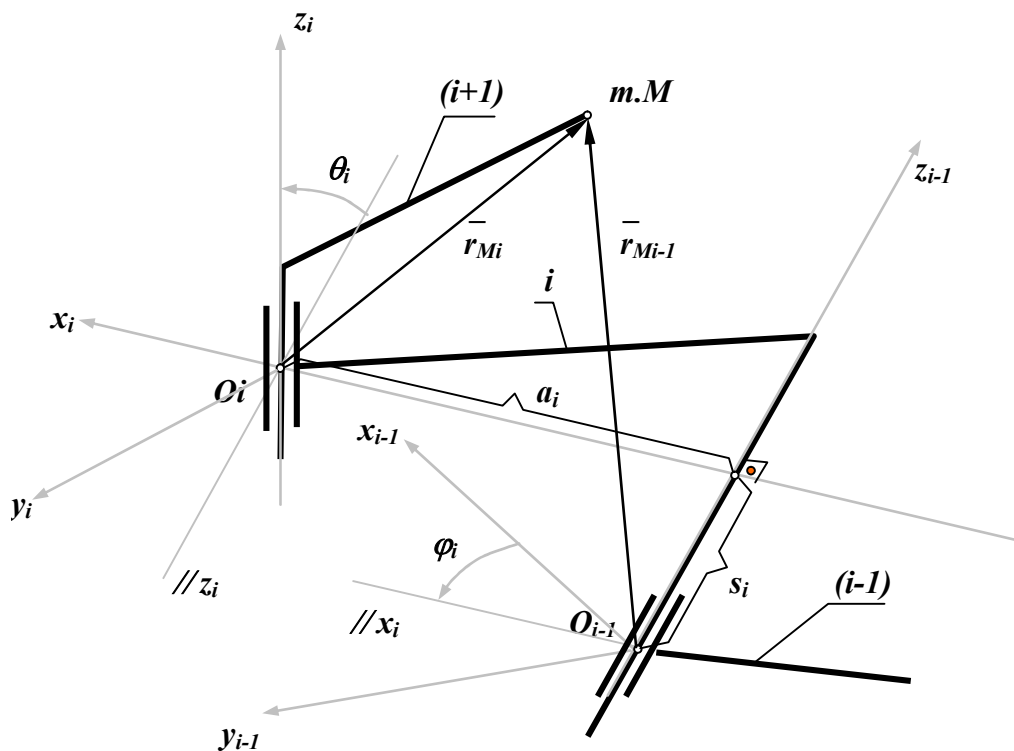


Рисунок 2.8 – Схема положення захоплення

Матриці переходу їх системи O_i в систему O_{i-1} можна записати так

$$M_i = M_i^\theta \cdot M_i^a \cdot M_i^s \cdot M_i^\varphi, \quad (2.3)$$

$$\text{де } M_i^\theta = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 \\ 0 & \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ – матриця повороту навколо осі } x_i \text{ на кут } -\theta_i,$$

$$M_i^a = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \text{ – матриця перенесення уздовж осі } x_i \text{ на } -a_i,$$

$$M_i^s = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} - \text{матриця перенесення уздовж осі } z_{i-1} \text{ на } -s_i,$$

$$M_i^\varphi = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\sin \varphi_i & 0 & 0 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} - \text{матриця повороту навколо осі } z_{i-1} \text{ на кут } -\varphi_i.$$

У цих матрицях змінні s_i і φ_i відповідають відносним переміщенням ланок в кінематичних парах і є узагальненими координатами маніпулятора, що визначають конфігурацію механізму в даному положенні. Змінні a_i і θ_i визначаються конструктивним виконанням ланок маніпулятора, в процесі руху вони залишаються незмінними.

Положення деякої довільної точки M у системі координат ланки i визначається вектором ${}^r M_i$, а в системі координат ланки $i-1$ – вектором ${}^{r-1} M_i$. Ці радіуси пов'язані між собою через матрицю перетворення координат M_i наступним рівнянням:

$${}^{r-1} M_{i-1} = M_i \cdot {}^r M_i, \quad (2.4)$$

$$\text{де } M_i = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\cos \theta_i \cdot \sin \varphi_i & \sin \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i & \cos \theta_i \cdot \cos \varphi_i & -\cos \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \sin \varphi_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} - \text{матриця переходу з } i\text{-ї}$$

системи координат в $(i-1)$ -у.

Розглянемо шестирухливий маніпулятор у початковому положенні (рис. 3.2). За початкове положення береться таке, в якому усі відносні узагальнені координати дорівнюють нулю. Перехід з системи координат будь-якої i -ї ланки до нерухомої або базової системи записується у вигляді:

$${}^{\bar{r}} M_0 = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_i \cdot {}^r M_i \text{ або } {}^{\bar{r}} M_0 = T_i \cdot {}^r M_i, \quad (2.5)$$

де $T_i = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_i$ – матриця перетворення координат i -ї системи в координати базової системи координат.

Для схеми, поданої на рис. 2.9, радіус $rM_6 = 0$, а радіус rM_0 визначиться за формулою $\bar{r}M_0 = T_n = T_6$, тобто положення вихідної ланки маніпулятора визначається матрицею T_n .

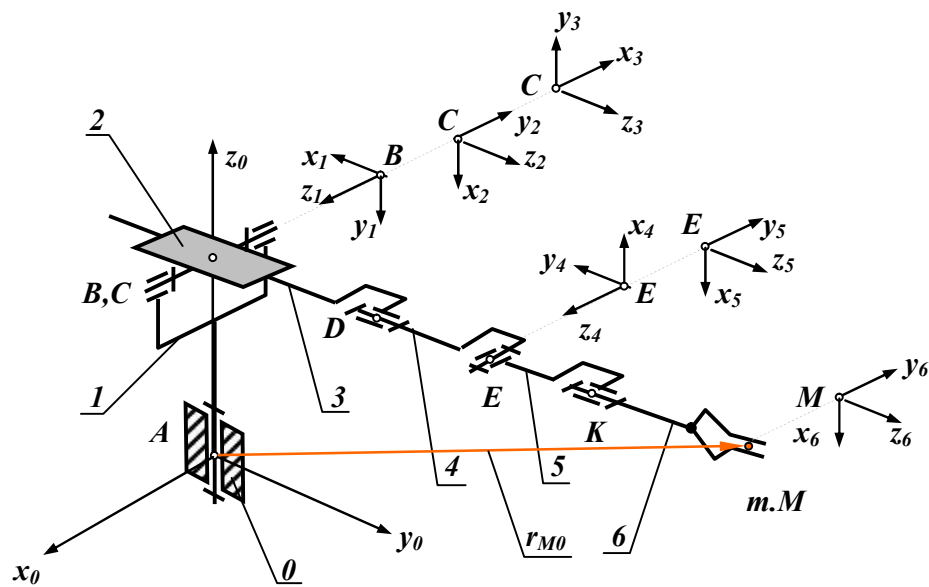


Рисунок 2.9 – Структурна схема маніпулятора

Елементи цієї матриці визначають положення центру захоплення точки M і орієнтацію його в просторі. Четвертий стовпець визначає Декартові координати точки M (проекції вектору rM_0 на осі координат). Третій стовпець містить осі z_n системи координат, яка пов'язана із захопленням, або вектором підходу \bar{A} , що направляють косинуси, який характеризує напрям губок захоплення (рис. 2.10).

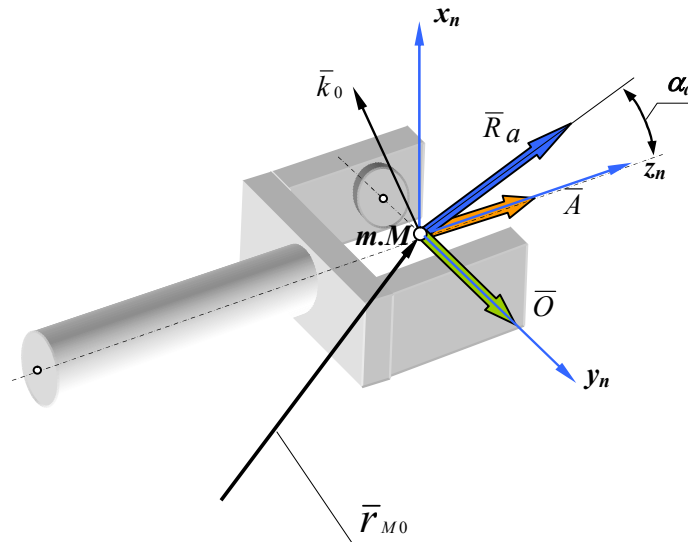


Рисунок 2.10 – Захват маніпулятора

Другий стовпець визначає напрям осі y_n або вектора орієнтації \bar{O} , який проходить через центр захоплення за віссю, яка перпендикулярна робочим поверхням його губок. У першому стовпці містяться направляючі косинуси осі x_n або вектору $(\bar{O} \times \bar{A})$. Кутом підходу захоплення α називається кут між вектором підходу і базовим вектором

$$R_\alpha = (\bar{O} \times \bar{k}_0), \quad (2.6)$$

де \bar{k}_0 – орт вектору \bar{z}_0 нерухокої або базової системи координат.

З урахуванням цього, матриця T_n може бути подана в наступному вигляді

$$T_n = \begin{vmatrix} (\bar{O} \times \bar{A})_x & O_x & A_x & r_{nMx} \\ (\bar{O} \times \bar{A})_y & O_y & A_y & r_{nMy} \\ (\bar{O} \times \bar{A})_z & O_z & A_z & r_{nMz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (2.7)$$

У результаті матричних перетворень отримаємо радіус-вектор точки M захвату у функціях узагальнених координат. Зазвичай, за узагальнені

координати приймають лінійні і кутові переміщення в кінематичних парах або на вихідних валах приводів маніпулятора. У механізмі з n рухомостями в загальному вигляді функцію положення захоплення можна записати так:

$$\bar{r}_{OM} = T_n \cdot \bar{A} = \bar{\Pi}(q_1, q_2, \dots, q_n), \quad (2.8)$$

де q_1, q_2, \dots, q_n – узагальнені координати маніпулятора.

Під час кінематичного аналізу маніпулятора в прямій задачі необхідно визначити лінійні і кутові швидкості і прискорення захвату за заданих кутових і лінійних узагальнених швидкостях і прискореннях (зазвичай відносних швидкостях і прискореннях в кінематичних парах механізму). У зворотній задачі за заданим законом зміни швидкостей і прискорень захоплення визначаються закони зміни швидкостей і прискорень в КП або на вихідних ланках приводів. Розв'язання прямої задачі кінематики для точки M захоплення можна отримати продиференціювавши четвертий стовпець матриці T_n за часом:

$$r_{nM} = \begin{vmatrix} r_{nMx} \\ r_{nMy} \\ r_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}; \quad V_{nM} = \frac{dr_{nM}}{dt} = \begin{vmatrix} V_{nMx} \\ V_{nMy} \\ V_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}; \quad a_{nM} = \frac{d^2 r_{nM}}{dt^2} = \begin{vmatrix} a_{nMx} \\ a_{nMy} \\ a_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix};$$

Кутову швидкість і кутове прискорення захоплення можна визначити векторним підсумовуванням відносних кутових швидкостей в обертальних КП механізму. Оскільки вектори кутових швидкостей, при цьому виборі орієнтації осей координат, співпадають з віссю z , то кутова швидкість захоплення

$$\bar{\omega}_n = \sum_{i=1}^m \bar{k}_{i-1} \cdot \omega_{i,i-1}, \quad (2.9)$$

де \bar{k}_{i-1} – орт осі z системи координат, розташованої в центрі КП, яка поєднує ланку i та ланку $i - 1$, m – число обертальних КП у механізмі.

Диференціюючи цей вираз за часом, отримаємо формулу для визначення кутового прискорення захоплення

$$\bar{\varepsilon}_n = \sum_{i=1}^m \bar{k}_{i-1} \cdot \varepsilon_{i,i-1} + \sum_{j=2}^m \left[\left(\sum_{k=l-1}^{m-1} \bar{k}_{k-1} \cdot \omega_k \right) \times \left(\bar{k}_{j-1} \cdot \omega_j \right) \right]. \quad (2.10)$$

2.4 Висновок до розділу 2

У цьому розділі було проведено детальний аналіз методів виробництва та розподілу стисненого повітря. Було розглянуто різні технології, їхні переваги та недоліки, а також потенційні області застосування.

Виявлено, що ефективність виробництва та розподілу стисненого повітря значною мірою залежить від вибору правильного методу. Особливу увагу слід приділити вибору обладнання, яке відповідає специфіці виробництва та вимогам безпеки.

Водночас, необхідно враховувати, що оптимальний метод може варіюватися в залежності від конкретних умов виробництва та вимог до якості стисненого повітря. Тому подальші дослідження в цій області є актуальними та необхідними.

3 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка структурної схеми

Загальна схема автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії з використанням маніпулятора з пневматичним захватом показана на рисунку 3.1.

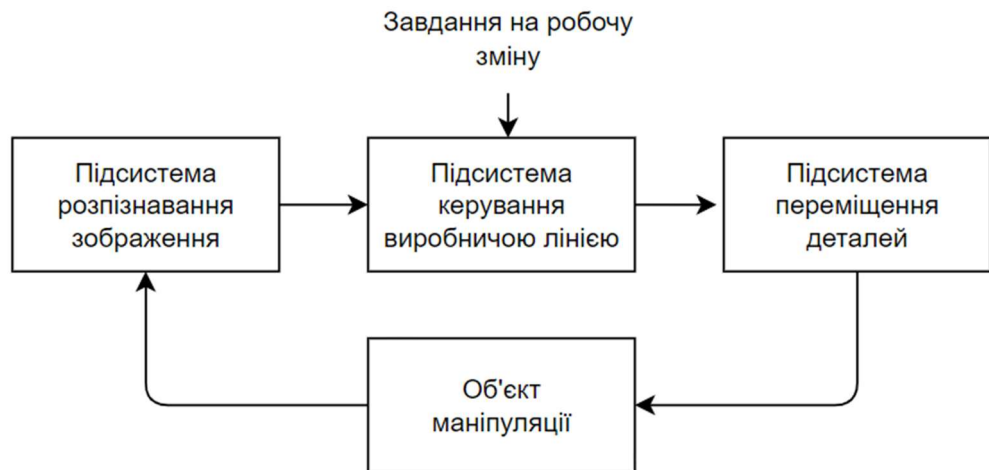


Рисунок 3.1 – Загальна схема автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії з використанням маніпулятора

Автоматизована система являє собою замкнену систему із зворотним зв'язком, що побудований на основі підсистеми комп'ютерного зору. Підсистема керування виробничою лінією отримує завдання на робочу зміну та виробляє команди для підсистеми переміщення деталей.

Підсистема переміщення деталей побудована на основі маніпулятора з пневматичним захватом.

Для орієнтації ланок маніпулятора та позиціонування робочого інструменту в місце розташування деталі на виробничому конвеєрі використовується підсистема комп'ютерного зору.

На рисунку 3.2 показана докладна схема побудови автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії.

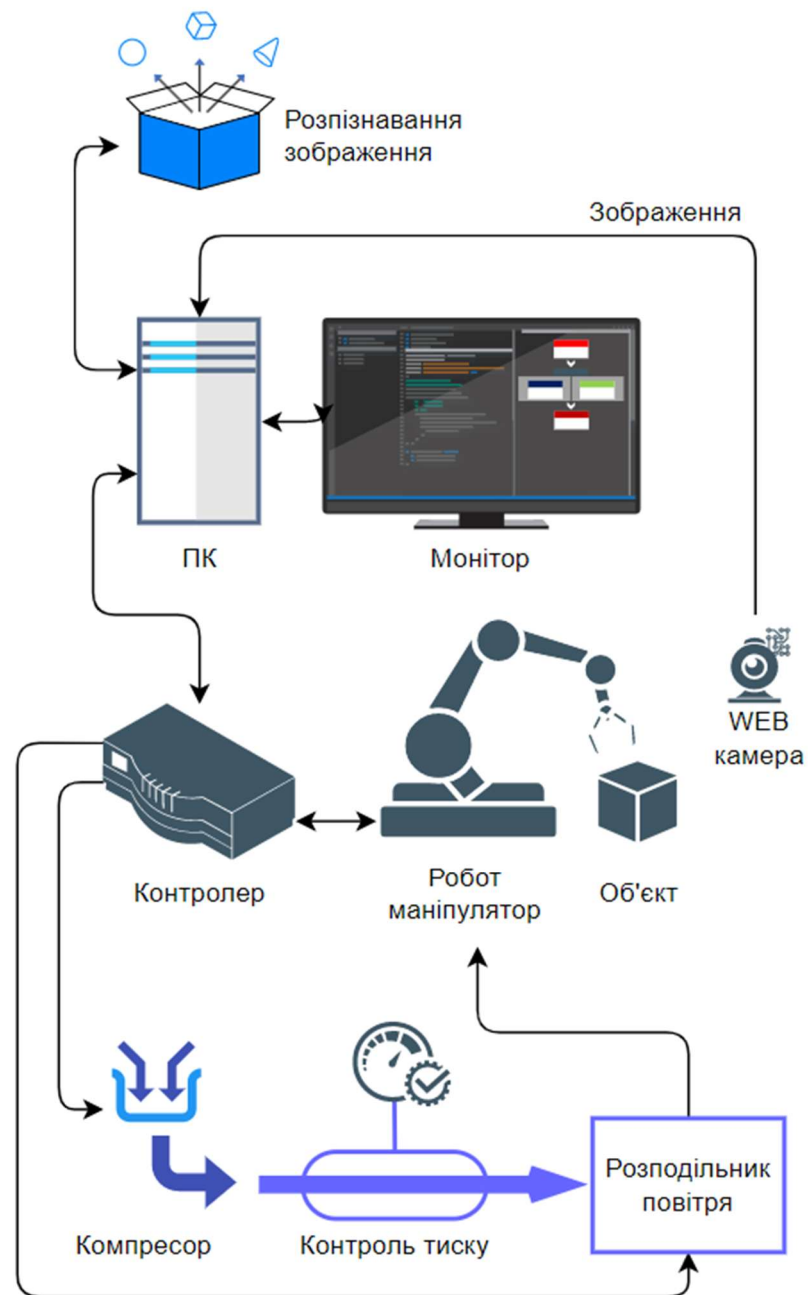


Рисунок 3.2 – Автоматизована система сортування деталей на виробничій лінії

Верхня частина схеми описує підсистему розпізнавання зображення на основі системи комп'ютерного зору. В якості модуля введення зображення використовується WEB-камера. Вона підключена до персонального

комп'ютера, на якому запущена програма аналізу зображення та виділення контурів об'єктів, що рухаються конвеєрною стрічкою.

В разі виявлення потрібної деталі програма видає тип знайденої деталі та координати її центру. Ця інформація використовується головним контролером для формування команд переміщення ланок маніпулятора.

Структурна схема модуля управління маніпулятором показана на рисунку 3.3.

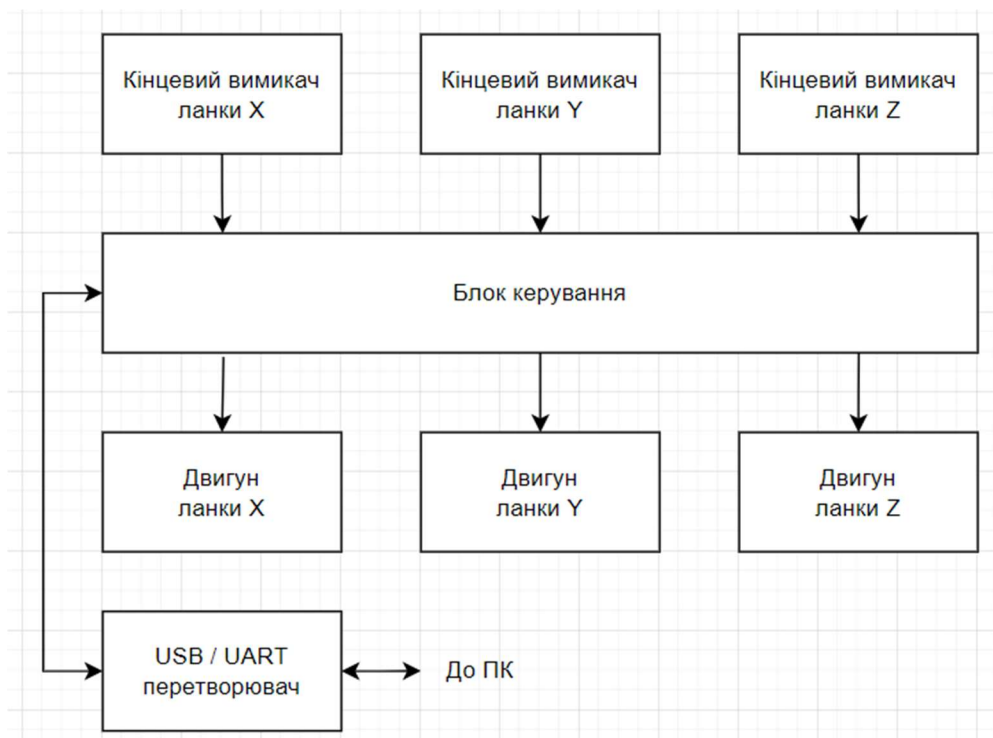


Рисунок 3.3 – Структурна схема модуля управління маніпулятором

В автоматизовані системі використовується маніпулятор трьома ступенями свободи, але може використовуватись і з більшим. Кожна ланка керується своїм кроковим двигуном:

- ланка X виконує обертальні рухи навколо своєї вісі;
- ланка Y – це середній важіль маніпулятора, що відповідає за рух вперед, відносно центру пристрою;
- ланка Z виконує рух вгору та вниз.

На рисунку 3.4 показано ескіз маніпулятора з вказаними напрямками вісей.

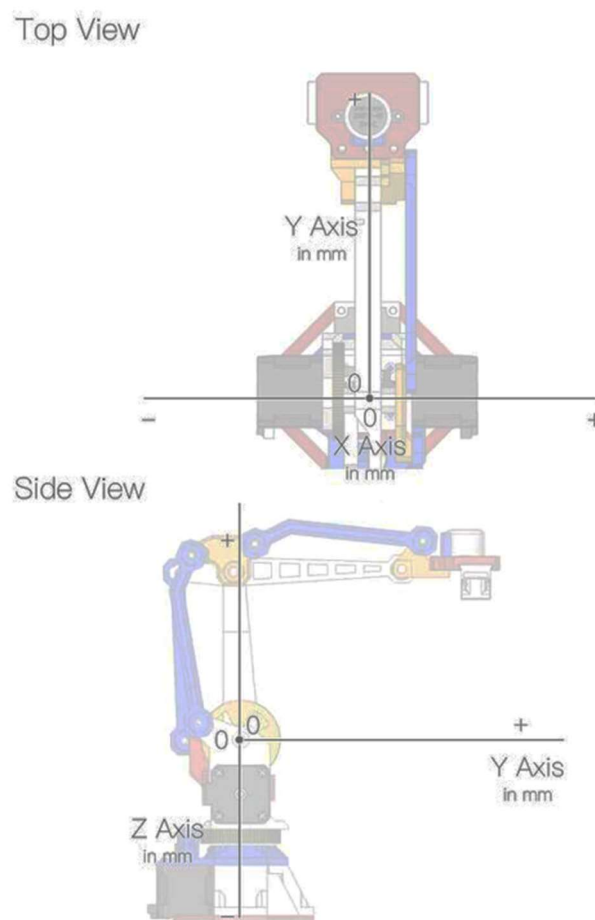


Рисунок 3.4 – Ескіз маніпулятора з вказаними напрямками вісей

Кожна ланка має кінцевий вимикач. Він використовується при початковому калібруванні та при роботі пристрою. Якщо задані координати виходять за максимально припустимі значення, програма автоматично вимикає пристрій, щоб уникнути руйнування конструктивних елементів.

Захват деталі відбувається за допомогою захвату на основі пневматичної присоски. Вона працює завдяки стислого повітря. За управління роботою захвату відповідає нижня частина схеми (рисунок 3.2).

На рисунку 3.5 показана структурна схема підсистеми пневматичного захвату деталей.



Рисунок 3.5 – Структурна схема підсистеми пневматичного захвату деталей

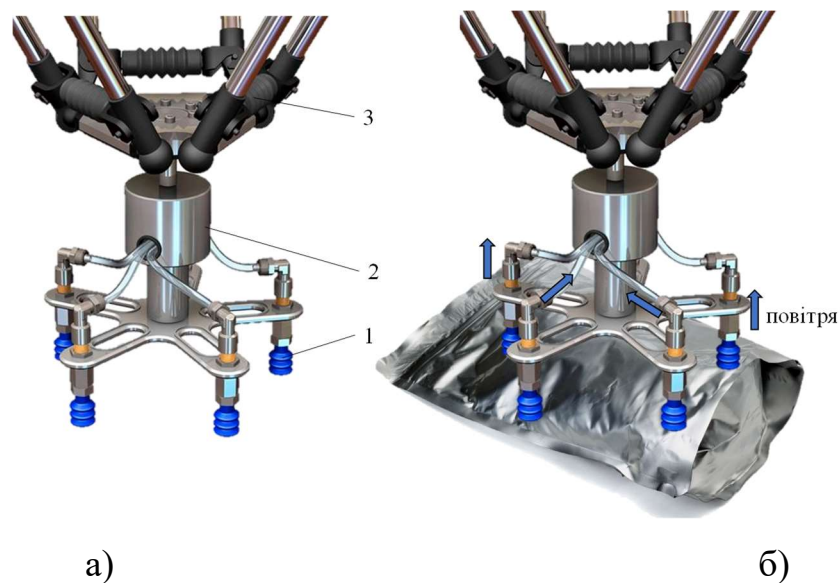
За допомогою компресора генерується стисле повітря, яке поступає в магістраль і далі на виконавці пристрої автоматизованої системи. Керування стислим повітрям відбувається завдяки спеціальному розподільнику з вбудованим реле постійного струму.

Блок керування подає команди для включення роботи пневматичного компресора через відповідне реле. Після цього стисле повітря надходить до електричного клапану. Керування клапаном також відбувається командами від блоку керування в залежності від програми, що в нього закладено.

Коли реле спрацьовує, повітря проходить через спеціальні канали вакуумного захвату та створює розряджене середовище. Завдяки цьому захват може утримувати деталі при переміщенні.

3.2 Опис принципу роботи пневматичного захвату

Розглянемо типову електропневмосистему на прикладі задачі керування функціональним технологічним модулем захоплення, який активується від кнопки та є вихідною ланкою маніпулятора триподу рисунку 3.6.



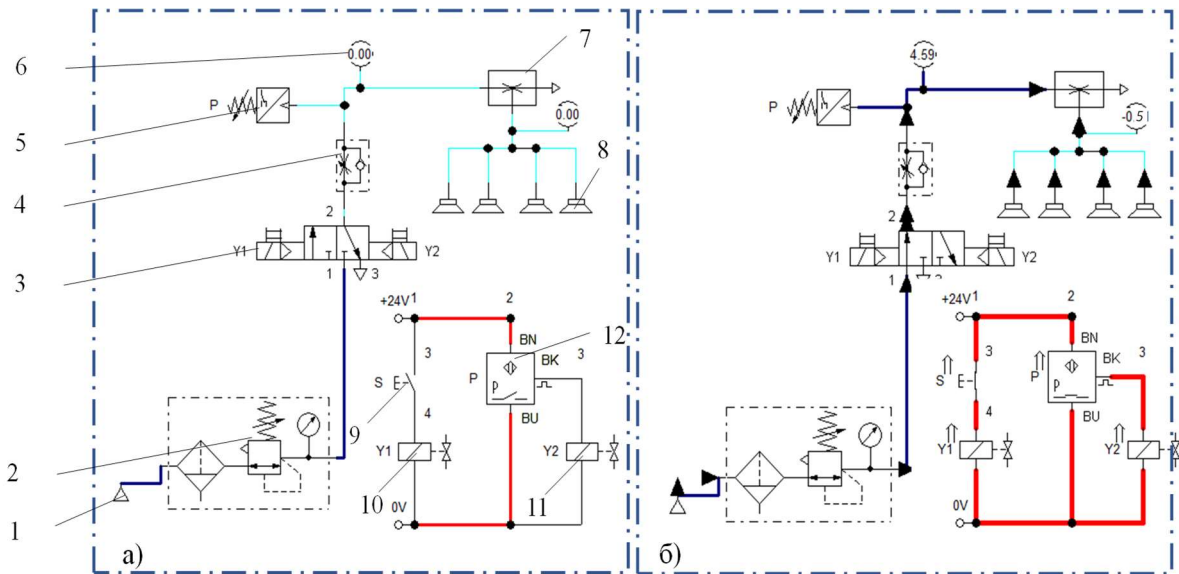
- а) неробоче положення;
 б) положення під час здійснення технологічної операції

Рисунок 3.6 – Загальний вигляд вихідного функціонального вузла

В системі робота-маніпулятора на основі трипода для здійснення операції захвату та транспортування об'єктів оброблення застосовується ежектор із вакуумними захватами (присосками).

Система передбачає декілька режимів керування (рисунок 3.7): ручний (для запуску та перевірки роботи під час налагоджувальних та ремонтних робіт); автоматичний (оброблення об'єктів відповідно до умов технологічного циклу виробництва).

За допомогою електричної кнопки (або перемикача), оператор активує роботу вакуумного захвату, попередньо налаштувавши пороговий рівень робочого тиску на вході в систему (регулятор тиску).



а) вихідне положення елементів при увімкненні живлення;

б) робоче положення елементів при активації пускової кнопки

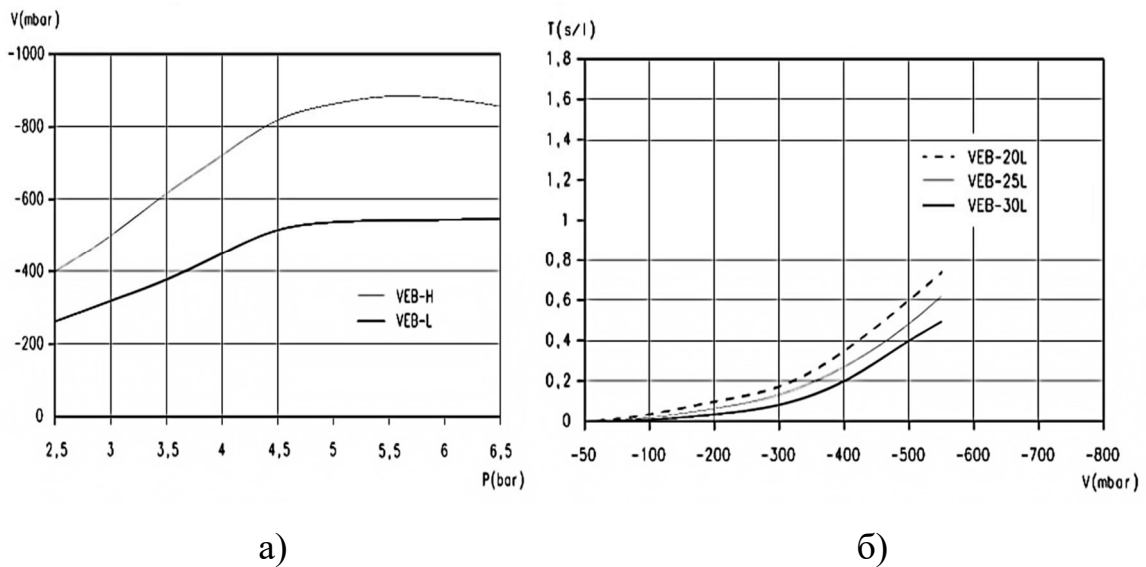
Рисунок 3.7 – Принципова електропневматична схема управління захоплювальним пристроєм в ручному режимі (тестування)

На рисунку 3.7 позначено: 1 – джерело живлення; 2 – регулятор тиску; 3 – розподільник 5/2 з електропневматичним керуванням та ручним дублюванням; 4 – ежектор; 5 – реле тиску; 6 – манометр; 7 – ежектор; 8 – присоски; 9 – S кнопка пуск; 10, 11 – ЕМР керування розподільником; 12 – реле тиску.

Реле тиску в ході досягнення потрібного тиску розрідження 0,5 бар (0,05 МПа), автоматично вимикає ежектор з спрацюванням Y2. Для зручності привод оснащений двома манометрами б: перший манометр на вході в ежектор фіксує значення магістрального тиску (надлишкового, бар); другий манометр – показує інформацію про рівень вакууму на присосках.

Максимальне зусилля захоплення, що розвивається присосками, встановлюється за допомогою регулювання надлишкового тиску на вході

в ежектор та відповідає обраним характеристикам ежектора та присосок. Цим запобігається можливе пошкодження об'єкта оброблення під час захоплення та транспортування. Наприклад, розглянемо характеристики ежектора VEB-30L (рисунок 3.8).



а) залежність максимального розрідження (вакууму) від вхідного магістрального тиску; б) час створення вакууму в одному літрі об'єму при різних глибинах вакууму

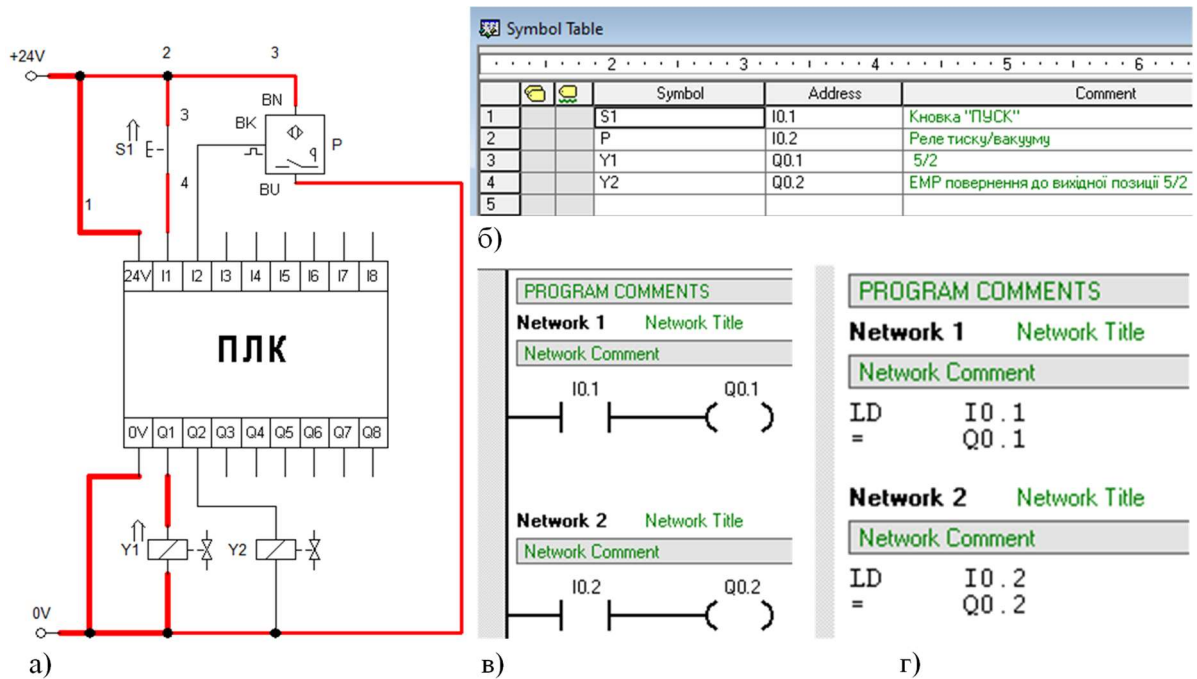
Рисунок 3.8 – Характеристики роботи ежектора VEB-30L

За наведеними емпіричними залежностями, можна визначити межі розрідження на виході із ежектора під час зміни тиску в магістралі (за допомогою регулятора тиску 2, рис. 3.7), а також порівняти швидкість (час) створення вакууму.

Таким чином, у ході створення магістрального тиску на вході в ежектор 4,59 бар, отримаємо розрідження – 500 мбар; за умови створення вакууму -0,4 с/л.

В разі необхідності вирішити дану задачу із застосуванням ПЛК, пневматична схема не зміниться. На рис. 3.9 подано електричну схему

підключення елементів керування до ПЛК та програму керування на базі ПЛК -SIMATIC S7-200/-SIMATIC S7-1200.



- а) електрична схема під'єднання основних електричних компонентів схеми;
- б) символна таблиця для формування опису окремих елементів та коментарів їхньої роботи; в) код програми в мові LAD; г) код програми в мові STL

Рисунок 3.9 – Результати розробки керуючої системи на базі ПЛК

У цьому розділі було розроблено структурну схему проекту. Схема допомагає визначити основні компоненти системи та їх взаємозв'язки. Це включає в себе ідентифікацію основних блоків, модулів або функцій, а також визначення взаємодії між ними. Розробка структурної схеми є важливим етапом у процесі проектування, оскільки вона встановлює основу для подальшого деталізації та реалізації системи. Завдяки цьому розділу, ми маємо чітке розуміння структури та функціонування проекту.

3.3 Висновок до розділу 3

У цьому розділі було розроблено структурну схему системи автоматизації процесу сортування деталей. Схема включає в себе основні компоненти системи, такі як маніпулятор, пневматичний захват, датчики та контролер. Кожен з цих елементів відіграє важливу роль у функціонуванні системи.

Маніпулятор використовується для переміщення деталей, а пневматичний захват - для їх захоплення та відпускання. Датчики забезпечують зворотний зв'язок про стан деталей та системи в цілому, а контролер керує всіма процесами.

Розроблена схема є ефективним рішенням для автоматизації процесу сортування деталей, що дозволяє збільшити продуктивність та знизити витрати на працю. Водночас, вона вимагає подальшого тестування та оптимізації для досягнення максимальної ефективності.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Вибір компонентів для побудови макету автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії

4.1.1 Вибір роботизованого маніпулятора

В якості робота маніпулятора обрано макет промислового робота, що використовується на лабораторних роботах кафедри КІТАР [30]. Зовнішній вигляд маніпулятора показано на рисунку 4.1.

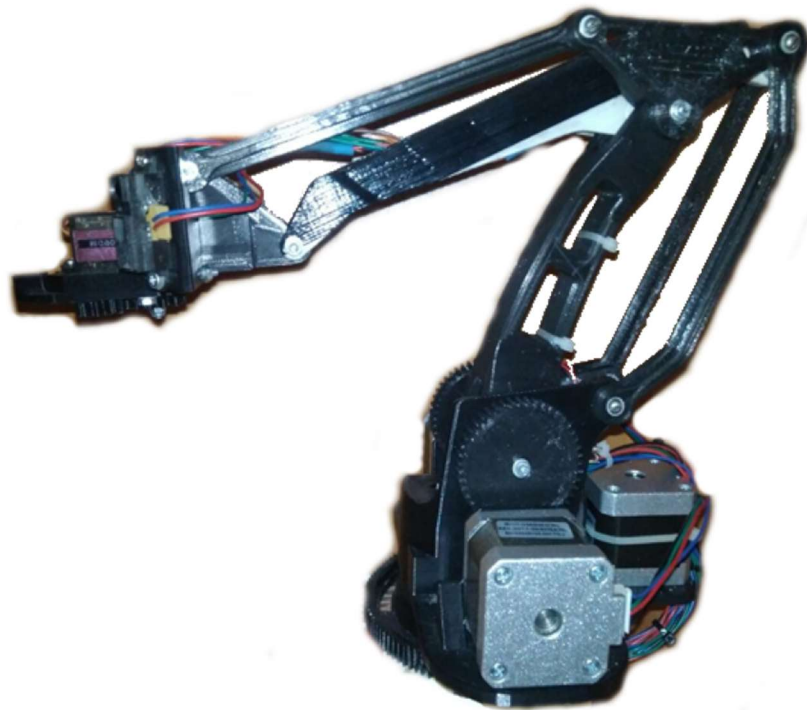


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд макету маніпулятора

Обраний пристрій має три ступені рухливості. В залежності від програми керування, положення робочого органу в просторі може бути описано або задано у будь-який момент часу за допомогою трьох незалежних координат x , y , z . Лінійне переміщення вздовж осі y та переміщення по висоті вздовж осі z здійснюється за допомогою важелів маніпулятора. Вісь x

реалізована у вигляді поворотного механізму. Обрана конструкція маніпулятора дає змогу йому орієнтуватися у тривимірному просторі.

Системи керування маніпулятором забезпечуються рухом виконавчого органу по певному просторовому шляху, контролюючи рух окремих одиниць маніпулятора. Кожне посилення обладнано електричним приводом та датчиками керування переміщенням. Завдання для руху посилення здійснюється з пристрою керування програмним забезпеченням.

На рисунку 4.2 показана функціональна схема системи керування рухом маніпулятора з трьома кроковими двигунами, в якому виділяються лише локальні координати. Вхідні сигнали q_{13} , q_{23} , q_{33} подаються на блоки управління БУ1 ... БУ3 [11].

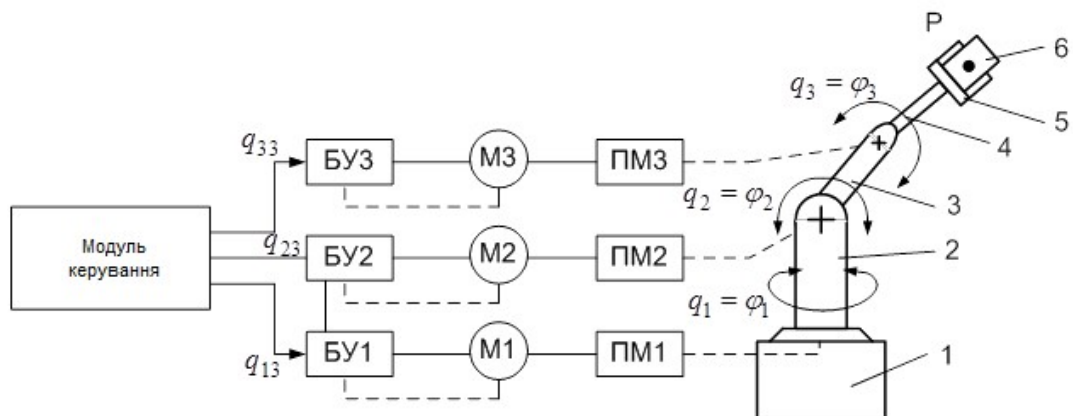


Рисунок 4.2 – Функціональна схема системи керування рухом маніпулятора з трьома кроковими двигунами

Механізми передачі ПМ1 ... ПМZ забезпечують реалізацію необхідного типу рухів (лінійних або кутових) ланок. Цей рух визначається узагальненими координатами q_1 , q_2 , q_3 . Датчики положення можуть бути встановлені на електродвигуни та ланки маніпулятора. У маніпуляторі на фіксованій базі 1 встановлюється колонка 2, яка виконує кутовий рух φ_1 навколо вертикальної осі, а ланки 3 та 4 виконують кутовий рух φ_2 і φ_3 навколо осей, перпендикулярних до площини поверхні. Узагальнена матрична структурна система управління показана на рисунку 4.3.

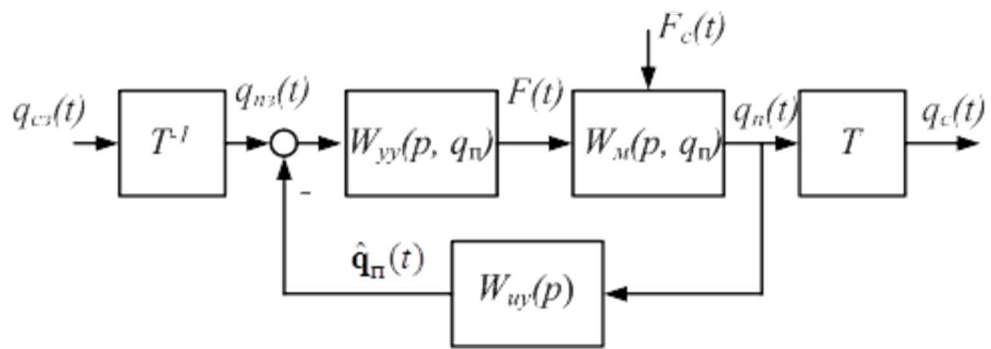


Рисунок 4.3 – Узагальнена матрична структурна система управління

Програмування траєкторії руху захвату 5 з навантаженням 6 виконується у системі фіксованої базової координат. Вектор узагальненого зчеплення, як функція процесу $q_c(t)$, утворюється вектор узагальнених координат ланок маніпулятора, який у жорсткій механічній системі є вектором узагальнених координат приводів $q_n(t)$. Вектори $q_c(T)$ та $q_n(t)$ пов'язані один з одним, відображенням перетворення координат T , вміст якого встановлюється з рішення прямої задачі кінематики маніпулятора. Пристрій керування програмним забезпеченням генерує вектор упорядкованих узагальнених координат приводу $q_{nz}(T)$, які пов'язані з вектором узагальнених координат захвату маніпулятора $q_{cz}(T)$ шляхом зворотного відображення перетворення координати T^{-1} . Вміст T^{-1} встановлюється із рішення зворотної задачі кінематики маніпулятора.

У загальному випадку динамічні властивості маніпулятора характеризуються матрицею $W_m(p, q_n)$, згідно з якою виконується синтез матриці контрольних пристроїв $W_{yy}(p, q_n)$. В узагальненій матричній структурній схемі системи керування зчепленням маніпулятора $F(t)$, $F_c(T)$ – вектори сил, що застосовуються до зв'язків маніпулятора та опору; $q_n(t)$ – вимірні векторні значення узагальнених координат приводів; $W_{yy}(p, q_n)$ – матриця інформаційних пристроїв. На додаток до основних зворотних зв'язків щодо узагальнених координат приводів, система може мати зворотний зв'язок

про проміжні координати, зроблені відповідно до принципів підпорядкованого управління.

4.1.2 Вибір компресору стисненого повітря

В якості компресору стисненого повітря обрано мембранний насос ARC145 (рисунок 4.4) [31].



Рисунок 4.4 – Мембранний насос ARC145

Даний пристрій призначений для перекачування рідини, але також може створювати стисле повітря в невеликих обсягах. Орієнтовна потужність становить 100 кПа, що достатньо для вирішення поставленої задачі.

В пристрої використовується двигун постійного струму напругою живлення 12 В. Мінімальна напруга, при якому насос починає працювати становить 6-7 В.

Підключення компресору до контролера Arduino відбувається за наступною схемою (рисунок 4.5).

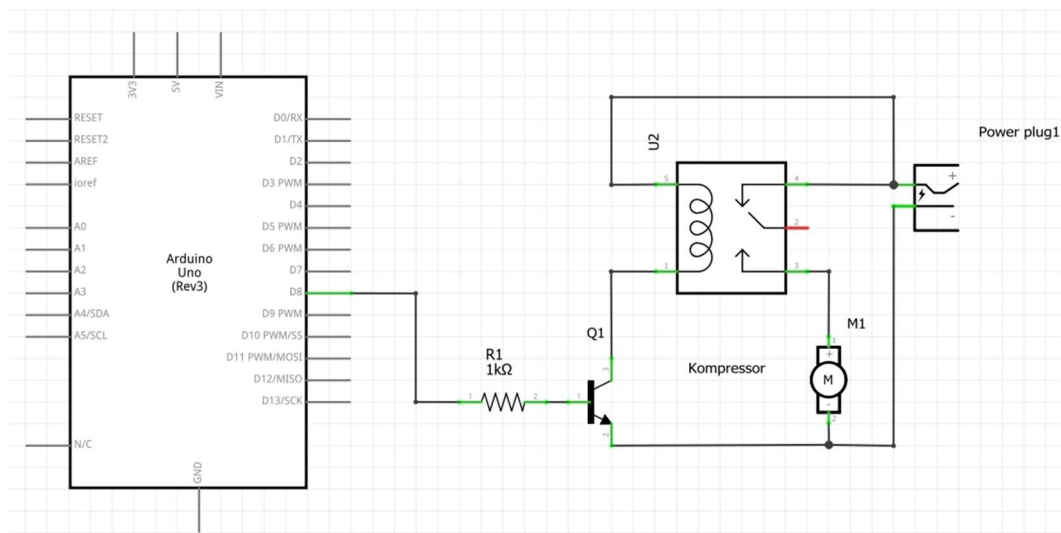


Рисунок 4.5 – Схема підключення компресору

Схема розроблена в програмі Fritzing. На рисунку 4.6 показана монтажна схема.

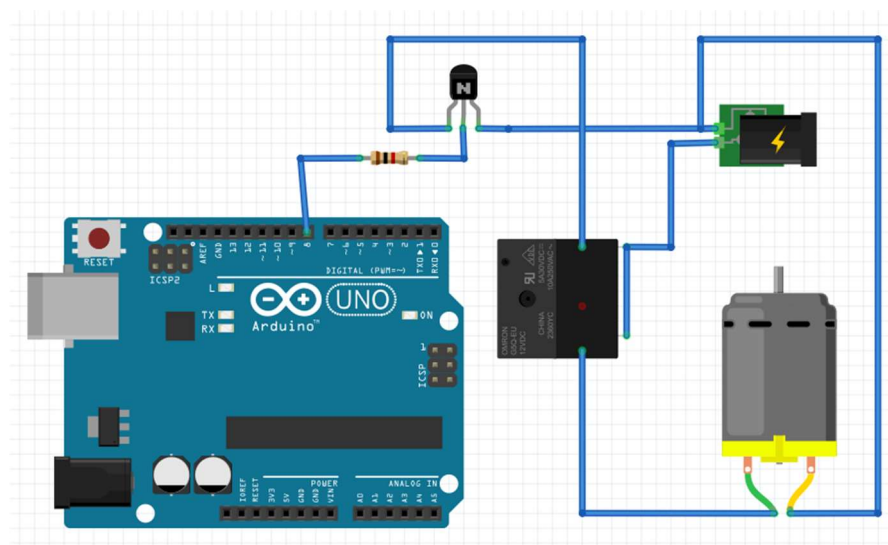


Рисунок 4.6 – монтажна схема включення компресору

На рисунку 4.7 показана зібрана частина макету, що відповідає за виробництво та розподіл стисненого повітря.

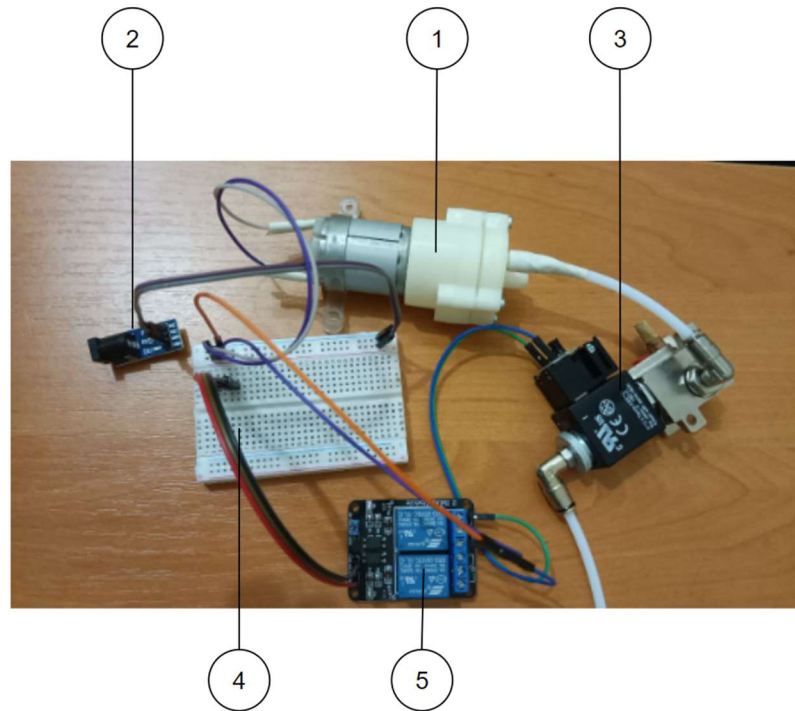


Рисунок 4.7 – Зібрана частина макету, що відповідає за виробництво та розподіл стисненого повітря

На рисунку 4.7 представлені такі компоненти макету:

- мембранний компресор (1);
- роз’єм для підключення напруги живлення 12В (2);
- електропневматичний розподільник з реле (3);
- макетна плата (4);
- реле включення компресору (5).

4.1.3 Електропневматичний розподільник прямої дії Серії А.

Зовнішній вигляд електропневматичного розподільника показано на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд електропневматичного розподільника серії А

В нашому макеті використовується лише одна секція з набору. Електропневматичні розподільники прямої дії серії А можуть працювати на повітрі як з розпилим мастилом, так і без [32]. Вони постачаються 2/2 і 3/2 лін./поз. нормально закриті (Н.З.) або нормально відкриті (Н.В.). Також вони можуть мати різноманітне виконання корпусу – з різьбовими отворами для підключення трубопроводів і приточного виконання – для найбільш повного охоплення всіх випадків застосування.

Електромагніт (соленоїд) виконаний у вигляді окремої котушки, яка може бути легко демонтована без застосування інструментів і без пневматичного відключення клапану. Дана серія може використовуватися із різними типами котушок, які повністю взаємозамінні з точки зору монтажу. Вибір кожної окремої котушки визначає споживання електроенергії і комутований тиск.

Розподільники для групового монтажу з приєднанням G1/8 для магістрального тиску, виходом M5 або цанговим з'єднанням \varnothing 4 мм. Клапани забезпечені ручним дублюванням із захистом від випадкового включення.

Можуть бути моно- і бістабільні. Постачаються з круглим ущільнюючим кільцем і гвинтами.

На рисунку 4.9 показано креслення монтажної частини електропневматичного розподільника.

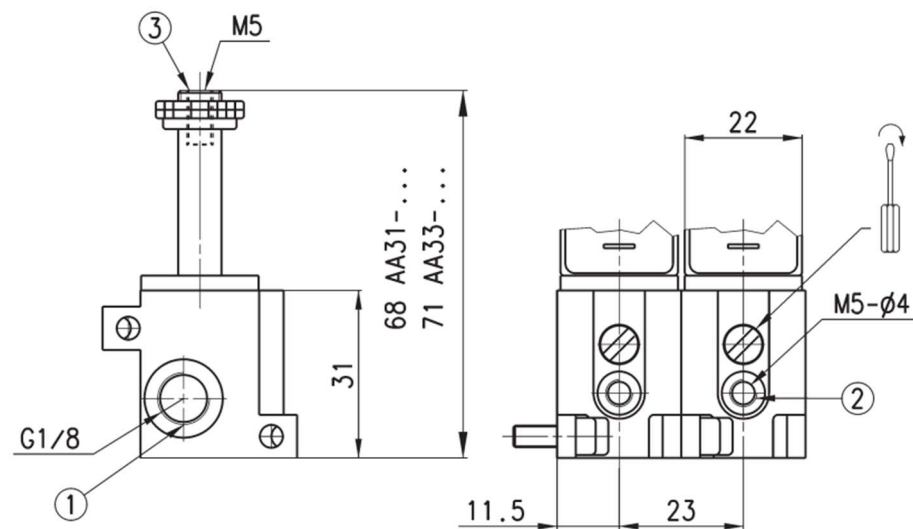


Рисунок 4.9 – Креслення монтажної частини електропневматичного розподільника

Умовне графічне зображення електропневматичного розподільника показано на рисунку 4.10.



Рисунок 4.10 – Умовне графічне зображення електропневматичного розподільника

Підключення живлення до реле електропневматичного розподільника відбувається за допомогою спеціального роз'єму та кабелю (рисунок 4.11).

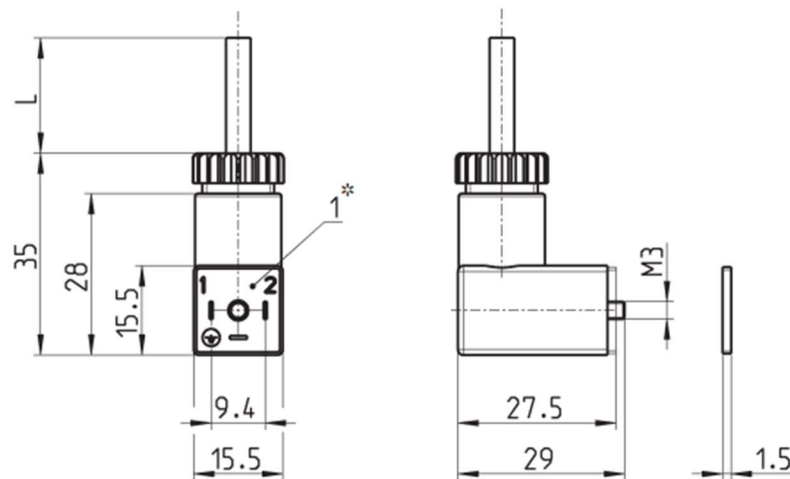


Рисунок 4.11 – Роз'єм та кабель для підключення до реле

Кабель із роз'ємом моделі 125 (промисловий стандартний роз'єм С мікро) використовують відстань між контактами 9,4 мм. Розподільники Серії Р призначені для роботи на постійному струмі (DC). Для живлення цих клапанів змінним струмом (AC) того ж напруги, необхідно замовити роз'єм з вбудованим перетворювачем напруги мод. 125-900.

4.1.4 Вибір вакуумної присоски для сортування деталей

Сильфонні вакуумні присоски виготовляються із гуми NBR та силікону [33]. Сильфонна модель забезпечує м'який контакт із виробом та компенсацію висоти опускання присоски щодо об'єкта захоплення в межах робочого ходу гофри. Діаметри від 5 до 52 мм, із зовнішнім та внутрішнім різьбленням M5, G1/8, G1/4.

Жорсткі зносостійкі присоски складаються безпосередньо з присоски (2,5 гофри) та сполучного ніпеля (рисунок 4.12). Теоретичне значення сили відриву в умовах вакууму -0,6 бар, при використанні об'єктів із сухою та гладкою робочою поверхнею без урахування коефіцієнта запасу.



Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд вакуумної присоски

Сильфонні вакуумні присоски (2,5 гофри) Серії VTCN складаються з ніпелю та гумової частини. Різи нові частини можуть поставлятися окремо без ніпелів. Матеріали: NBR, силікон. (рисунок 4.13).

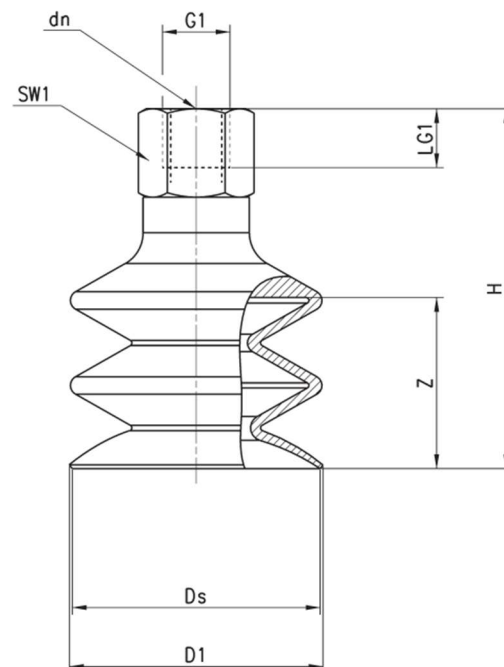


Рисунок 4.13 – Габаритне креслення вакуумної присоски

Застосування вакуумної присоски:

- захоплення непоганих деталей, таких як панелі кузовів автомобілів, труб і тощо;
- захоплення крихких деталей, таких як електронні компоненти, литі деталі та ін.;
- захоплення деталей зі звареними швами;
- захоплення деталей із високою температурою (з силіконовою присоскою).

Приклад кріплення вакуумного захвату до маніпулятора показано на рисунку 4.14.

На рисунку показані такі компоненти макету:

- вакуумна присоска (1);
- серводвигун захвату (2);
- датчики інтелектуальної системи уникнення перешкод та детектування деталі (3);
- трубка подачі стислого повітря (4).

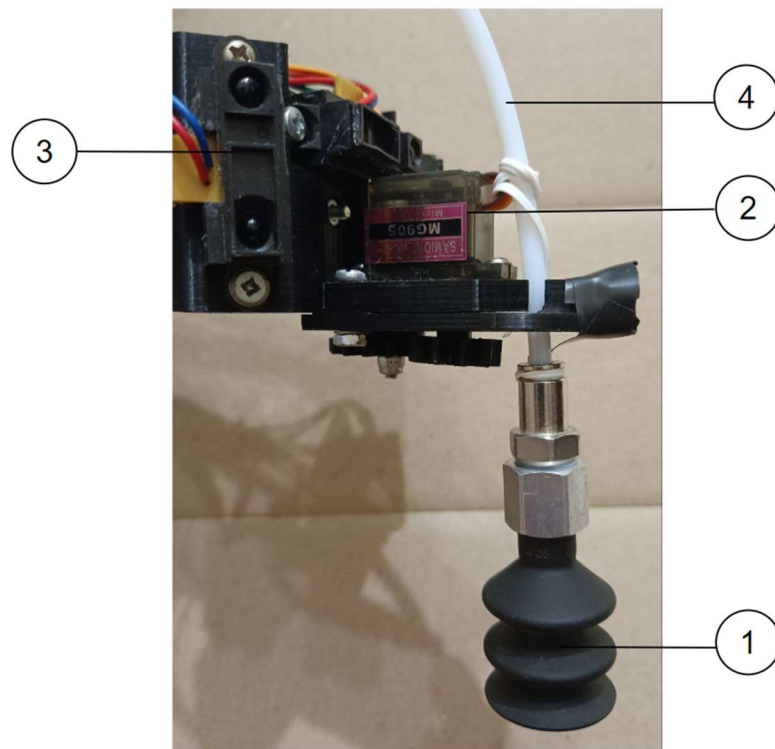


Рисунок 4.14 – Приклад кріплення вакуумного захвату до маніпулятора

4.1.5 Опис конструкції макету

На рисунку 4.15 показано загальний вигляд зібраного макету автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії.

До складу макету входять наступні компоненти:

- макет промислового маніпулятора (1);
- вакуумний захват у вигляді присоски (2);
- деталь (3);
- макетна монтажна плата (4);
- блок керування макетом (5);
- реле компресору (6);
- компресор (7);
- електропневматичний розподільник (8).

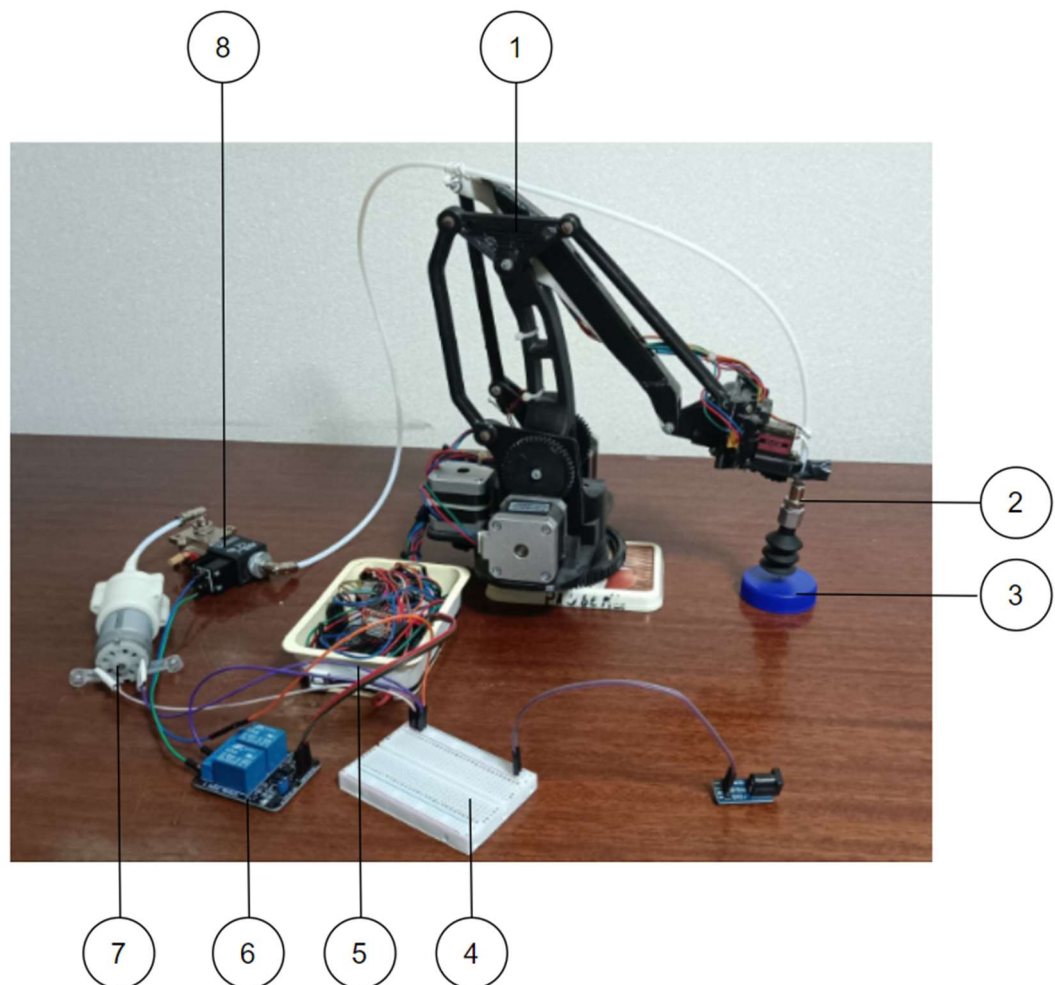


Рисунок 4.15 – Загальний вигляд зібраного макету автоматизованої системи сортування деталей на виробничій лінії

Блок керування макетом виготовлено на основі плати Arduino Uno із застосуванням трьох драйверів крокового двигуна типу A4988 з радіатором охолодження.

4.2 Розробка програми для розпізнавання форми деталей на виробничому конвеєрі

Для розробки програми розпізнавання форми деталей на виробничому конвеєрі обрано мову програмування Python. В якості бібліотеки розпізнавання зображень використовується OpenCV [34].

Для розпізнавання форми деталей з використанням вебкамери та визначення центру деталі на фоні сірого кольору можна використовувати OpenCV та бібліотеку numpy. У наведеному нижче прикладі програми деталі розпізнаються за формою (трикутник, чотирикутник або коло), а також виводиться їхній центр.

На початку роботи необхідно ініціалізувати веб камеру для отримання відеозображення. Код, що було створено, використовує вебкамеру для зчитування кадрів та відображення результатів розпізнавання форми деталей. Фрагмент головного циклу програми показано на рисунку 4.16.

```

# Відкриття вебкамери
cap = cv2.VideoCapture(0)

while True:
    # Зчитування кадру з вебкамери
    ret, frame = cap.read()

    # Виклик функції для розпізнавання форми та виведення центру
    recognize_shape(frame)

    # Відображення зображення
    cv2.imshow("Shape Recognition", frame)

    # Виход з програми при натисканні клавіші 'q'
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break

# Звільнення відкритої вебкамери та закриття вікон
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Рисунок 4.16 – Фрагмент головного циклу програми

Підключення веб камери відбувається наступним чином:

```
cap = cv2.VideoCapture(0).
```

В даному прикладі відкривається відеопотік з вебкамери з ідентифікатором 0. Якщо використовується декілька камер або інші джерела відео, потрібно змінити цей ідентифікатор.

Далі створюємо нескінченний цикл для зчитування та відображення кадрів:

```
while True:
    ret, frame = cap.read().
```

У цьому циклі кадри зчитуються з вебкамери та зберігаються у змінній frame.

Виклик функції для розпізнавання форми та виведення має наступний вигляд:

```
recognize_shape(frame).
```

Для кожного кадру викликається функція `recognize_shape`, яка відповідає за розпізнавання форми та визначення центру деталі на кадрі.

Далі відбувається відображення зображення:

```
cv2.imshow("Shape Recognition", frame).
```

Зображення з результатами виводиться на екрані за допомогою функції `cv2.imshow`. Вихід з програми при натисканні клавіші 'q':

```
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):  
    break.
```

На рисунку 4.17 наведено початок функції розпізнавання форми деталей на конвеєрі.

```
def recognize_shape(img):  
    # Перетворення зображення у відтінки сірого  
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)  
  
    # Виділення синього кольору  
    lower_blue = np.array([100, 0, 0])  
    upper_blue = np.array([255, 70, 70])  
    mask = cv2.inRange(img, lower_blue, upper_blue)  
  
    # Знаходження контурів на зображенні  
    _, threshold = cv2.threshold(mask, 240, 255, cv2.THRESH_BINARY)  
    contours, _ = cv2.findContours(threshold, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
```

Рисунок 4.17 – початок функції розпізнавання форми деталей на конвеєрі

На початку роботи відбувається перетворення отриманого зображення у відтінки сірого:

```
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY).
```

Зображення перетворюється у відтінки сірого за допомогою функції `cv2.cvtColor`. Для тестування програми прийнята умова, що деталі, які необхідно сортувати, повинні мати синій колір. Виділення синього кольору виконується за допомогою маски:

```
lower_blue = np.array([100, 0, 0])
upper_blue = np.array([255, 70, 70])
mask = cv2.inRange(img, lower_blue, upper_blue)
```

Створюється маска, яка виділяє області синього кольору на зображенні. `cv2.inRange` визначає пікселі, які входять у вказаний діапазон кольорів.

Знаходження контурів на зображенні відбувається наступним чином:

```
_, threshold = cv2.threshold(mask, 240, 255, cv2.THRESH_BINARY)
contours, _ = cv2.findContours(threshold, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
```

Зображення маски проходить через порогову функцію, і потім використовується функція `cv2.findContours`, щоб знайти контури областей, які перевищують поріг.

На рисунку 4.18 наведено приклад функції для розпізнавання форми деталі.

```

for contour in contours:
    # Інтерполяція контуру для знаходження апроксимації
    epsilon = 0.02 * cv2.arcLength(contour, True)
    approx = cv2.approxPolyDP(contour, epsilon, True)

    # Знаходження центру масиву точок
    M = cv2.moments(contour)
    if M["m00"] != 0:
        cx = int(M["m10"] / M["m00"])
        cy = int(M["m01"] / M["m00"])

        # Визначення форми
        if len(approx) == 3:
            shape = "Triangle"
        elif len(approx) == 4:
            shape = "Rectangle"
        else:
            shape = "Circle"

    # Виведення форми та центру на зображенні
    cv2.drawContours(img, [approx], 0, (0, 255, 0), 2)
    cv2.putText(img, shape, (cx - 20, cy - 20), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 2)
    cv2.circle(img, (cx, cy), 5, (0, 0, 255), -1)

```

Рисунок 4.18 – Приклад функції для розпізнавання форми деталі.

В результаті роботи даного фрагменту коду отримуємо ознаку форми деталі (трикутник, прямокутник або коло) та визначені координати центру деталі. Координати необхідні для позиціонування робочого інструменту маніпулятора з вакуумною присоскою.

На рисунку 4.19 показано приклад роботи програми розпізнавання форми деталі. В даному випадку визначено, що форма деталі – коло.

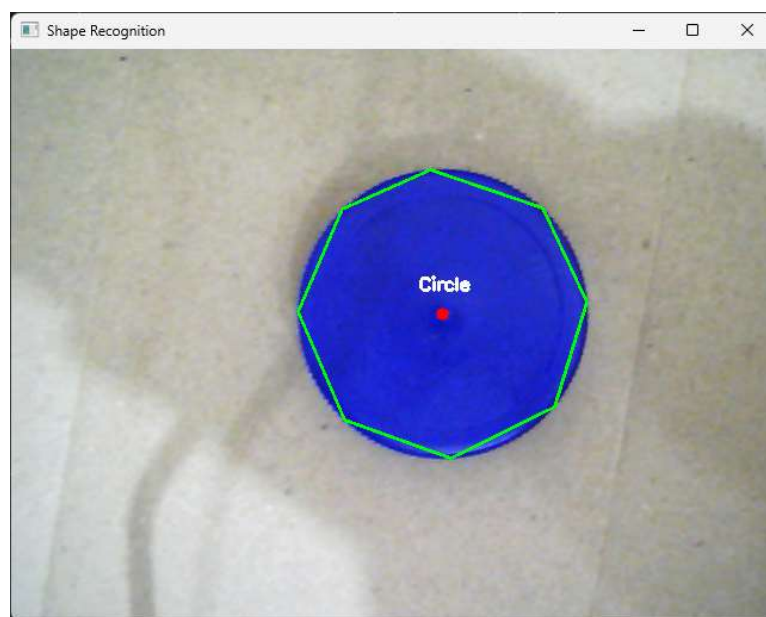


Рисунок 4.19 – Визначення деталі у формі кола

На рисунку 4.20 показано визначення форми роз'єму.

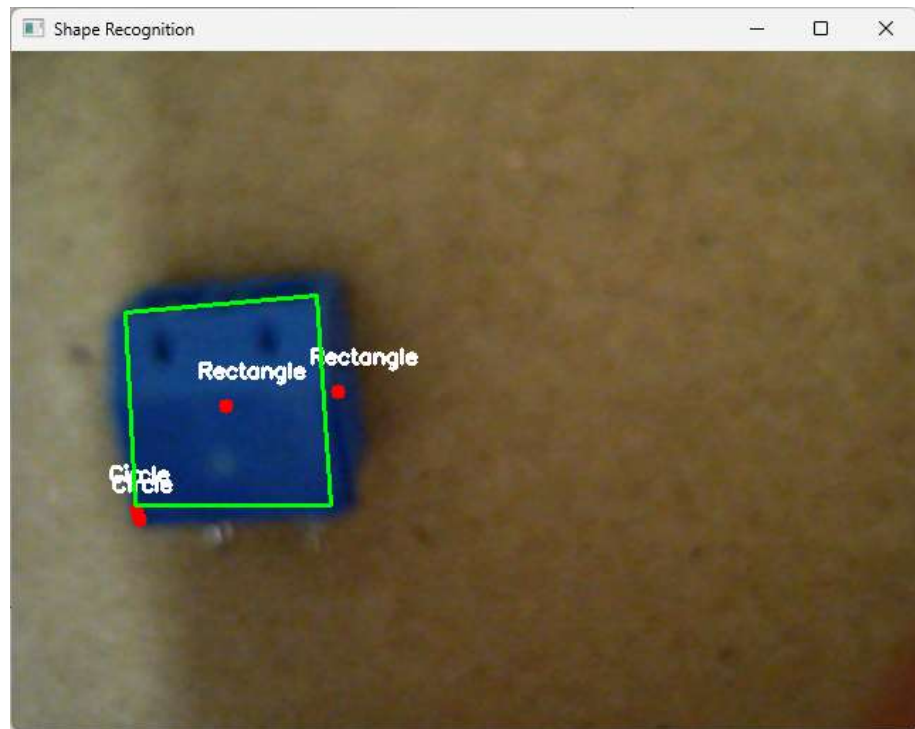


Рисунок 4.20 – Визначення форми роз'єму

Дана деталь має форму прямокутника. Як видно з рисунку 4.20, розроблена програма правильно визначила форму деталі.

Таким чином, проведені експериментальні дослідження показали правильність роботи розробленої програми. Однак, в процесі дослідження виявлені недоліки розробленого макету. Одним з основних недоліків є недостатність та неповторність параметрів освітлення. Це призводить до неможливості використання заздалегідь підібраних параметрів фільтру в програмі. Потрібно на початку кожного експерименту проводити калібрування заново.

4.3 Висновок до розділу 4

У ході експериментальних досліджень було встановлено, що автоматизація процесу сортування деталей за допомогою маніпулятора з пневматичним захватом значно підвищує продуктивність та ефективність процесу. Використання пневматичного захвату дозволяє забезпечити надійне

та стабільне захоплення деталей різних форм та розмірів. Експериментальні дані підтвердили теоретичні розрахунки та показали високу точність та повторюваність процесу сортування. Таким чином, можна зробити висновок про високу ефективність запропонованої системи автоматизації. Завдяки цьому, система може бути рекомендована для впровадження на виробничих лініях підприємств.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання аналізу літератури за темою атестаційної роботи розглянуті загальні принципи та методи сортування деталей на виробничій лінії. Наведена блок-схема системи обробки цифрових зображень, та описані критерії їх обробки та основні ознаки.

Проведено аналіз аналогічних рішень та розглянута структурна схема автоматизованої системи сортування деталей на базі контролера Arduino. Також в якості аналогу розглянуто принцип роботи автоматизованого виробничого модуля розподілу деталей фірми FESTO.

Проведено аналіз пневматичної схеми станції розподілу деталей, показані основні пневматичні вузли виробничої лінії. орано компоненті для побудови макету автоматизованої системи сортування деталей на виробничому конвеєрі.

На основі отриманих знань в наступних розділах виконано проектування автоматизованої системи сортування деталей; виконано розробку алгоритму визначення форми деталей та системи комп'ютерного зору та розроблено програму для автоматизованого розпізнавання деталей на промисловому конвеєрі.

Проведені експериментальні дослідження для підтвердження правильності теоретичних рішень.

Експериментальні дослідження показали правильність роботи розробленої програми. Однак, в процесі дослідження виявлені недоліки розробленого макету. Одним з основних недоліків є недостатність та неповторність параметрів освітлення. Це призводить до неможливості використання заздалегідь підібраних параметрів фільтру в програмі. Потрібно на початку кожного експерименту проводити калібрування заново.

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. Невлюдов І. Ш., Артюх Р. В., Безкоровайний В. В., Демська Н. П., Євсєєв В. В., Филипенко О. І., Цимбал О. М. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи». – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.
3. Невлюдов І. Ш., Олександров Ю. М., Андрусевич А. О., Чала О. О. Основи наукових досліджень: Навч. посібник. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 396 с.
4. Положення про кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 06 травня 2021 р. № 143. – Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi -universitetu.pdf
5. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Филипенко О. І., Демська Н. П., Новоселов С. П. Технічні засоби автоматизації: Підручник. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
6. Sheth S., Kher R., Dudhat P. “Automatic Sorting System Using Machine vision”. In: Multi Disciplinary International Symposium on Control, Automation & Robotics, 2010.
7. Kunhimohammed C., Muhammed Saifudeen K., Sahna S., Gokul M., Abdulla S. U. “Automated Color Sorting Machine Using TCS230 Colour Sensor

and PIC Microcontroller”, International Journal of Research and Innovations in Science & Technology, vol. 2, no. 2, 2015.

8. Kumar K., Kayalvizhi S. “Real Time Industrial Colour Shape and Size Detection System Using Single Board”, International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETRJ, vol. 4, no. 3, 2015.

9. Sobota J., PiSl R., Baida P., Schlegel M. “Raspberry Pi and Arduino boards in control education”, IFAC Proceedings Volumes, vol. 46, no. 17, 2013, 7-12, 10.3182/20130828-3-UK-2039.00003.

10. Krishnan B. B., Kottalil P. A. M., Anto A., Alex B. “Automatic Sorting Machine”, Journal for Research, vol. 2, no. 4, 2016, 66-70.

11. Chakole V., Ilamkar P., Gajbhiye R., Nagrale S. “Oranges Sorting Using Arduino Microcontroller (A Review)”, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJETJ, vol. 6, no. 2, 2019,1800-1802.12. X. Meng, "Digital Image Processing Technology Based on MATLAB". In: Proceedings of the 4th International Conference on Virtual Reality, 2018, 79-82,10.1145/3198910.3234654.

12. Meng X. “Digital Image Processing Technology Based on MATLAB”. In: Proceedings of the 4th International Conference on Virtual Reality, 2018, 79-82,10.1145/3198910.3234654

13. Siemiątkowska B., Gromada K. “A New Approach to the Histogram-Based Segmentation of Synthetic Aperture Radar Images”, Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems, 2021, 39-42,10.14313/JAMRIS/1-2021/5.

14. Jordan M. I., Mitchell T. M. “Machine learning: Trends, perspectives, and prospects”, Science, vol. 349, no. 6245, 2015, 255-260, 10.1126/science.aaa8415.

15. Luthra S. “Machine Learning: An Automated Learning Approach”, International Journal of Computer Engineering and Applications, vol. 12, no. 1, 2018,156-161.

16. ELAKPI: Методика позиціонування 3D принтера із кінематикою «Дельта». ELAKPI: Home. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/46794> (дата звернення: 18.10.2023).
17. Maxence Leveziel, Guillaume Laurent, Wissem Haouas, Michaël Gauthier, Redwan Dahmouche. A 4-DoF Parallel Robot With a Built-in Gripper for Waste Sorting. IEEE Robotics and Automation Letters, 2022, 7 (4), pp.9834 - 9841. fhal-03812919
18. Новоселов С.П., Сичова О.В., Теслюк С.І. Багатопотокове програмне керування рухом промислового маніпулятора. Міжнародна науково-практична конференція “Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проектами та економіці в умовах воєнного стану”, 13–16 вересня 2022 року у місті Коблево. С. 92-95.
19. Мембранний насос (12 В, 2 л/хв) купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod1602-membrannii-nasos-12-v-2-lmin> (дата звернення: 22.12.2023).
20. Розподільники з електромагнітним керуванням прямої дії. Серія A| camozzi. URL: <https://camozzi.ua/sites/default/files/2023-09/Серія%20A.pdf> (дата звернення: 22.12.2023).
21. Вакуумні присоски | camozzi. Головна | camozzi. URL: <https://camozzi.ua/catalog/komponenti-vakuumnoi-sistemi/vakuumni-prisoski> (дата звернення: 22.12.2023).
22. OpenCV: OpenCV-Python Tutorials. OpenCV documentation index. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d6/d00/tutorial_py_root.html (date of access: 22.12.2023).
23. Черненко О.І., Сичова О.В. Автоматизація процесу сортування деталей на виробництві. Автоматизація та приладобудування – 2023. – Вип.2 , № 4. – С.109–113.
24. Електропневмоавтоматичні приводи в автоматизованих системах керування : навч. посіб./ І. Ш. Невлюдов, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. П. Новоселов, О. В. Сичова ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т

радіоеклектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 292 с. – ISBN 978-966-659-332-3 ; DOI: 10.30837/978-966-659-332-3.

25. Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронних систем [Текст] : навч. посіб. /І. Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. - Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків : Панов А. М. [вид.], 2020. - 255 с. - ISBN 978-617-7859-58-0 ; DOI: 10.30837/978-617-7859-58-0.

26. Невлюдов І. Ш. Застосування цифрових двійників технічних засобів автоматизації для розроблення програмно-технічних комплексів АСУ ТП : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 267 с. ISBN 978-617-8059-95-8, DOI: 10.30837/978-617-8059-95-8.