

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютерних технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення технічного засобу автоматизації розподілення потоку деталей на конвеєрної лінії
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТСІ-20-2
Алпатов І.М.
(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 Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Новоселов С.П.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет АКТ

Кафедра КІТАР

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«09» червня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Алпатову Іллі Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технічного засобу автоматизації розподілення потоку деталей на конвеєрній лінії

Затверджена наказом по університету від 03.06.2024 № 545 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 09.06.2024

3. Вхідні дані до роботи Об'єктом розробки є автоматизоване управління промисловим обладнанням. Предмет розробки – модуль сортування деталей на конвеєрній лінії. Технічне забезпечення: IBM-сумісний персональний комп'ютер. Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows 10 та вище, Arduino IDE 1.7 та вище.

4. Перелік питань, що потрібно розглянути у роботі проаналізувати предметну область, проаналізувати методи сортування деталей з використання конвеєрів, оглянути існуючих принципів сортування на конвеєрі, проаналізувати аналогічні рішення та постановити задачу, розробити архітектуру модуля сортування, проаналізувати конструкції сортувальників потоку деталей на конвеєрі, розробка конструкції модуля сортування деталей на конвеєрі, ескізно спроектувати конструкції модуля сортування, обрати електронні компоненти для побудови модуля сортування, розробити програму роботи блока управління модулем сортування, розробити алгоритм його роботи та програму для мікроконтролера

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint(*.ppt) – 18с. 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 предметної області	22.04.2024	Виконано
2.	Постановка задачі	01.05.2024	Виконано
3.	Розробив архітектуру модуля сортування	05.05.2024	Виконано
4.	Ескізне проектування конструкції модуля сортування	12.05.2024	Виконано
5.	Вибір електронних компонентів для побудови модуля сортування	18.05.2024	Виконано
6.	Розробка програми роботи блока управління модуля сортування	25.05.2024	Виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки	06.06.2024	Виконано
8.	Нормоконтроль, рецензування	07.06.2024	Виконано
9.	Допуск до захисту у зав. кафедри		

Дата видачі завдання 22.04.2024

Студент _____
(підпис)


Алпатов І.М.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Новоселов С. П.
(посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"18" червня 2024 р



Алпатов І.М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 57 с., 48 рис., 2 дод., 18 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОНВЕЄРНІ ЛІНІЇ, СОРТУВАННЯ, ПІДВИЩЕНА ПРОДУКТИВНІСТЬ, ПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

Об'єкт розробки – автоматизоване управління промисловим обладнанням.

Предмет розробки – модуль сортування деталей на конвеєрній лінії.

Мета роботи – є вдосконалення технології доставки деталей за допомогою конвеєрної лінії шляхом додавання модуля багатонаправленого сортування.

Методи розробки – для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: подальшій роботі потрібно:

- виконати аналіз методів сортування деталей з використанням конвеєрів;
- проаналізувати конструкцію модулів сортування на основі поворотних колі та всенаправлених коліс;
- розробити структуру модуля керування вузлом сортування;
- описати алгоритм роботи модуля сортування;
- обрати компоненти для реалізації модуля сортування;
- розробити програму, що реалізує функції управління модулем сортування.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – рекомендовано враховувати результати розробки для покращення вже існуючих систем автоматизації розподілення потоку деталей на конвеєрній лінії та під час створення нових, для створення більшої автоматизації зменшення частини взаємодії людини з системою.

ABSTRACT

Explanatory note: 57 p. , 48 pic., 2 applications., 18 sources.

AUTOMATION, CONVEYOR LINES, SORTING, INCREASED PRODUCTIVITY, INDUSTRIAL EQUIPMENT

Object of development – automated control of industrial equipment.

Subject of development – a module for sorting parts on a conveyor line.

The goal of our work – is to improve the technology of delivering parts using a conveyor line by adding a multi-directional sorting module.

Development methods – to achieve the set goal, it is necessary to solve the following tasks:

- perform an analysis of part sorting methods using conveyors;
- analyze the design of sorting modules based on swivel and omnidirectional wheels;
- develop the structure of the control module for the sorting unit;
- describe the algorithm of the sorting module's operation;
- select components for implementing the sorting module;
- develop a program that implements the functions of controlling the sorting module.

Recommendations for using the results of the work – it is recommended to consider the development results for improving existing automation systems for the distribution of parts flow on a conveyor line and when creating new systems, to achieve greater automation and reduce human interaction with the system.

ЗМІСТ

Перелік скорочень та термінів	8
Вступ.....	9
1 Аналіз технічного завдання.....	11
1.1 Аналіз методів сортування деталей з використанням конвеєрів	11
1.2 Огляд існуючих принципів сортування на конвеєрі	13
1.3 Аналіз аналогічних рішень.....	21
1.4 Постановка задачі.....	23
2 Розробка архітектури модуля сортування	24
2.1 Аналіз конструкцій сортувальників потоку деталей на конвеєрі	24
2.2 Архітектура автоматизованої системи.....	31
3 Розробка конструкції модуля сортування деталей на конвеєрі.....	37
3.1 Ескізне проектування конструкції модуля сортування.....	37
3.2 Вибір електронних компонентів для побудови модуля сортування.....	42
4 Розробка програми роботи блока управління модуля сортування	46
4.1 Розробка алгоритму роботи	46
4.2 Розробка програми для мікроконтролера	49
4.3 Синтез двоконтурної системи управління конвеєрною лінією.....	53
5 Охорона праці	62
Висновки	64
Перелік джерел посилань	65
Додаток А Код програми.....	67
Додаток Б Демонстраційний матеріал	71

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ІЧ – Інфрачервоний;

ПЗ – Програмний засіб;

ПК – Персональний комп'ютер;

ПЛК – Програмований логічний контролер;

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок.

ARB – Activated Roller Belt;

RFID – Radio Frequency IDentification;

RPM – Revolutions Per Minute;

SPI – Serial Peripheral Interface;

UART – Universal asynchronous receiver/transmitter;

USB – Universal Serial Bus;

ВСТУП

Конвеєри є невід'ємною складовою виробничих процесів у різних галузях промисловості. Актуальність їх застосування визначається широким спектром переваг, які вони принесли виробничому процесу.

Конвеєри значно підвищують продуктивність виробництва. Швидкість та автоматизований характер конвеєрних систем дозволяють ефективно транспортувати матеріали та вироби на весь протязій виробничого процесу, зменшуючи час, необхідний для переробки і збільшуючи обсяг виробництва.

Автоматизований рух матеріалів та виробів на конвеєрах зменшує ризик пошкоджень та помилок, які можуть виникнути внаслідок людського фактору. Крім того, системи сортування та контролю якості, які можуть бути інтегровані в конвеєрні лінії, дозволяють вчасно виявляти та видаляти дефектні вироби.

Конвеєрні лінії забезпечують безпеку на виробництві. Автоматизований рух матеріалів та виробів уникне ризику травматизму, пов'язаного з ручним транспортуванням важких або незручних вантажів. Більше того, інтеграція систем контролю безпеки та аварійного вимикання дозволяє оперативно реагувати на небезпечні ситуації.

Конвеєрні системи дозволяють заощадити ресурси, включаючи робочу силу. Автоматизація транспортування та обробки матеріалів зменшує необхідність у великій кількості працівників, що дозволяє економити на витратах на оплату праці та збільшувати ефективність виробництва.

Системи сортування на конвеєрах складаються з різноманітних компонентів та підсистем, які спільно працюють для ефективного та точного сортування деталей

Серцем більшості центрів розподілу сьогодні є сортування. При правильному застосуванні засоби виробництва, деталі, або сировина ефективно направляються у відповідні зони підприємства. При неправильному застосуванні наслідки можуть бути катастрофічними – часто це коштує компаніям мільйони

гривень у вигляді витраченої праці та процесів, які не створюють доданої вартості.

Таким чином, застосування конвеєрів на виробництві в поєднанні з модулями сортування є надзвичайно актуальним і важливим елементом сучасної промисловості. Вони сприяють підвищенню продуктивності, якості та безпеки виробництва, а також економлять ресурси та збільшують його конкурентоспроможність на ринку.

Об'єктом розробки є автоматизоване управління промисловим обладнанням.

Предмет розробки – модуль сортування деталей на конвеєрній лінії.

Метою роботи – є вдосконалення технології доставки деталей за допомогою конвеєрної лінії шляхом додавання модуля багатонаправленого сортування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз методів сортування деталей з використанням конвеєрів;
 - проаналізувати конструкцію модулів сортування на основі поворотних колі та всенаправлених коліс;
 - розробити структуру модуля керування вузлом сортування;
 - описати алгоритм роботи модуля сортування;
 - обрати компоненти для реалізації модуля сортування;
 - розробити програму, що реалізує функції управління модулем сортування.
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1], та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз методів сортування деталей з використанням конвеєрів

Сортування деталей є важливою складовою виробничого процесу в багатьох галузях промисловості. Ефективне сортування дозволяє оптимізувати виробничі процеси, зменшити витрати та забезпечити високу якість продукції. Існує ряд методів сортування деталей на виробництві, які використовуються залежно від конкретних потреб і характеристик виробничого процесу [11].

Один з найпоширеніших методів сортування – це сортування за розміром. У виробничому процесі часто потрібно розділити деталі за їхніми геометричними параметрами, такими як довжина, ширина, висота тощо. Це дозволяє краще керувати процесом виготовлення та забезпечує однорідність продукції.

Ще одним методом є сортування за якістю. Під час виробництва деякі деталі можуть мати дефекти або не відповідати встановленим стандартам якості. Сортування за якістю дозволяє виділити такі деталі та прийняти необхідні заходи для виправлення ситуації.

Також існують методи сортування за функціональним призначенням. Наприклад, у виробництві автомобілів деталі можуть бути розділені на двигун, шасі, кузов та інші вузли в залежності від їхньої функціональної придатності.

Крім того, у сучасній виробничій практиці широко використовується автоматизоване сортування, яке базується на використанні різноманітних технологій, таких як комп'ютерне зорове розпізнавання, механічні сортувальні лінії тощо. Це дозволяє значно підвищити ефективність та швидкість сортування, зменшити його витрати та забезпечити високу точність результатів.

Усі ці методи сортування деталей на виробництві мають свої переваги та обмеження і використовуються в залежності від конкретних потреб і умов виробництва. Ретельне планування та вибір оптимального методу сортування

дозволять підвищити продуктивність та якість виробництва, забезпечуючи успішну роботу підприємства.

Системи сортування на конвеєрах складаються з різноманітних компонентів та підсистем, які спільно працюють для ефективного та точного сортування деталей (рис. 1.1).

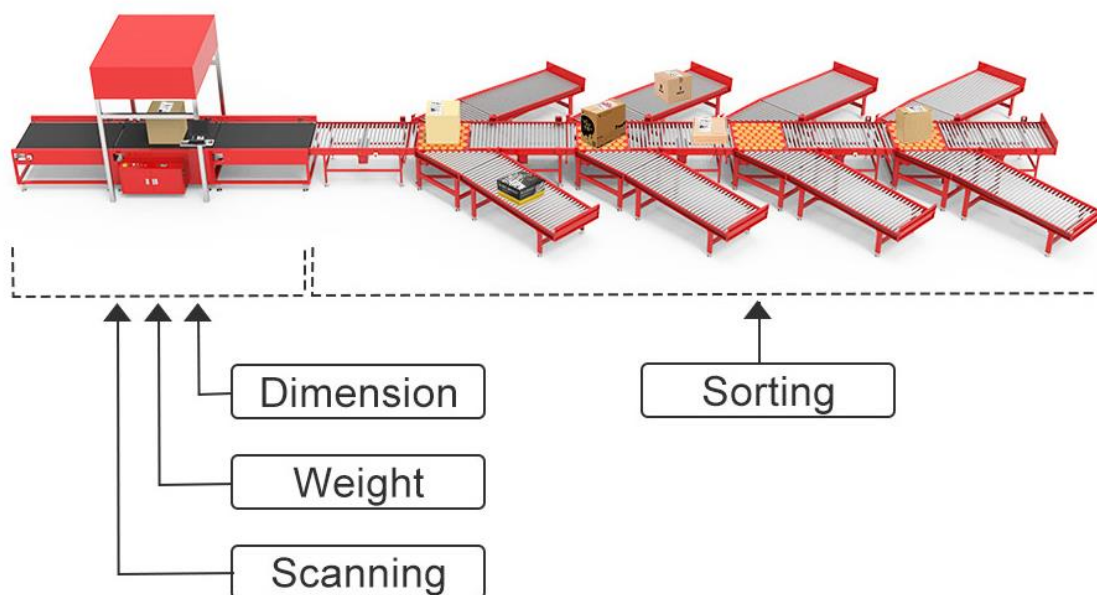


Рисунок 1.1 – Складові автоматизованої системи розподілення потоків деталей на конвеєрі

Першою складовою системи сортування є вхідний транспортер. Це початковий етап, де деталі або вироби надходять на конвеєр для подальшого сортування. Вхідний транспортер може мати різні форми та типи залежно від характеристик виробництва та потреб. Він відповідає за подачу матеріалу на конвеєр для подальшої обробки.

Другою важливою складовою є механізми сортування. Ці механізми відповідають за розподіл деталей по різних напрямках або доріжках на конвеєрі відповідно до певних критеріїв сортування, таких як розмір, форма, якість тощо. Механізми сортування можуть бути механічними, пневматичними,

гідравлічними або автоматизованими системами, які забезпечують швидке та точне розподілення деталей.

Третьою складовою є системи візуального контролю. Ці системи використовуються для виявлення дефектів або неправильностей на деталях під час сортування. Вони можуть базуватися на комп'ютерному зорі, використанні камер та спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу зображень. Системи візуального контролю дозволяють вчасно виявляти проблеми та відсортовувати деталі з дефектами для подальшого усунення або переробки.

Четвертою складовою є керуюча система. Це центральна частина системи, яка відповідає за керування роботою всіх компонентів конвеєра. Керуюча система може включати в себе програмне забезпечення для автоматизації процесів сортування, механізми керування та моніторингу, а також інтерфейси для взаємодії з оператором.

Останньою, але не менш важливою складовою, є вихідний транспортер. Це етап, на якому відсортовані деталі або вироби надходять для подальшого використання або пакування. Вихідний транспортер може відправляти деталі на наступні виробничі лінії або на склад для подальшого використання.

Усі ці складові разом створюють ефективну та надійну систему сортування деталей на конвеєрі, яка забезпечує швидке, точне та безперебійне виробництво. Ретельне планування та вибір оптимальних компонентів дозволяють підвищити продуктивність та якість виробництва, забезпечуючи успішну роботу підприємства.

1.2 Огляд існуючих принципів сортування на конвеєрі

Сьогодні існує величезна кількість рішень для сортування, ціна яких варіюється від кількох тисяч доларів до багатомільйонних комплексних рішень. Усі вони розроблені для інтеграції в окремі технологічні процеси. Використання неправильної технології може негативно вплинути на весь процес виготовлення продукції. Розглянемо деякі технології сортування.

1.2.1 Високошвидкісні штовхачі сортувальники

Сортувальники-штовхачі часто є найменш дорогим видом сортування. Один або кілька штовхачів розташовані вздовж конвеєрної стрічки (рис. 1.2).

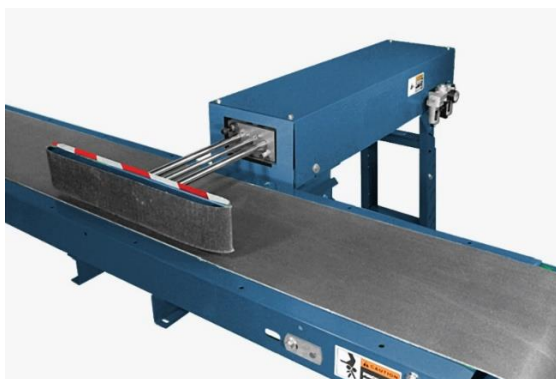


Рисунок 1.2 – Високошвидкісні штовхачі сортувальники

Ці штовхачі направляють продукт на 90 градусів на конвеєр виносу. Загалом використовуються для додатків із середньою та повільною швидкістю, де продукти не є крихкими за своєю природою, штовхаючі сортувальники можуть досягати продуктивності до 60 предметів за хвилину. Сортувальники для штовхання дрібних предметів мають можливість сортувати до 120 предметів за хвилину.

1.2.2 Сортувальник з поворотним колесом

Іноді дані механізми асоціюють із «сортувальниками з висувними колесами», які мають низку коліс, які піднімаються, коли продукт, який потрібно відвести, проходить над ними [11] (рис. 1.3). Колеса, в цьому випадку, працюють і переміщують продукт під кутом 30 градусів.



Рисунок 1.3 – Сортувальник з поворотними колесами

Сортувальники з шарнірними колесами схожі, але мають іншу конструкцію. Кутове обертання забезпечується серводвигунами з роздільною здатністю менше градуса для індивідуальних кутів від 0 до 30 градусів.

Щільні роликові центри дозволяють створювати пакунки з жорстким розміром до 5" X 7". Крім того, він має колеса з поліуретановим покриттям, які забезпечують міцний контакт із продуктом під час перенесення. Цикл перенаправлення не тільки надзвичайно швидкий (менше однієї секунди), але й легко налаштовується відповідно до потреб конкретної програми.

Сортувальник із поворотним колесом має дуже модульну конструкцію і може замінити зону всередині будь-якого стрічкового або роликового конвеєра, прикріпивши болтами до нижньої частини стандартної рами. Швидкість сортування залежить від розміру продукту. Сортувальник із поворотним колесом зазвичай може досягати швидкості 75-100 ящиків за хвилину.

1.2.3 Вузькострічковий сортувальник

Вузькострічковий сортувальник – це сортувальник для предметів середнього розміру. Як зрозуміло з назви, товар транспортується на кількох вузьких стрічках. Ролики піднімаються між стрічками, щоб транспортувати предмети під кутом 90 або 30 градусів із сортувальника (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Вузькострічковий сортувальник

Мінімальний розмір упаковки становить $24 \times 18 \text{ см}^2$, максимальна довжина упаковки становить 90 см, максимальна вага одиниці упаковки – 15 кг. Вузькі стрічкові сортувальники призначені для двостороннього переміщення предметів. Продукт можна передавати з будь-якого боку конвеєр до інших конвеєрів під прямим кутом, робочих станцій, станцій пакування, станцій продажу квитків, відділів доставки або інших подібних операцій.

Даний тип сортувальників підходить для наступних сценаріїв [12]:

- коли предмети обробляються та сортуються на щільно розташованих смугах або робочих станціях;
- для сортування продуктів у кінці виробничої лінії до зони палетування;
- для сортування продуктів до зони пакування;
- для перевірки після комплектування замовлення;
- для сортування продуктів до зони зберігання.

Вузькострічковий сортувальник відрізняється легкою конструкцією, простим обслуговуванням, високою економічністю та низьким рівнем шуму. Сортувальні канали вузькострічкового сортувальника можна розташувати поруч, а щільність відвідних смуг майже така ж, як і поперечного стрічкового сортувальника, що економить простір. Він підходить для зміни та модульного розширення сортувальних каналів і є високорентабельним рішенням з точки зору автоматичного сортування малих і середніх продуктів.

1.2.4 Активовані роликові стрічкові сортувальники (ARB)

Термін ARB означає Activated Roller Belt і відомий у конвеєрній промисловості як запатентована технологія Intralox (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Активований роликовий стрічковий сортувальник

На конвеєрі ARB продукти лежать на вільно обертових роликах під кутом, а не на поверхні стрічки. Ці ролики простягаються над і під поверхнею стрічки та розташовані під кутом відносно напрямку руху стрічки. Ролики, які активуються нижньою поверхнею доріжки, переміщують продукти поперек стрічки в напрямку орієнтації ролика, а не в напрямку руху стрічки.

Деталі можна спрямовувати за допомогою кутових роликів, вбудованих у конвеєрну стрічку, що дозволяє зберегти якість продукту [13]. Рисунок 1.6 показує принцип перенаправлення потоку 90 градусів уздовж конвеєру

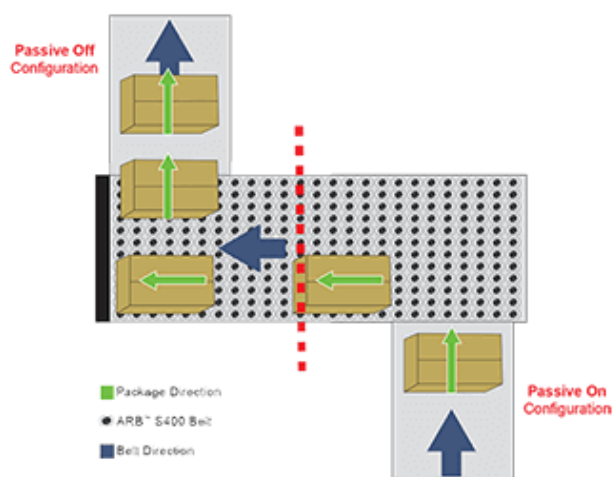


Рисунок 1.6 – Принцип перенаправлення потоку 90 градусів уздовж конвеєру

Роликовий ремінь можна використовувати для простого перенесення під прямим кутом, але його також можна використовувати для відхилення в будь-який бік під різними кутами.

Сортувальники з таким принципом роботи здатні розсіювати деталі в обох напрямках під різними кутами. Ця унікальна здатність успішно обробляє продукти різного розміру в межах обмеженої площі.

Обладнані ARB конвеєри можуть змінювати напрямок, вирівнювання, розташування та швидкість елемента незалежно без використання рейок або складних механічних елементів керування. Швидкість сортування може перевищувати 200 деталей на хвилину з розривом у 12 см.

1.2.5 Башмачний сортувальник

Башмачний сортувальник найчастіше асоціюється з високошвидкісним сортуванням [14]. Поверхня для транспортування складається з планок конвеєра, планок або труб, кожна з яких прикріплена до приводного ланцюга, що проходить всередині кожного бічного каналу сортувальника (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Башмачний сортувальник

Розсувні відвідні башмаки, які підтримуються стрічками конвеєра, штовхають вантаж із сортувальника у відповідне місце сортування. Кількість

ламелів, які використовуються для відведення вантажу, визначається під час індукції та залежить від довжини виробу.

Оскільки розсувні сортувальники черевиків вміють обробляти широкий спектр продуктів, вони виявилися дуже універсальним обладнанням. Операції з різноманітним набором продуктів можуть отримати вигоду від цих можливостей, як і операції, які зазнають еволюції конвеєрних ліній на існуючому виробництві.

Башмачні сортувальники чудово підходять для сортування тендітних виробів, схильних до пошкоджень. Вони також чудово підходять для роботи з продуктами різноманітних розмірів, форм і ваги. Це не рідкість, коли сортувальники розсувних башмаків досягають швидкості понад 250 ящиків за хвилину.

1.2.6 Сортувальник лотків із нахилом

Сортувальник лотків із нахилом – це високошвидкісний сортувальний конвеєр із безперервною петлею, який використовує техніку нахилу лотка біля жолоба, щоб заштовхнути об'єкт у жолоб [15] (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Сортувальник лотків із нахилом

Сортувальник лотків із нахилом використовується для прискорення процесу виконання замовлення для консолідації позицій замовлення та обробки повернутих продуктів для негайного оновлення запасів у режимі реального часу.

Даний принцип сортування є чудово підходить для транспортування не лише картонних коробок і сумок, а й м'яких товарів, які важко сортувати за допомогою інших технологій, наприклад сумок. Можна досягти швидкості сортування понад 375 випадків за хвилину.

1.2.7 Поперечний стрічковий сортувальник

Сортувальник із поперечною стрічкою дуже схожий на сортувальник із нахилом [17] (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Сортувальник із поперечною стрічкою

Основна відмінність даного типу сортувальників полягає в тому, що перекидні лотки замінені короткими стрічковими конвеєрами, розташованими перпендикулярно потоку сортувальника.

Сортувальники з поперечними стрічками зазвичай використовуються для сортування посилок, одягу та дрібних предметів, які часто важко сортувати, наприклад тендітних виробів або виробів із високим коефіцієнтом тертя. Ця технологія, навіть при дбайливому поводженні, забезпечує вузькі точки перенаправлення та високу швидкість сортування понад 500 коробок на хвилину, що дозволяє галузям, що швидко розвиваються, все ще досягати високої продуктивності.

Цю гнучку технологію сортування можна використовувати в різноманітних програмах – сортування вхідних повідомлень, приймання, виконання замовлень, крос-докінг, транспортування, комплектування тощо.

Універсальність даної технології полягає в тому, що конвеєр здатний обробляти змішані продукти. Це робить його адаптованим для широкого кола галузей.

1.3 Аналіз аналогічних рішень

В якості прикладу розглянемо рішення компанії SNBC для логістики, що охоплюють весь процес формування, сортування та доставки продукції [12].

На етапі генерації замовлень на посилки SNBC може надати рішення для друку етикеток, включаючи портативний принтер етикеток, який використовують кур'єри під час отримання посилок, настільний принтер етикеток, який використовують власники електронної комерції/експрес-магазинів під час друку накладної, і промисловий принтер етикеток штрих-кодів, який використовують через сортувальний центр/склад для різних цілей друку. На етапі сортування посилок SNBC може надати сортувальному центру комплексні автоматизовані рішення, що охоплюють розвантаження, сортування та завантаження посилок, що може заощадити понад 70% робочої сили сортувального центру.

Зараз центр експрес-сортування має два види діяльності: сортування великих посилок і сортування дрібних посилок. У традиційному способі сортування великих посилок кожен конвеєр вимагає ручної роботи для перетягування посилок, сканування коду та сортування посилок, тоді як автоматизоване рішення SNBC для сортування великих посилок може заощадити робочу силу, витрачену на ручне сортування.

На рисунку 1.10 показано одне із рішень компанії SNBC для виконання завдань сортування продукції.

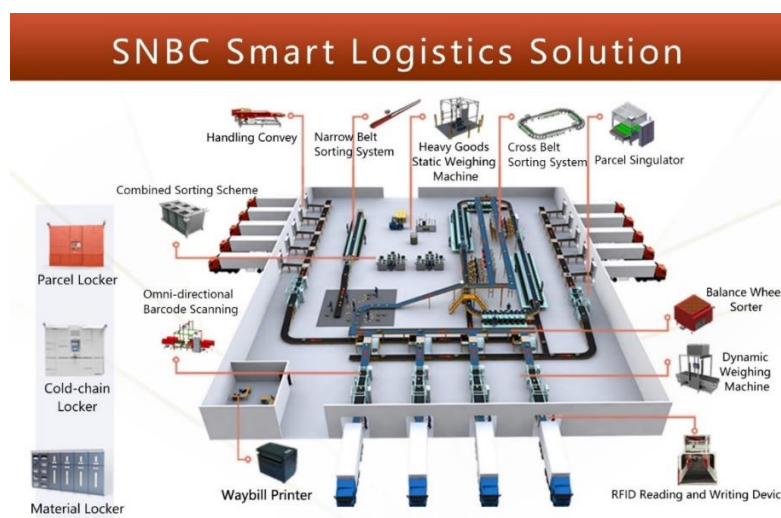


Рисунок 1.10 – Рішення компанії SNBC для виконання завдань інтелектуального сортування продукції

Після входу в зону сортування посылки одна за одною розбиратимуться через розділювач посилок і сайдинг-машину, а потім пропускатимуть машину для всенаправленого сканування штрих-кодів, яка може сканувати штрих-код посылки, щоб отримати інформацію про вагу та об'єм. RFID-мітка великої посылки буде зчитана RFID-тунельною машиною перед тим, як посылка потрапить у зону сортування. Аналізуючи інформацію про посылку, зібрану машиною для всенаправленого сканування штрих-кодів і тунельною машиною RFID, система може визначити, де посылку слід відсортувати, і коли посылка переміститься в потрібне місце, сортувальник з поворотним колесом розподілить посылки у вказаному напрямку.

У традиційному способі сортування невеликих посилок «ручна робота + режим конвеєра» або «ручна робота + режим кошика» розрахунок на людську пам'ять для сортування посилок призводить до низької ефективності сортування та високого рівня помилок (8%). Крім того, у пік експрес-сортування потрібна велика кількість тимчасових працівників, але тимчасовим працівникам важко запам'ятати інформацію про маршрут за короткий час.

Автоматизоване рішення SNBC для сортування невеликих посилок може знизити рівень помилок сортування до однієї десятитисячної. Продуктові рішення в основному включають два типи: поперечну стрічку та пряму систему

сортування. Поперечний ремінь підходить для сценаріїв застосування з великою кількістю сортування, високими вимогами до ефективності та кількома напрямками сортування. Пряма лінія підходить для сценаріїв застосування з невеликою площею, не більше 100 напрямків сортування та продуктивністю менше 8000 шт./год. Наразі ці два рішення широко застосовуються поштою Китаю, JD logistics та іншими клієнтами.

1.4 Постановка задачі

Виконавши аналіз літератури визначені основні типи сортувальників на конвеєрних лініях. Усі ці методи сортування деталей на виробництві мають свої переваги та обмеження і використовуються в залежності від конкретних потреб і умов виробництва.

Проведено огляд існуючих принципів сортування на конвеєрі. Розглянуті основні технології сортування: високошвидкісні штовхачі сортувальники, сортувальники з поворотним колесом, вузькострічкові сортувальники, активовані роликові стрічкові сортувальники, башмачний сортувальник, сортувальники лотків із нахилом, поперечні стрічкові сортувальники.

Проведений аналіз аналогічних рішень показав, що найбільш перспективним для мілкосерійного виробництва та електронного приладобудування підходять сортувальники на основі поворотних коліс та всенаправлених коліс.

Таким чином, в подальшій роботі потрібно:

- проаналізувати конструкцію модулів сортування на основі поворотних коліс та всенаправлених коліс;
- розробити структуру модуля керування вузлом сортування;
- описати алгоритм роботи модуля сортування;
- обрати компоненти для реалізації модуля сортування;
- розробити програму, що реалізує функції управління модулем сортування.

2 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ МОДУЛЯ СОРТУВАННЯ

2.1 Аналіз конструкцій сортувальників потоку деталей на конвеєрі

2.1.1 Аналіз конструкції сортувальника з поворотними колесами

Сортування з поворотним колесом має 2-3 види сортувальних шляхів у одноступеневому колесному сортувальнику, які в основному використовуються для розвантаження ланок грубого сортування, пересортування, скануючого завантаження тощо. Ролик, що змінює напрямок руху деталей, силою тертя між ним і виробами, може рухати сортувальні вироби, таким чином досягаючи мети сортування.

На рисунку 2.1 показано ескіз конвеєрної лінії з сортувальником потоку пакунків з деталями на основі поворотних коліс.

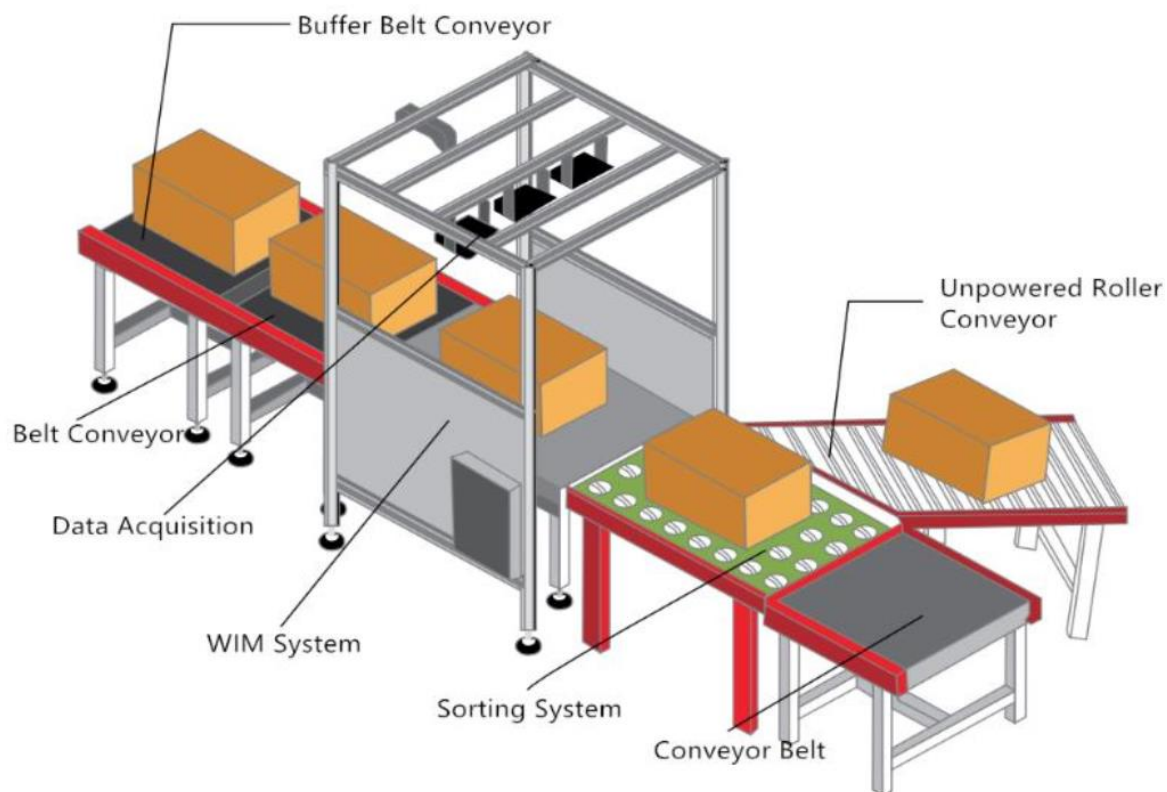


Рисунок 2.1 – Ескіз конвеєру з сортувальником на основі поворотних коліс

Пакунки надходять в приймальну зону, де датчики визначають наявність нового пакунку. Конвеєр починає рухати пакунок доки він не потрапить до зони контролю.

В зоні контролю відбувається сканування пакунку засобами комп'ютерного зору. За результатами сканування робиться висновок про те, куди потрібно направити пакунок.

Виходячи з зони контролю кожен пакунок за результатами сканування направляється за одним з можливих напрямків за допомогою колісного сортувальника.

Блок сортування має вигляд, що показано на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Сортувальник з обертальними колесами

Даний блок є функціонально завершеною конструкцією. Його можна легко монтувати та демонтувати.

Сортувальники даного типу можуть застосовуватись:

- електронна комерція;
- експрес-доставка;
- поштові послуги;
- розподільний центр;
- електронна промисловість;
- хімічна промисловість та інші галузі.

Колісний сортувальник в основному складається з повністю модульного незалежного колеса, синхронного контролера рульового керування, трансмісійного пристрою, рами тощо (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Варіант конструкції колісного сортувальника

Під час роботи керуючий контролер змінює напрямок конвеєрних роликів відповідно до інструкцій та розпізнавання інформації, виданих системою керування, уможливаючи багатокутне та багатостороннє сортування предметів ліворуч і праворуч, а також переміщення предметів до сортування конвеєр.

Колісний сортувальник рухає ролики вперед через передавальний пристрій, а контролер синхронного рульового управління повертає весь модуль коліс ліворуч і праворуч, щоб реалізувати доставку вантажів вперед, ліворуч і праворуч (рис. 2.4).

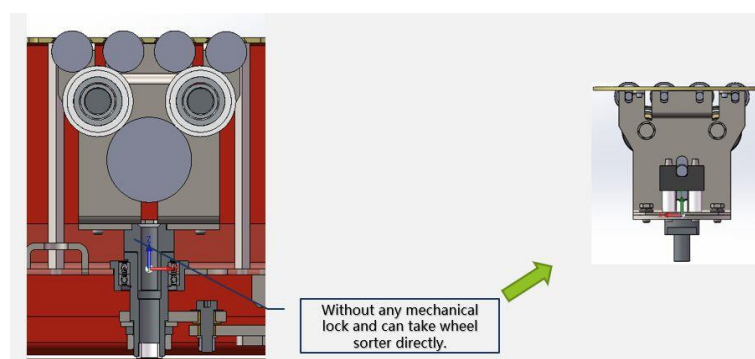


Рисунок 2.4 – Конструкція механічного модуля колісного сортувальника

Особливості даного виду конструкції складається з декількох характеристики.

По-перше, дане рішення є повністю модульною конструкцією. Кожне колесо є незалежним модулем, який може гнучко регулювати кількість коліс відповідно до фактичних потреб користувачів, щоб реалізувати регулювання довжини поверхні транспортування та ширини поверхні сортування колісний сортувальник.

По-друге, дане рішення має низький рівень шуму, тихий дизайн. Рівень шуму становить лише 60 децибел (приблизно стільки ж, скільки звичайна гучність розмови).

По-третє – простота в обслуговуванні. Одна людина може виконати технічне обслуговування або заміну колісного модуля протягом 10 хвилин.

Четверте – дане рішення легко інтегрувати. Одна людина може завершити інтеграцію протягом 5 хвилин.

П'яте – гнучке підключення. Один пристрій охоплює площу менше 1 квадратного метра, і його можна вільно комбінувати

До переваг можна віднести:

- підходить для сортування важких і великих предметів. Він витримує сортування важких предметів вагою до 50 кг, а максимальний розмір упаковки може досягати 1200x1000x800 мм;

- гнучке сортування, що зменшує пошкодження. Колісний сортувальник з'єднаний з ременем, а ролики обгорнуті гумою, тому конвеєрна дія є м'якою, і товари не будуть втрачені;

- незалежний модуль, низький рівень відмов. Колісний сортувальник має структурну конструкцію, кожне колесо є окремим модулем, і рівень відмов надзвичайно низький. Навіть якщо станеться збій, ремонт або заміна модуля може бути завершена протягом 10 хвилин;

- швидкість сортування висока, а помилка низька. 3000-6000 штук на годину, сортування колесами та використання технології штрих-кодів для ідентифікації пакетів, частота помилок лише одна на мільйон.

2.1.2 Конвеєр на основі всеспрямованих коліс (Omnidirectional-Wheel)

Одним із прикладів гнучких систем поводження з матеріалами є всеспрямовані колесні конвеєри [17], [18]. Планування пакетів на цих гнучких конвеєрах реалізується за допомогою класичної теорії управління, використовуючи два підходи. Перший підхід використовує комп'ютерний зір для виявлення положення пакету, а другий підхід вимагає оснащення конвеєра з декількома датчиками, що призводить до збільшення вартості та складності системи [18]. В обох підходах тип та призначення пакету повинні бути відомі до початку процесу планування шляху.

На рисунку 2.5 показано ескіз конвеєру, що використовує всеспрямовані колеса для сортування потоку пакунків на конвеєрі.

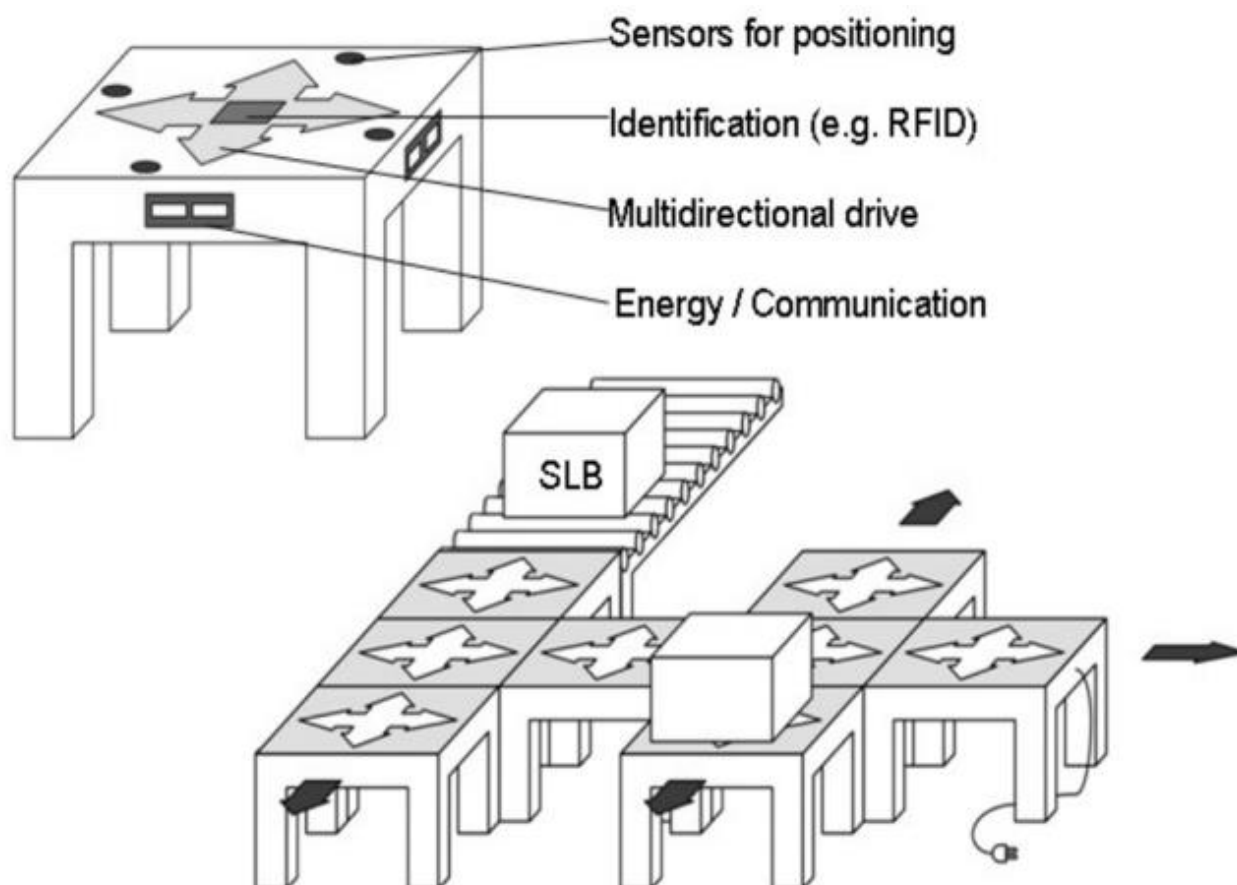


Рисунок 2.5 – Ескіз конвеєру, що використовує всеспрямовані колеса для сортування потоку пакунків на конвеєрі

Вузол сортування на основі всеспрямованих коліс має наступний вигляд (рис. 2.6).

Структура конвеєра всенаправленого колеса складається з декількох шестикутних модулів. Ці модулі переміщують пакети до необхідних напрямків. Це можливо через спеціальні колеса модулів. Кожен модуль має три всенаправлені колеса, розділені на 120°

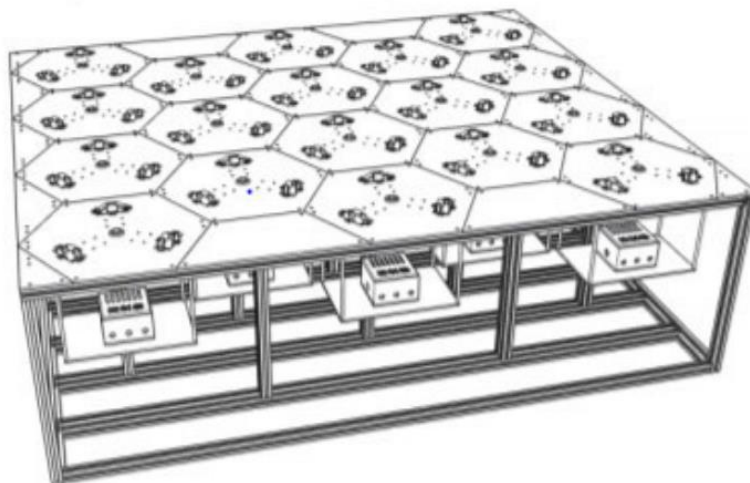


Рисунок 2.6 – Вузол сортування на основі всеспрямованих коліс

На рисунку 2.7 показано зовнішній вигляд шестикутний вузол сортування



Рисунок 2.7 – Шестикутний модуль з всеспрямованими колесами

Всепрямоване колесо має наступну конструкцію (рис. 2.8).

Всепрямоване колесо або полікоесо – це колесо з невеликими дисками навколо кола, перпендикулярним напрямком обертання. Її особливість полягає в тому, що колесо можна надати в повній силі, але з великою легкістю буде ковзати в бічному напрямку. Ці колеса часто використовуються в системах високих приводів.

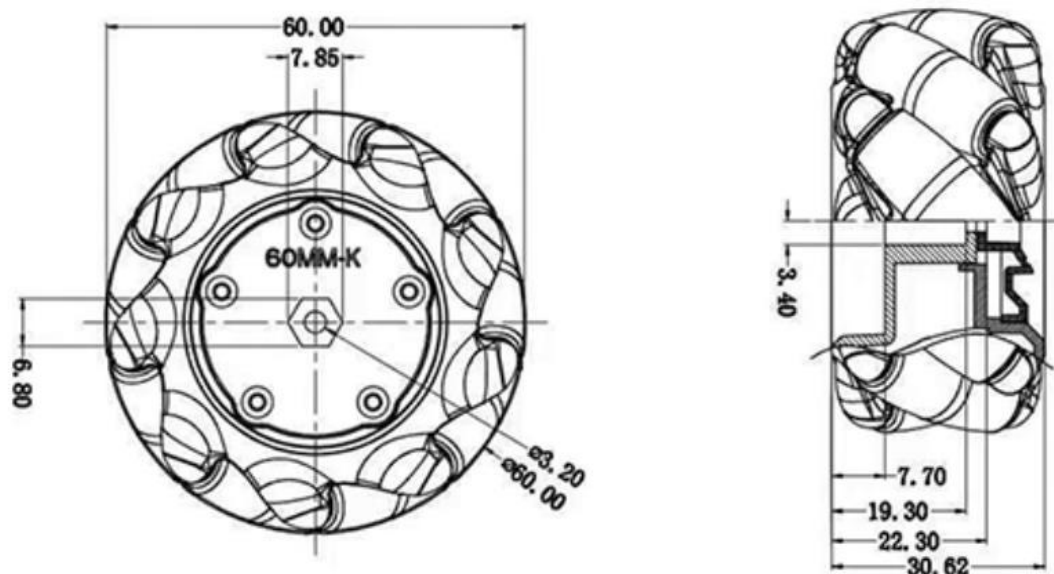


Рисунок 2.8 – Конструкція всепрямованого колеса

Можливі напрямки руху за допомогою шестикутного модулю показані на рисунку 2.9.

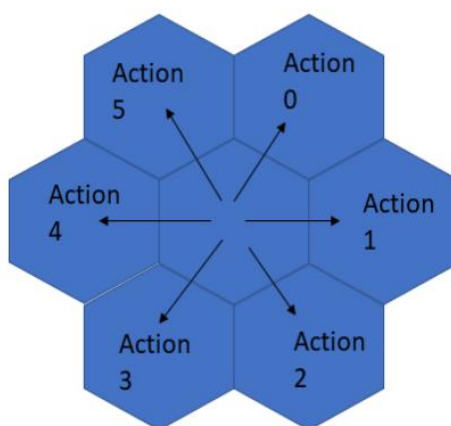


Рисунок 2.9 – Можливі напрямки руху за допомогою шестикутного модулю

На рисунку 2.10 показано іншу конструкцію модулю з використанням всеспрямованого колеса.

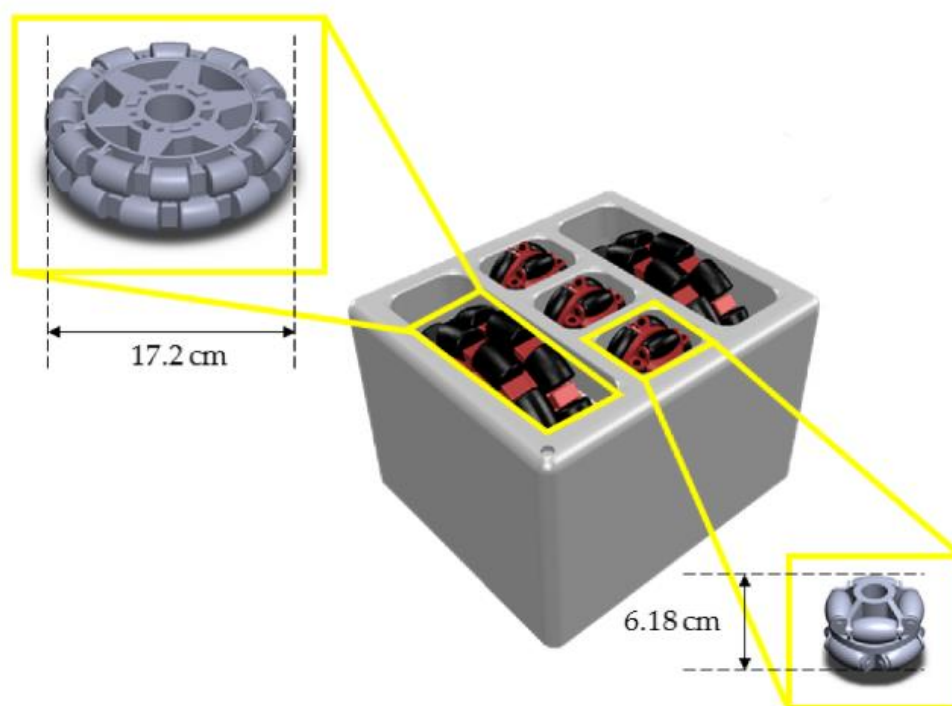


Рисунок 2.10 – Прямокутний модуль на основі всеспрямованого колеса

За допомогою такого модулю можливо направляти пакунки тільки в чотирьох напрямках: вперед, назад, вліво, вправо. Але така конструкція має меншу вартість, та може знайти своє застосування у конвеєрах з ортогональною системою руху потоків пакунків або деталей.

2.2 Архітектура автоматизованої системи

Архітектура автоматизованої системи показана на рисунку 2.11.

Промислової лінією керує програмований логічний контролер (ПЛК). Алгоритм, що закладений в основу його роботи, розподіляє задачі між компонентами автоматизованої системи в залежності від задачі та інформації про стан технологічного обладнання від сенсорів.

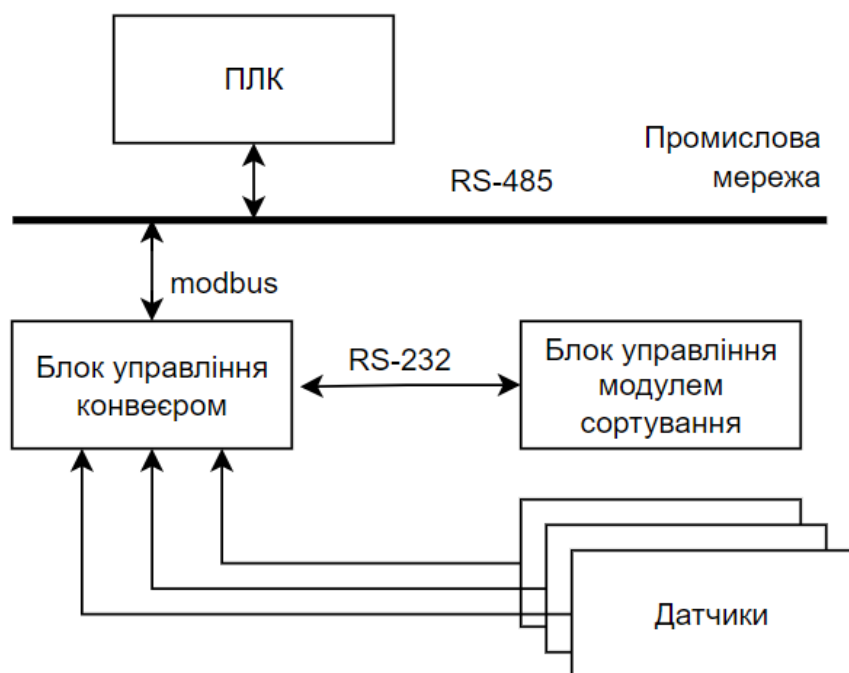


Рисунок 2.11 – Архітектура автоматизованої системи

ПЛК задає умови для виконання розподілення деталей. Наприклад, це може бути порядок слідування пакунків: парні пакунки направляються наліво від основного потоку, а непарні направо.

Блок управління конвеєром на основі даних від датчиків рахує кількість деталей і визначає парні та непарні. При необхідності розподілення потоку пакунків з деталями блоку управління конвеєром дає команду блоку управління модулем сортування через послідовний інтерфейс RS-232.

Команда керування має наступний формат, що показаний на рисунку 2.12.

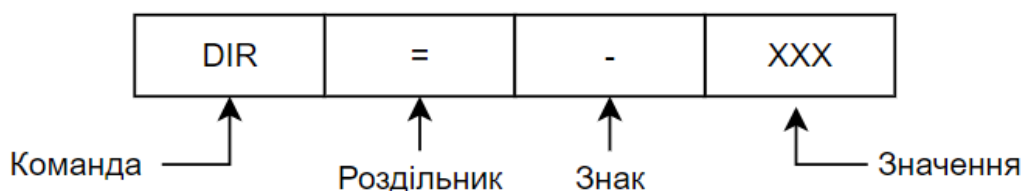


Рисунок 2.12 – Формат команди керування

Після команди DIR ставиться роздільник для відділення команди від знаку та значення. В якості значення передається трьохзначне число – значення

градусів для виконання повороту відносно початкового положення. Значення може бути в діапазоні від 000 до 180 градусів. Перед значенням необхідно ставити знак. Знак може бути «+» або «-». Таким чином, для повороту коліс модуля сортування на 54 градусів проти годинникової стрілки необхідно передати команду:

«DIR=-54».

На час виконання повороту коліс їх обертання вимикається.

Структурна схема модуля керування модуля сортування деталей на конвеєрі показана на рисунку 2.13.

До складу модуля сортування входять:

- чотири двигуна постійного струму;
- кроковий двигун;
- кінцевий датчик для визначення початкового положення корового двигуна;
- датчик входу пакунку з деталями до зони сортування;
- датчики виходу пакунку з деталями із зони сортування по всім можливим напрямкам.

Відповідно до рисунку 2.4, в нашій конструкції, двигуни постійного струму використовуються для приводу коліс, що рухають пакунки з деталями конвеєрною лінією. Двигун має бути оснащений редуктором для зниження швидкості обертання та, одночасно, підвищення крутного моменту.

Кроковий двигун використовується для обертання колісного блоку на заданий градус. Даний тип двигуна обраний через те, що він може з високою точністю обертатися на заданий кут без допоміжних датчиків. Однак для початкового позиціонування після включення напруги живлення необхідно використовувати кінцевий датчик.

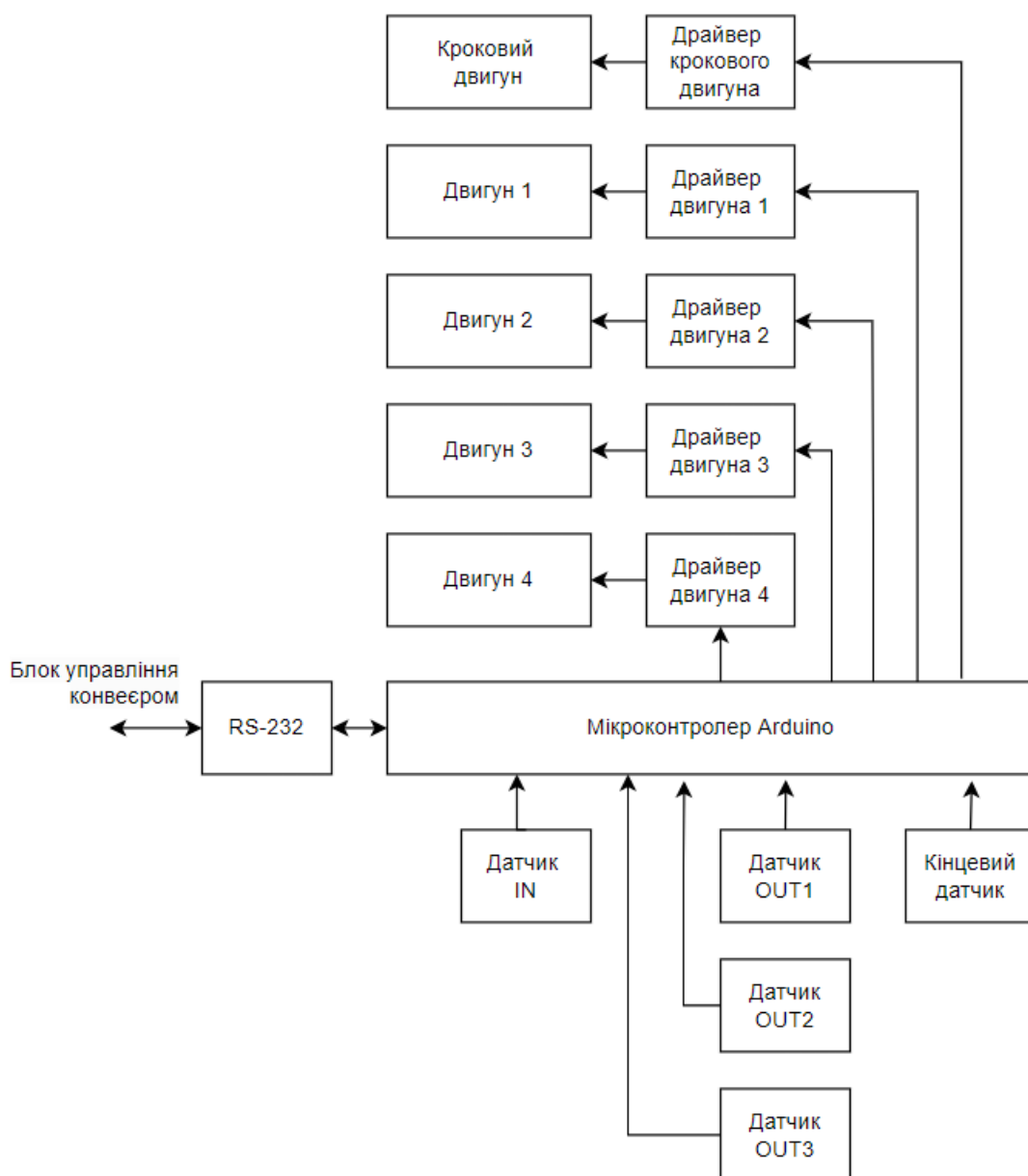


Рисунок 2.13 – Структурна схема блока керування модулем сортування деталей на конвеєрі

Для підключення двигунів використовуються відповідні драйвери. Для двигунів постійного струму застосовуються драйвери на основі L298N або реле. Для крокових двигунів використовуються драйвера на основі мікросхеми ULN2003.

Датчик входу паунку з деталями до зони сортування використовується для визначення наявності паунку з деталями над поворотними колесами. На основі сигналу від цього датчику модуля керування приймає рішення про виконання певної частини алгоритму роботи даного блоку.

Із зони сортування може бути декілька виходів. На кожен такий напрямок необхідно ставити датчики виходу пакунку з деталями для визначення, що простір над модулем сортування вільний. Після виходу із зони сортування колісний блок повертається в початковий стан для приймання чергового пакунку.

На рисунку 2.14 показана схема розташування датчиків на вході та виході модуля сортування деталей.

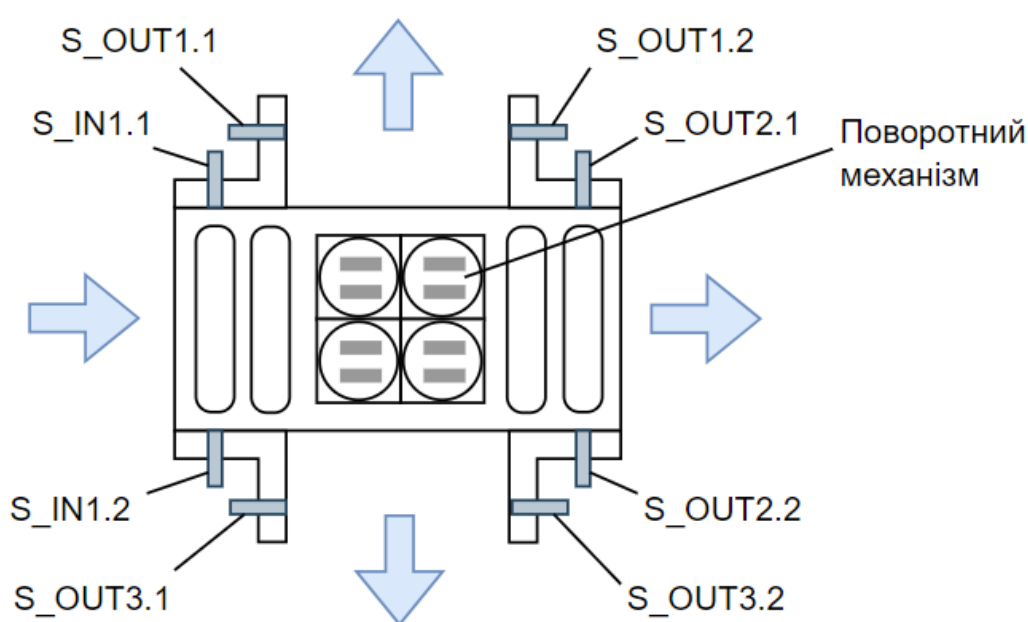


Рисунок 2.14 – Схема розташування датчиків на вході та виході модуля сортування деталей

Кожний з датчиків являє собою прилад із закритим світловим каналом, що складається з двох частин: ІЧ випромінювача та ІЧ приймача. На рисунку 2.15 показана схема роботи датчика із відкритим світловим каналом.

Випромінювач S_IN1 постійно випромінює світло. Коли пакунок не перекриває світловий канал, на виході приймача S_IN2 виставлена напруга 5 В, що відповідає стану логічної одиниці.

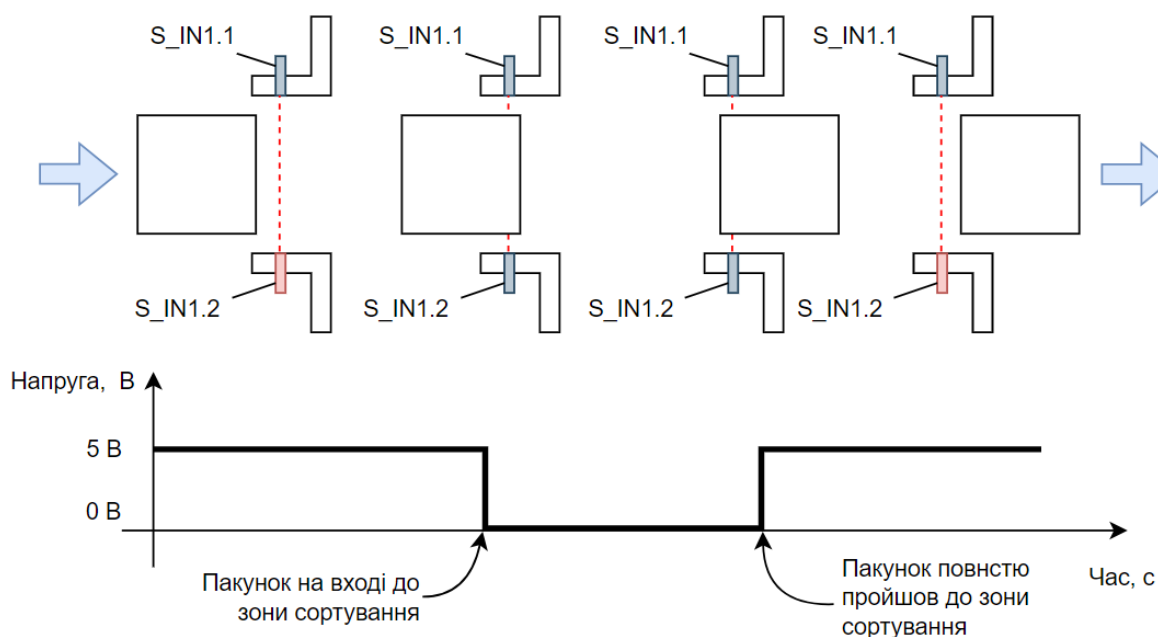


Рисунок 2.15 – Схема роботи датчика із відкритим світловим каналом

При вході в зону сортування пакунок перекриває світловий канал і на виході датчика з'являється сигнал логічного нуля, близький до напруги 0 В.

Впродовж всього часу, поки пакунок проходить повз датчик на виході S_IN2 буде утримуватись сигнал логічного нуля.

Після того, як пакунок повністю ввійде до зони сортування, на виході датчика S_IN2 з'явиться сигнал логічного нуля. Це буде сигналом для модуля керування, що треба зупинити обертання коліс та чекати на команду від модуля керування конвеєром про подальші дії.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МОДУЛЯ СОРТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ НА КОНВЕЄРІ

3.1 Ескізне проектування конструкції модуля сортування

На рисунку 3.1 показано схема конвеєрної лінії з використанням модуля сортування на основі поворотних коліс.

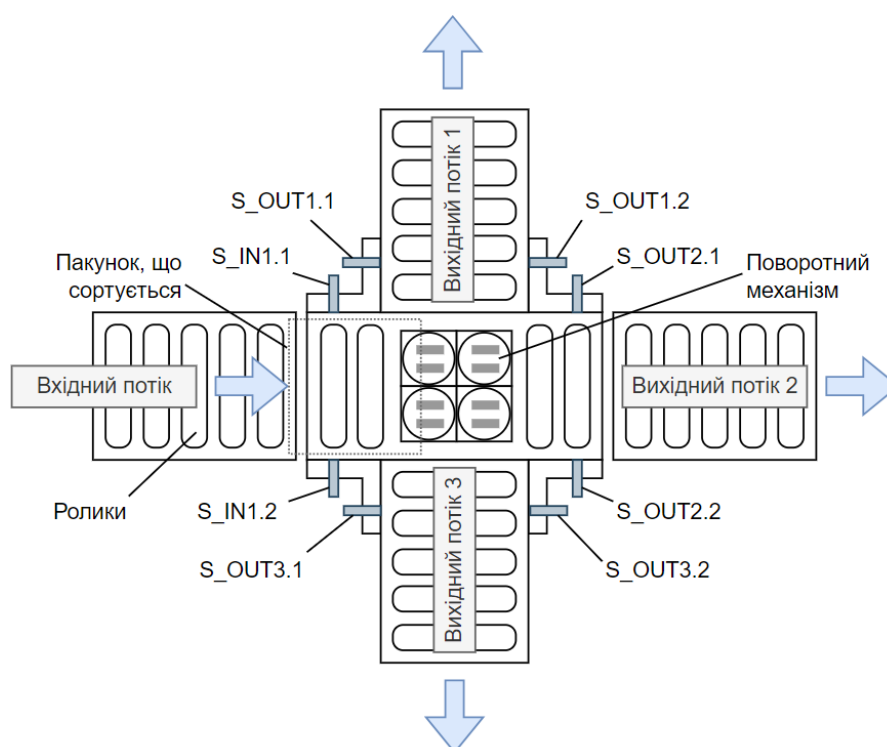


Рисунок 3.1 – Схема конвеєрної лінії з використанням модуля сортування на основі поворотних коліс

В даній схемі показано конвеєр на основі роликів. Конвеєр має один вхідний потік та три вихідних. Модуль сортування відповідає за перенаправлення пакунку з деталями до одного з трьох можливих напрямків.

Вхідний датчик S_IN1 відповідає з визначення події потрапляння пакунку до зони сортування. Вихідні датчики S_OUT1, S_OUT2, S_OUT3 відповідають кожен за свій напрямок подальшого руху пакунку з деталями. Після спрацювання вихідних датчиків механізм модуля сортування повертає обертальні колеса в початковий стан, що відповідає 0 градусів.

Вихідному потоку 1 відповідає положення поворотного механізму $DIR=+045$, вихідному потоку 2 відповідає положення поворотного механізму $DIR=+180$, вихідному потоку 3 відповідає положення поворотного механізму $DIR=-045$.

На рисунку 3.2 показано ескіз одного з чотирьох блоків модуля сортування.

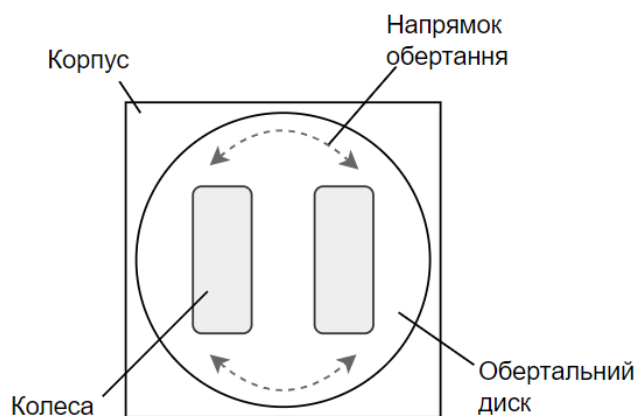


Рисунок 3.2 – Ескіз блоку з обертальним диском модуля сортування

Блок складається з квадратного корпусу та обертального диску з подвійними колесам. Обертальний диск може обертатись навколо центральної осі в будь який бік.

Колеса приводяться в рух двигуном постійного струму. Принцип побудови колісного блоку показано на рисунку 3.3.

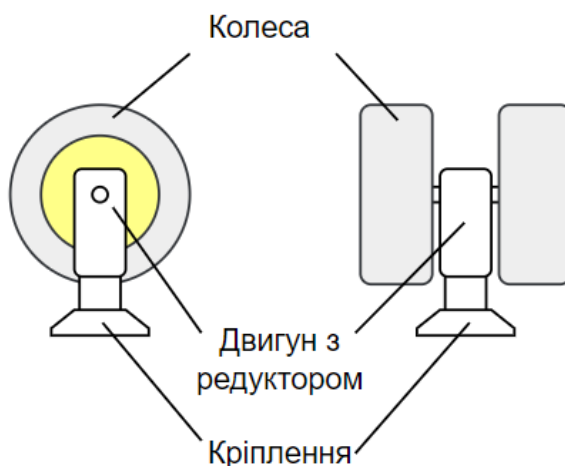


Рисунок 3.3 – Принцип побудови колісного блоку

В якості подавальних коліс в конструкції, що пропонується, застосовуються колеса для моделей мобільних роботів (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Колеса для моделей мобільних роботів

Для провладу коліс використовується двигун постійного струму, зовнішній вигляд якого показано на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд двигуна постійного струму з двома осями

Даний двигун має редуктор з передавальним числом 1:48. Живиться мотор напругою від 3 до 8 В, забезпечує крутний момент 800 г / см (при напрузі 6В). Ось механізму виходить на дві сторони.

На рисунку 3.6 показано принцип кріплення коліс до механізму двигуна.



Рисунок 3.6 – Принцип кріплення коліс до механізму двигуна

Чотири блоки з обертальними дисками збираються в єдину конструкцію модуля сортування (рис. 3.7).

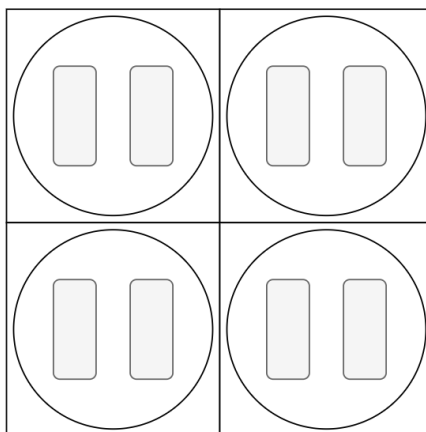


Рисунок 3.7 – Модуль сортування, що складається з чотирьох блоків з обертальними дисками

Всі обертальні диски мають окремий двигун для приводу коліс, але обертанням керує єдиний модуль управління на основі контролера Arduino.

На рисунку 3.8 показана схема взаємодії чотирьох обертальних блоків.

Кожен блок має власну шестерню яка сполучається з центральною ведучою. Ведуча шестерня кріпиться на вал крокового двигуна. Діаметр

центральної шестерні становить 100 мм. Діаметр кожної веденої шестерні становить 130 мм.

З кожним кроком двигуна механізм блоків обертається на певний кут, що залежить від передавального числа між шестернями. Для даних розмірів шестерень передавальне число складає 1:1,3.

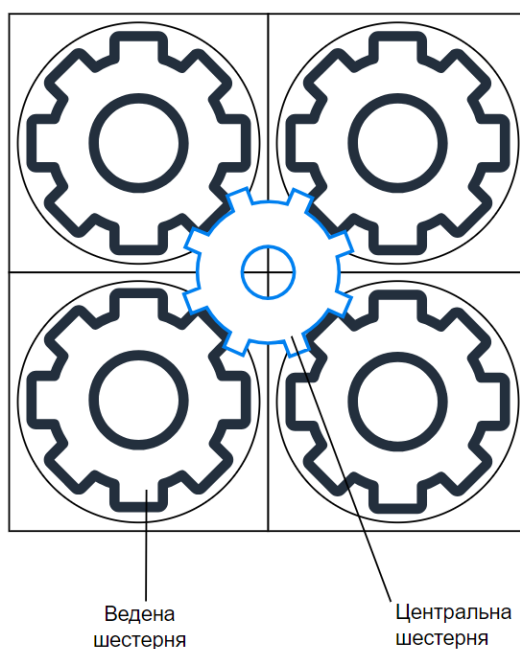


Рисунок 3.8 – Схема взаємодії чотирьох обертальних блоків

На рисунку 3.9 показано ескіз конструкції модуля сортування деталей на конвеєрі.

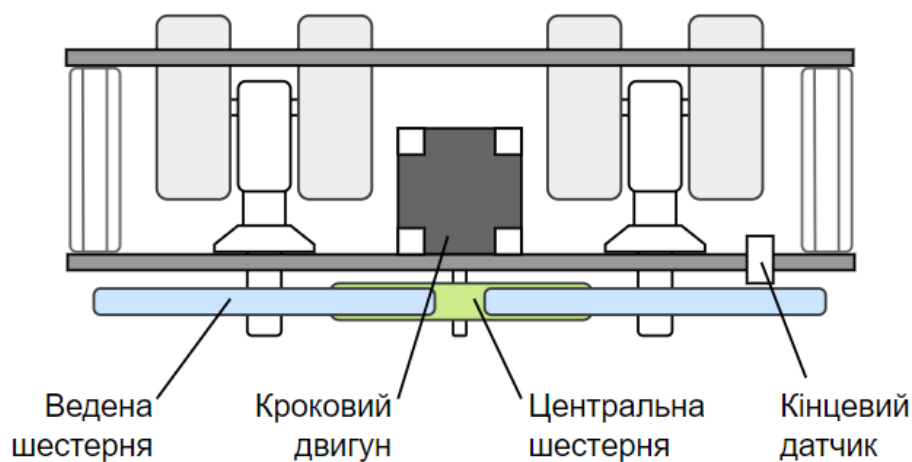


Рисунок 3.9 – Ескіз конструкції модуля сортування деталей на конвеєрі

На даному рисунку видно розташування ведених шестерень на головній центральній. Кроковий двигун встановлено по центру модуля сортування. Команди для виконання кроків двигун надходять від модуля керування.

Після включення напруги живлення необхідно виконання калібрування. Для цього використовується кінцевий датчик, що розташовано біля однієї з ведених шестерень.

3.2 Вибір електронних компонентів для побудови модуля сортування

3.2.1 Вибір мікроконтролеру

В якості контролеру використовується модуль Arduino Nano (рис. 3.10).

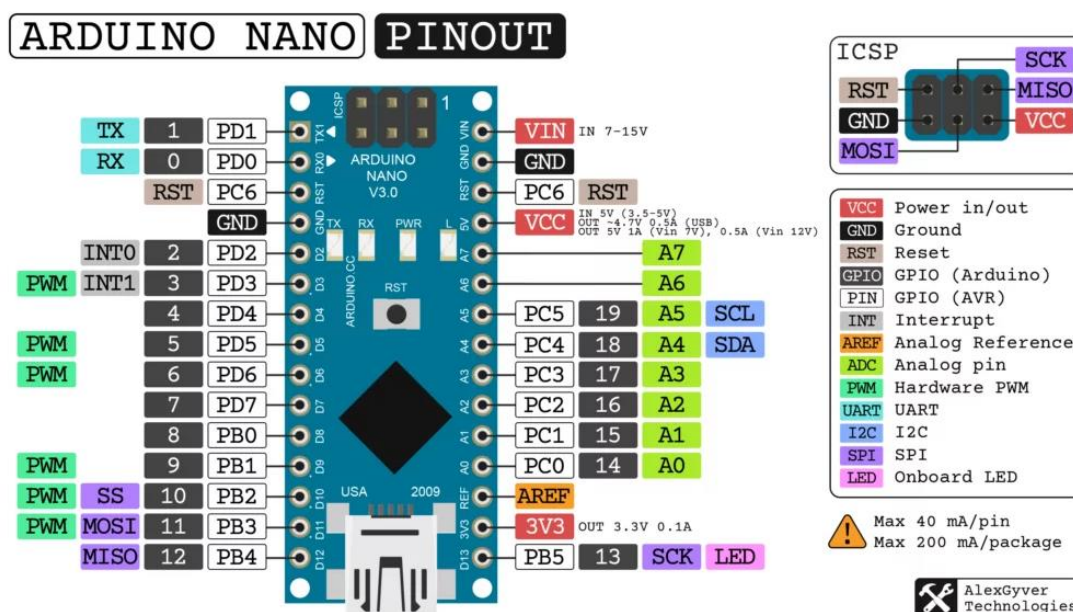


Рисунок 3.10 – Розташування контактів на платі Arduino Nano

Arduino Nano – одна із найпопулярніших моделей плат сімейства Ардуїно. Він є налагоджувальною платою на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega328p (є версії на ATmega168p) сімейства AVR – досить старе, але добре збалансоване за характеристиками та комфортне в освоєнні та програмуванні. На базі цього МК існують плати Arduino UNO і Arduino Pro Mini, але вони дуже поступаються

моделі Nano у зручності використання. В порівнянні з Nano, UNO має погану конструкцію (не вставляється в макетну плату) і на ній виведені не всі аналогові піни мікроконтролера, незважаючи на величезний розмір плати. Pro Mini вимагає наявності зовнішнього USB програматора і має незручне розташування пінів для роботи на макетній платі.

Arduino Nano є найкращою платою для розробки проектів з робототехніки, а також використання як основи для проекту.

Переваги даної плати:

- завантаження прошивки через бортовий USB порт;
- широкий діапазон напруги живлення: стабільно працює від ~3 до 5 Вольт при живленні "напрямую" (від 1.5 В при зниженні частоти процесора);
- бортовий стабілізатор напруги для зовнішнього живлення 7.. 15 Вольт;
- невелике споживання струму, кілька режимів енергозбереження;
- зручний форм-фактор – плата вставляється в макетну плату, що дозволяє швидко збирати схеми будь-якої складності;
- багато контактів: 20 цифрових пінів, 8 аналогових (з них 6 поєднані з цифровими);
- логічний рівень – 5 В;
- хороша струмовіддача у контактів у порівнянні з іншими Ардуїно-сумісними платами: може самостійно жити світлодіоди та качати транзистори;
- апаратна підтримка найпопулярніших інтерфейсів: UART, I2C, SPI;
- достатньо пам'яті для більшості проектів;
- зручний у використанні, добре написаний офіційний даташит для повноцінної роботи з МК та доступу до всіх його можливостей;
- швидка компіляція та завантаження прошивки;
- невисока ціна в порівнянні з іншими Arduino платами, але не найкраще співвідношення ціна/можливості серед інших Ардуїно-сумісних плат на ринку.

3.2.2 Вибір драйверу крокового двигуна

Модуль драйвера mini L298N призначений для управління колекторними двигунами постійного струму невеликої потужності за допомогою PWM. Модуль виконаний в максимально компактному виконанні для зручного застосування в різних самохідних і радіокерованих іграшках, систем поливу, управління соленоїдами і електромагнітними двигунами і т.д.

На рисунку 3.11 показана схема підключення драйвера mini L298N до Arduino Nano.

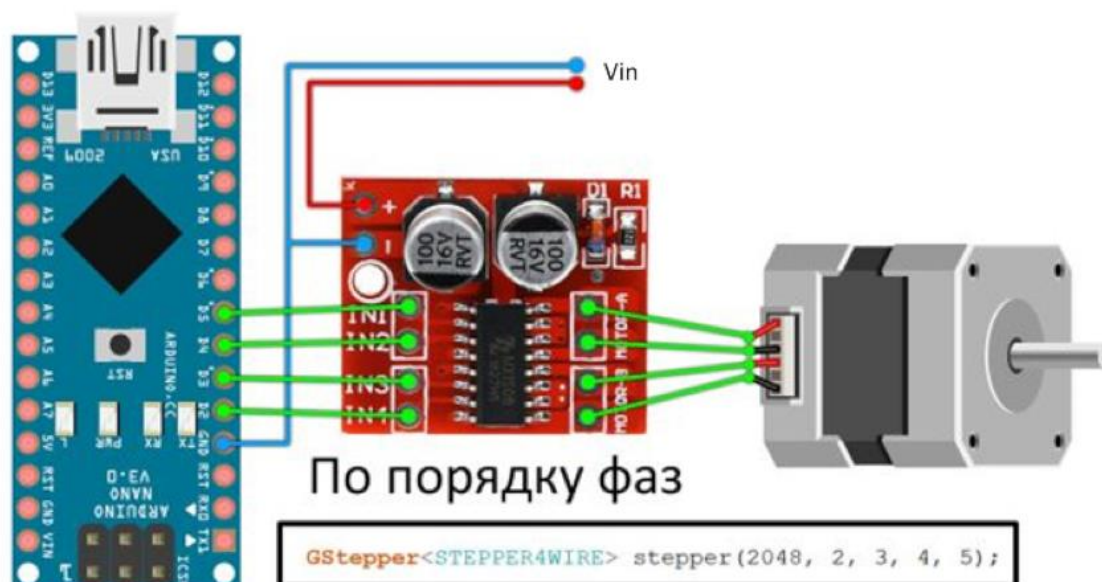


Рисунок 3.11 – Схема підключення драйвера mini L298N до Arduino Nano

Характеристики модуля:

- мікросхема драйвера: MX1616 / MX1508;
- живлення для двигунів: від +2 до +9 В (DC);
- макс. струм моторів: до 1.5 А;
- напруга логіки: +1.8 до +6 В;
- розміри: 25 x 21 x 6 мм.

3.2.3 Вибір драйвера двигунів постійного струму

Для підключення двигунів постійного струму в даній роботі використовується модуль реле 5В 10А з керуючим сигналом високого рівня (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Модуль реле 5В 10А

5В-ий 1-канальний модуль реле високого рівня (high level), вимагає 5-20мА для спрацьовування, тобто може управлятися безпосередньо з виводів мікроконтролера Arduino або подібних. Вмикається логічною одиницею, вимикається логічним нулем. На модулі є два світлодіоди: червоний сигналізує про наявність напруги живлення, зелений - про спрацьовування реле.

Характеристики модуля:

- максимальний струм комутації реле 10А при 250В;
- на платі є світлодіод що сигналізує про поточний статус реле;
- розміри: 44x17x17мм.

Підключення двигуна до модуля управління виконується відповідно до схеми, що зображена на рисунку 3.13.



Рисунок 3.13 – Схема підключення двигуна до модуля управління

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОБОТИ БЛОКА УПРАВЛІННЯ МОДУЛЯ СОРТУВАННЯ

4.1 Розробка алгоритму роботи

На рисунку 4.1 показано алгоритм роботи модуля сортування в режимі калібрування.



Рисунок 4.1 – Алгоритм роботи модуля сортування в режимі калібрування

На початку роботи модуля сортування необхідно виконати калібрування. В процесі калібрування шестерні механізму повинні зайняти початкове положення. Для цього використовується кінцевий датчик оптичного типу (рис. 4.2) KY-033 на TCRT5000.



Рисунок 4.2 – Кінцевий датчик KY-033 на TCRT5000

Даний пристрій являє собою універсальний компактний модуль виявлення білої мітки. Датчик TCRT5000 працює в інфрачервоному діапазоні і дозволяє впевнено визначати наявність мітки на відстані від 1мм до 25мм. Наявність компаратора дозволяє встановити граничне значення спрацювання.

Після включення живлення контролер вмикає режим обертання двигуна за годинниковою стрілкою. Далі кроковий двигун робить серію кроків доки не спрацює кінцевий датчик.

Після спрацювання датчика контролер видає серію імпульсів для того, щоб перевести механізм в початкове положення. Таким чином колеса встановлюються в положення, що відповідає паралельному розташування відносно напрямку руху конвеєрної лінії.

Далі модуль сортування готовий до прийняття та сортування пакунків з деталями.

На рисунку 4.3 показано алгоритм роботи модуля сортування.

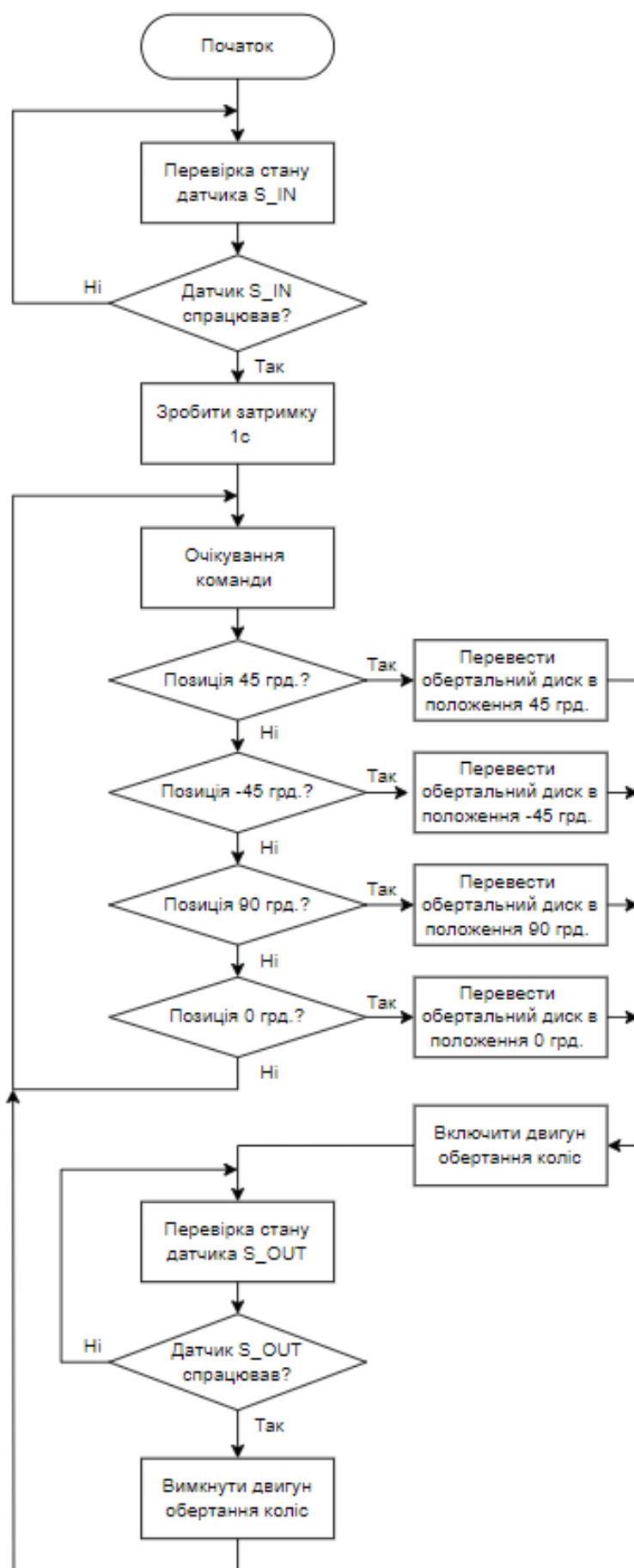


Рисунок 4.3 – Алгоритм роботи модуля сортування

Контролер модуля сортування знаходиться в стані очікування спрацювання вхідного датчика S_IN, що розташовано на вході до зони сортування.

Відповідно до діаграми, що наведено на рис. 2.15, після спрацювання датчику контролер очікує появи логічного нуля на виході S_IN. Поява логічного нуля означає, що пакунок зайшов до зони сортування. Для того, щоб пакунок перемістився в центр модуля сортування в програмі необхідно зробити затримку на 1 с.

Після затримки обертальні колеса зупиняються і контролер приймає рішення про напрямок сортування пакунку з деталями. В залежності від прийнятого рішення кроковий двигун виконує кроки до досягнення заданого куту.

Після завершення позиціонування обертового механізму знов включаються двигуни, що рухають колеса для переміщення пакунку з деталями до виходу із зони сортування.

Сигналізує про вихід із зони сортування один з датчиків S_OUT1, S_OUT2, S_OUT3. Після спрацювання датчика двигун що рухає колеса вимикається, а обертальний механізм повертається в початковий стан.

4.2 Розробка програми для мікроконтролера

Програма написана за допомогою середовища розробника Arduino IDE. На початку програми виконується опис змінних та об'єктів, що використовується в програмі (рис. 4.4).

За допомогою рядка `#include <Stepper.h>` підключаємо бібліотеку Stepper, яка дозволяє працювати з кроковими двигунами.

```
1  #include <Stepper.h>
2
3  #define SENS_1 4
4  #define S_IN1 9
5  #define S_OUT1 10
6  #define S_OUT2 11
7  #define S_OUT3 12
8
9  #define MOTOR 13
10
11 // change this to the number of steps on your motor
12 #define STEPS 200
13
14 bool isDetailExists = false;
15
16 Stepper stepper(STEPS, 8, 7, 6, 5);
```

Рисунок 4.4 – Опис змінних та об'єктів, що використовується в програмі

Директиви `#define SENS_1 4`, `#define S_IN1 9`, `#define S_OUT1 10`, `#define S_OUT2 11`, `#define S_OUT3 12` визначаємо номери пінів для підключення сенсорів (SENS_1, S_IN1, S_OUT1, S_OUT2, S_OUT3).

За допомогою рядку «`#define MOTOR 13`» визначаємо пін, на якому підключений двигун постійного струму.

Рядок «`#define STEPS 200`» визначає кількість кроків, які повинен здійснити кроковий двигун для виконання повного обертання.

Змінна `isDetailExists` типу `bool` ініціалізується як `false` та вона використовується для відстеження наявності деталі.

Рядок «`Stepper stepper(STEPS, 8, 7, 6, 5)`» ініціалізує об'єкт крокового двигуна. Перший параметр `STEPS` вказує на кількість кроків на обертання. Подальші параметри – це номери пінів, на яких підключені входи крокового двигуна (в даному випадку використовуються піни 8, 7, 6, 5).

Функція `setup()` (рис. 4.5) виконується один раз при початковому запуску мікроконтролера. Вона призначена для ініціалізації різних параметрів та компонентів перед початком основної роботи програми.

```
18 void setup() {
19     // set the speed of the motor to 30 RPMs
20     stepper.setSpeed(30);
21     Serial.begin(115200);
22
23     pinMode(SENS_1, INPUT);
24     pinMode(S_IN1, INPUT);
25     pinMode(S_OUT1, INPUT);
26     pinMode(S_OUT2, INPUT);
27     pinMode(S_OUT3, INPUT);
28
29     pinMode(MOTOR, OUTPUT);
30     isDetailExists = false;
31
32     digitalWrite(MOTOR, LOW);
33     calibrate();
34 }
```

Рисунок 4.5 – Функція Setup

На початку даної функції виставляється швидкість обертання крокового двигуна на 30 обертів за хвилину (RPM) за допомогою методу `setSpeed()`.

Далі виконується ініціалізація послідовного порту на швидкість передачі даних 115200 біт за секунду за допомогою функції `Serial.begin()`.

Режими роботи пінів, на яких підключені сенсори налаштовуємо на вхід, за допомогою функції `pinMode()`. Вивід, на який підключено двигун постійного струму, налаштовуємо на вихід за допомогою функції `pinMode()`.

Далі встановлюємо значення змінної `isDetailExists` як `false` та записуємо логічне значення `LOW` на пін `MOTOR`, що, ймовірно, вимикає двигун, за допомогою функції `digitalWrite()`.

Наприкінці викликаємо функцію `calibrate()`, яка виконує калібрування механізму модуля сортування перед початком роботи.

На рисунку 4.6 показана функція `Separate`, що виконує розподіл потоку пакунків деталей на конвеєрі.

```

44 void separate(int angleValue)
45 {
46     stepper.step(angleValue); //Повертаємо механізм на заданий кут
47     digitalWrite(MOTOR, HIGH);
48     if (angleValue == 45)
49     {
50         while (digitalRead(S_OUT1) == true){};
51         while (digitalRead(S_OUT1) == false){};
52         delay(1000);
53     }
54     else if (angleValue == 180)
55     {
56         while (digitalRead(S_OUT2) == true){};
57         while (digitalRead(S_OUT2) == false){};
58         delay(1000);
59     }
60     else if (angleValue == -45)
61     {
62         while (digitalRead(S_OUT3) == true){};
63         while (digitalRead(S_OUT3) == false){};
64         delay(1000);
65     }
66     digitalWrite(MOTOR, LOW);
67     stepper.step(-angleValue); //Повертаємо механізм в початкову позицію
68 }

```

Рисунок 4.6 – Функція Separate, що виконує розподіл потоку пакунків деталей на конвеєрі

Кроковий двигун повертає механізм на заданий кут, переданий в якості аргументу `angleValue`. Далі вмикається двигун, що обертає колеса модуля сортування.

Умовні оператори `if-else` перевіряють значення `angleValue`, щоб визначити, до якого сенсору (`S_OUT1`, `S_OUT2`, `S_OUT3`) повернений механізм.

У циклах `while` очікується, поки сенсор, з якого повинна відбутися віддача деталі, буде в зміненому стані (залежно від його вимкнення чи увімкнення).

Після затримки на 1 секунду вимикаємо механізм сортування та повертаємо його в початкову позицію, здійснюючи зворотний рух крокового двигуна на відповідний кут.

За отримання команд від контролера конвеєра відповідає функція `GetCommand` (рис. 4.7).

```

70 void GetCommand(){
71     if (Serial.available() > 0) {
72         delay(100);
73         String str = Serial.readString();
74         str.trim();
75
76         int separatorIndex = str.indexOf('='); // Знаходимо індекс роздільника "="
77
78         if (separatorIndex != -1) { // Якщо роздільник знайдено
79             String command = str.substring(0, separatorIndex); // Виділяємо команду
80             String parameter = str.substring(separatorIndex + 1); // Виділяємо параметр
81
82             int angleValue = parameter.toInt(); // Переводимо параметр в int
83
84             separate(angleValue);
85         }
86     }
87 }

```

Рисунок 4.7 – Функція GetCommand

Функція `GetCommand()` перевіряє доступність даних для читання з послідовного порту (`Serial.available() > 0`) та робить коротку затримку (`delay(100)`), щоб упевнитися, що пакунок з деталями опинився в зоні розподілення.

Далі читаємо рядок даних, який надійшов через послідовний порт, за допомогою `Serial.readString()`, викликаємо метод `trim()`, щоб видалити зайві пробіли з початку та кінця рядка.

Для виділення з отриманого рядку команду та параметр, знаходимо індекс роздільника "=" в рядку. Якщо роздільник знайдено (`separatorIndex != -1`), відокремлюємо команду та параметр з рядка.

Далі перетворюємо параметр з рядкового типу в ціле число методом `toInt()` та викликаємо функцію `separate(angleValue)`, якій передаємо отримане значення параметра для подальшої обробки.

Для моделювання роботи створеної програми було використано Веб-середовище TinkerCAD.(рис.4.8). В симуляції було використано плату Arduino UNO замість Arduino Nano в зв'язку з відсутністю останньої, також було використано сервопривід, в якості аналога крокового двигуна, 5в двигун підключався через реле управління, на яке подається додаткове живлення.

Для підключення датчика S_IN зарезервовано пін 9, а для датчиків S_OUT піни 10-12.

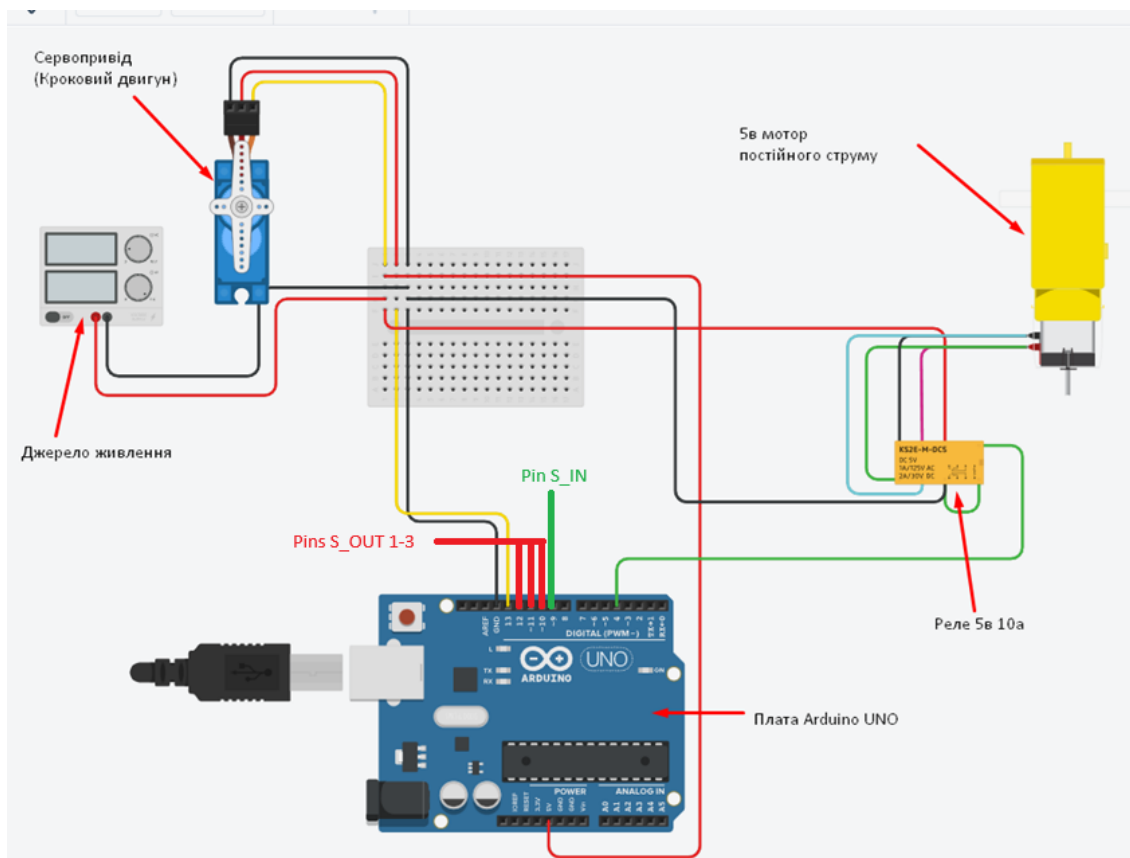


Рисунок 4.8 – Модель блока управління модулем сортування

4.3 Синтез двоконтурної системи управління конвеєрною лінією

На (рис. 4.9) кожен контур системи регулювання електроприводу має регулятори швидкості та струму W_{PC}, W_{PT} і об'єкти регулювання W_{P1}, W_{P2} . Кожен внутрішній контур регулювання підлягає оптимізації, тобто такого вибору параметрів регулятора, при якому задовольняється задана якість регулювання.

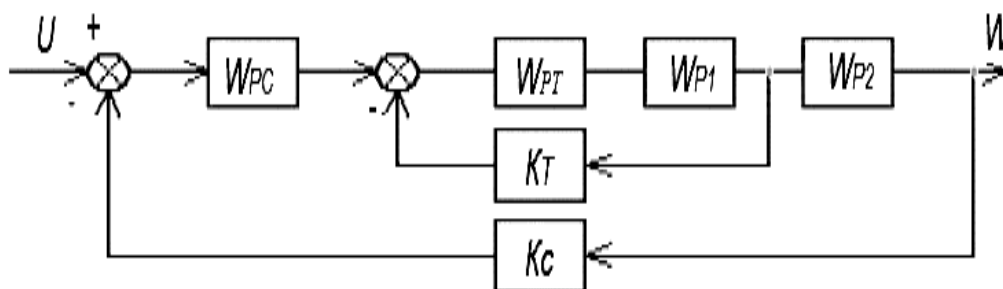


Рисунок 4.9 – Система регулювання електроприводу

Регулятор будь-якого контуру є в більшості випадків послідовною коригуючою ланкою. Передавальна функція регулятора визначається структурою і параметрами відповідної ланки об'єкта регулювання, а також критерієм оптимізації цього контуру. Кожен внутрішній контур регулювання підлягає оптимізації. Тобто такого вибору параметрів регулятора, при якому задовольняється задана якість регулювання. Під заданою якістю регулювання розуміється перехідний процес при ступінчастому вхідному сигналі, що характеризує певним перерегулюванням і швидкодією. Найбільшого поширення набули два критерії оптимізації: модульний і симетричний.

При модульному критерії оптимізації відпрацювання ступеневого вхідного сигналу відбувається з перерегулюванням. Передавальна функція замкнутого контуру з регулятором приводиться до вигляду коливальної ланки з коефіцієнтом демпфірування $\xi = \sqrt{2}/2$

$$\Phi(p) = \frac{1/k_{oc}}{2T^2\mu p^2 + 2T\mu p + 1} \quad (4.1)$$

де $T\mu$ – мала не компенсуюча постійна часу в контурі;

k_{oc} – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку.

Тривалість перехідного процесу рівна $4.7 T\mu$ і не залежить від постійної часу об'єкта регулювання. Такий спосіб настройки називається ще налаштуванням на оптимум по модулю (ОМ). Сенс цього терміну в тому, що при налаштуванні на ОМ прагне в широкій смузі частот зробити модуль частотної характеристики замкнутого контуру до одиниці.

Симетричний критерій оптимізації (СО) широко застосовується в контурах, що містять дві інтегральних ланки або одну інтегральну і одну інерційну ланку в об'єкті регулювання при досить великій постійній часу об'єкта регулювання.

Передавальна функція замкнутого контуру з керованого впливу має вигляд:

$$\Phi(p) = \frac{(4T\mu p + 1)}{(2T\mu p + 1)(4T\mu^2 p^2 + 2T\mu p + 1)} \quad (4.2)$$

При ступінчастій керуючій дії, час першого досягнення вихідної величини сталого значення в контурі, налаштованому на СО, становить 3.1 з $T\mu$, максимальне перерегулювання досягає 43% .

Проведемо синтез двоконтурної системи електроприводу з підлеглим регулюванням. Оптимізація починається з внутрішнього токового контуру за модульним критерієм. На структурній схемі $W_{PT}(p)$ – передаточна функція регулятора струму; T_M – електромеханічна стала часу електроприводу; T_s – електромагнітна постійна часу головного ланцюга; K_{II} – коефіцієнт посилення тиристорного перетворювача; T_y – постійна часу системи тиристорного перетворювача; T_z – постійна часу системи тиристорного перетворювача; K_T – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку по струму. Постійна $T\mu$ визначається запізненням системи управління, наявністю фільтрів та інше. І вона є некомпенсованою малою постійною часу. Структурна схема розімкнутого ланцюга регулювання струму показана (рис. 4.10). У цій схемі опущений зворотній зв'язок по ЕРС.

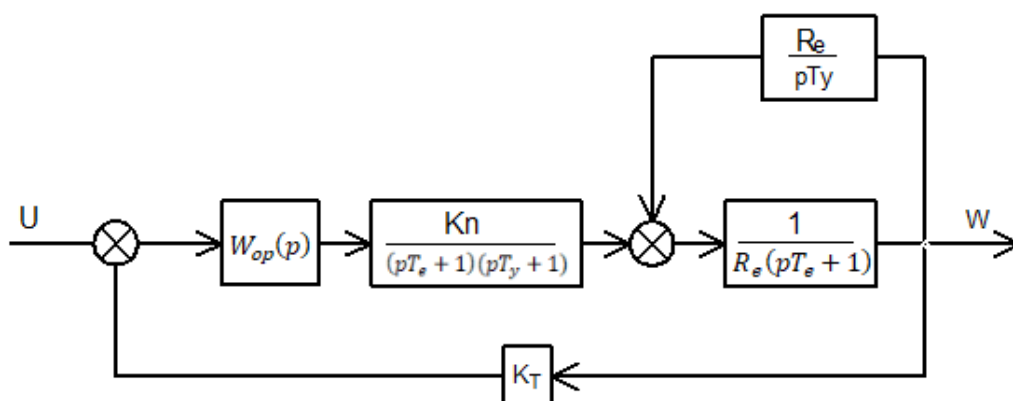


Рисунок 4.10 – Структурна схема контуру струму.

Так як вносима нею помилка по модулю і фазі не велика. У загальному вигляді передавальна функція розімкнутого контуру дорівнює:

$$W_{роз}(p) = W_{pT}(p)W_0(p) \quad (4.3)$$

звідки

$$W_{pT}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{W_0(p)} \quad (4.4)$$

Після компенсації великої постійної часу передавальна функція розімкнутого контуру приводиться до виду:

$$W_{роз}(p) = \frac{1}{pT_0\Pi(p\tau + 1)} \quad (4.5)$$

де T_0 – постійна, яка визначається з умови максимальної частоти пропускання замкнутого контуру.

При $T_0 \geq 2 \sum_1^k \tau$ рівняння можна записати у вигляді:

$$W_{роз}(p) = \frac{1}{pT_0(pT_\mu + 1)} \quad (4.6)$$

$$\Pi(p\tau + 1) \cong p \sum_1^k \tau + 1 = pT_\mu + 1 \quad (4.7)$$

де $\sum_1^k \tau_i = T_\mu$ – сума малих постійних часу.

Передавальна функція об'єкта регулювання з урахуванням рівності запишеться:

$$W_o(p) = W_{OK}(p) \frac{1}{pT_\mu + 1} \quad (4.8)$$

З урахуванням умови оптимізації $T_0=2T_\mu$, маємо:

$$W_{op}(p) = \frac{1}{W_{OK}(p)p2T_\mu} \quad (4.9)$$

Для контуру струму рис(2.3.б)

$$W(p) = \frac{\frac{K_n K_T}{R_e}}{(pT_e + 1)(pT_y + 1)} \quad (4.10)$$

Підставимо (2.10) в (2.9)

$$W_{pt}(p) = \frac{(pT_e + 1)(pT_y + 1)}{\frac{K_n K_T}{K_e} \cdot p2T_\mu} \quad (4.11)$$

Цією передавальною функцією відповідає пропорційний інтегрально - диференціальний регулятор (ПІД). Якщо припустити, що система управління без інерційна ($T_y=0$), то:

$$W_{pt}(p) = \frac{(pT_e + 1)}{\frac{K_n K_T}{K_e} \cdot p2T_\mu} \quad (4.12)$$

Постійна часу інтегрування регулятора струму

$$T_p = 2T_\mu \frac{K_n K_T}{K_e} = R_{e\tau} C \quad (4.13)$$

Постійна часу зворотного зв'язку регулятора струму:

$$T_{OC} = T_3 = R_{OC}C \quad (4.14)$$

Передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$K_c = K_{dc} \frac{K_{3T}}{R_T} \quad (4.15)$$

де K_{dc} – передавальний коефіцієнт датчика струму, [В/А].

З рівнянь маємо:

$$2T\mu = \frac{R_T C R_3}{K_n K_{dc}} \quad (4.16)$$

Рівняння дозволяють знайти параметри регулятора струму. Передавальна функція замкнутого контуру струму має вигляд:

$$W(p) = \frac{I_n(p)}{U_{PC}(p)} = \frac{1/K_T}{p^2 2T_\mu^2 + 2T_{MP} + 1} \quad (4.17)$$

Перехідний процес в контурі струму при раптовому стопорінні двигуна еквівалентний стрибкоподібному обуренні DE_n , при $DU_{3T}=0$ рівняння для струму в замкнутому контурі матиме вигляд:

$$I_n(p) = I_{K3} \frac{p 2T_\mu (p T_\mu + 1)}{(p T_{3+1}) [p 2T_\mu (p T_\mu + 1) + 1]} \quad (4.18)$$

$$\text{де } I_{K3} = \frac{\Delta E_n}{R_3}$$

Поведінка струму під дією стрибка напруги ΔU_{3T} (при $DE_n=0$) описується рівнянням:

$$I_n(p) = \frac{I_{3max}}{p2T_\mu(pT_\mu + 1) + 1} \quad (4.19)$$

$$\text{де } I_{3max} = \frac{\Delta U_{3T}}{K_T}.$$

Після оптимізації контуру струму оптимізують контур швидкості. Структурна схема розімкнутого контуру швидкості, після відкидання члена другого порядку в рівнянні, наведено на (рис. 4.11).

Для отримання астатичних характеристик по вхідному і обурюючому впливах регулятор швидкості вибирається пропорційно - інтегральним з функцією передачі. Оптимізація ведеться по симетричному критерію.

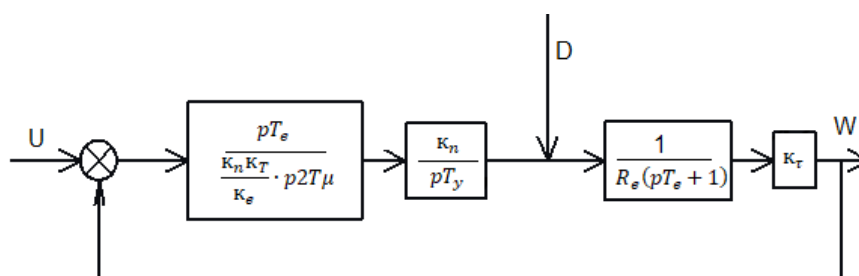


Рисунок 4.11 – Структурна схема контуру швидкості.

$$W_{PC}(p) = \frac{1 + T_1 p}{T_2 p} \quad (4.20)$$

$$\text{де } T_1 = R_2 C_2; T_2 = R_4 C_2.$$

Еквівалентна постійна інтегрування контуру швидкості обертання:

$$B_C = \frac{R_1 \kappa_\tau T_{\text{ЭМ}} c_2 \Phi T_2}{R_2 \kappa_e R_3} \quad (4.21)$$

Еквівалентна мала постійна часу контуру частоти обертання дорівнює:

$$T_{MC} = 2T_{\mu T} + T_k \quad (4.22)$$

Передавальна функція замкнутої системи регулювання має вигляд:

$$W_{\text{ЗАМ}}(p) = \frac{1 + T_1 p}{B_C T_\mu p^3 + B_C p^2 + T_1 p + 1} \quad (4.23)$$

Частота зрізу системи вибирається з умови максимального знака по фазі:

$$W_C = \frac{1}{\sqrt{T_\mu T_1}} \quad (4.24)$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом згідно з ПУЕ – 2011 приміщення належить до класу приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом. Умови, які створюють підвищену і особливу небезпеку (підвищена вологість, струмопровідний пил, струмопровідні підлоги, можливість одночасного дотику до заземлених металоконструкцій будівлі і металевих поверхонь електроприладів), відсутні[9].

З метою зниження небезпеки ураження людини електричним струмом проектом передбачається використання таких технічних засобів захисту:

- необхідно проводити контроль ізоляції відповідно до вимог ПУЕ – 2011. Контроль проводити між нульовим і фазним провідниками і між фазами. Опір ізоляції не менше 500 кОм на фазу. Контроль проводити не рідше 1 разу на рік при відключеному електроживленні;

- в приміщенні використовується система живлючих провідників, трифазна, чотирипровідна з глухо заземленою нейтраллю напругою до 1000 В, тому, згідно з НПАОП 40.1-1.32-01, використовується система заземлення TN-C-S типу.

Всі корпуси ПЕОМ з'єднані з глухо заземленою нейтраллю джерела живлення за допомогою нульового захисного провідника. Автомат захисту вибирається за струмом короткого замикання, час відключення 0,2 с.

Роботи в лабораторії відносяться до робіт категорії 1а – легка фізична робота, яка виконується сидячи.

Оптимальні норми мікроклімату для холодного та теплого періоду року згідно і ДСН 3.3.6.042-99:

- температура від 22 °С до 25 °С;
- відносна вологість від 40 % до 60 %;
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Забезпечуються припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція.

В приміщенні використовується сумісне освітлення: природне та штучне. Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 категорія зорових робіт, що проводяться у приміщенні – III В. Штучне освітлення виконано як загальне, за допомогою світильників з люмінесцентними лампами.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено ескіз технічного засобу автоматизації розподілення потоку деталей на конвеєрної лінії.

Виконано аналіз технічного завдання та аналіз методів сортування деталей з використанням конвеєрів. Проведено огляд існуючих принципів сортування на конвеєрі та аналіз аналогічних рішень. Проведений аналіз показав, що системи сортування на конвеєрах складаються з різноманітних компонентів та підсистем, які спільно працюють для ефективного та точного сортування деталей.

Основою подальшої розробки став сортувальник на основі всеспрямованих та поворотних коліс. Розроблена архітектура модуля сортування на основі аналізу конструкцій сортувальників потоку деталей на конвеєрі обраного типу. Наведено структурну схему блока керування модулем сортування деталей на конвеєрі та формат команд, що передаються в системі.

Розроблена конструкція модуля сортування деталей на конвеєрі. Виконано ескізне проектування конструкції модуля сортування. Наведена пропонується схема конвеєрної лінії, що має один вхідний потік та три вихідних. Надано опис та ескіз блоку з обертальним диском модуля сортування. Виконано вибір електронних компонентів для побудови модуля сортування.

Виконана розробка алгоритму роботи програми управління та розроблена програма роботи блока управління модуля сортування для мікроконтролера Arduino.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – К.: Вид-во стандартів, 2016. – 26 с.
2. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ [електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 27.11.2020 р. № 400. (дата звернення: 22.03.2024)
3. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. № 50. (дата звернення: 22.03.2024)
4. Невлюдов І.Ш. Навчальний посібник з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарева, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023 . – 150 с.
5. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: підручник для студентів закладів вищої освіти ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ФОП Панов А.М., 2021. – 604 с. ISBN 978-617-7947-67-6
6. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник / Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с.
7. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф. Кривий Ріг: КК НАУ. 2018. – 332 с.
8. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
9. Довідкова книга з охорони праці в машинобудуванні/Г.В.Бектобеков, Н.Н.Борисова, В.І.Коротков та ін; За заг. ред. О.Н.Русака - Л.: Машинобудування, 1989. - 541 с.
10. Sorting Through Sorters: Your Guide to Sortation Conveyor. (дата звернення: 27.04.2024).

11. Effective Sorting Solutions Get More Important than Ever Due to COVID-Driven Boom of E-commerce_SNBC. SNBC New Beiyang-Intelligent Products. (дата звернення: 27.04.2024).
12. Narrow-belt Sorter. (дата звернення: 27.04.2024).
13. Activated Roller Conveyors using ARB Technologies. Industrial Conveyor Systems | Quality Conveyor Equipment. (дата звернення: 27.04.2024).
14. Sliding Shoe Sorter: Applications & Use Case. Conveyco. (дата звернення: 27.04.2024).
15. Tilt-Tray Sorter | Ferag AG. Förder-, Sortier- und Verarbeitungslösungen | Ferag AG | Ferag AG. (дата звернення: 27.04.2024).
16. Cross Belt Sorters. (дата звернення: 27.04.2024).
17. T. Sun, Y. Zhang, H. Zhang, P. Wang, Y. Zhao, and G. Liu, “Three-wheel driven omnidirectional reconfigurable conveyor belt design,” in Proc. Chin. Autom. Congr. (CAC), Hangzhou, China, 2019, pp. 101–105, doi: 10.1109/CAC48633.2019.8997050.
18. C. Uriarte, A. Asphandiarb, H. Thamera, A. Benggoloc, and M. Freitagac, “Control strategies for small-scaled conveyor modules enabling high flexible material flow systems,” Proc. CIRP, vol. 79, pp. 433–438, Dec. 2019.