Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Розроблення програмного забезпечення для сортування виробу на конвеєрній лінії на базі QR коду
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТАКІТ-22-1
Артем ЯКИМЕНКО
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

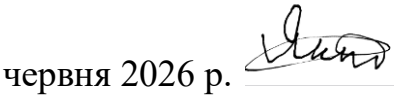
Керівник професор Владислав ЄВСЄЄВ
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри КІТАРБІ _____ Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Я, Якименко Артем Сергійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"08" червня 2026 р.  Артем ЯКИМЕНКО

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
« 04 » липня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачеві Якименко Артему Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення програмного забеспечення для сортування виробу на конвеєрній лінії на базі QR коду
затверджена наказом університету від 04.06.2026 р. № 472 Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 21.07.2026р.
3. Вихідні дані до роботи
3.1 Платформа: Python з використанням бібліотек OpenCV, Pygame,
3.2 Середовище розробки: Visual Studio Code
3.3 Мова програмування: Python
3.4 Можливість апаратної реалізації: так, з використанням PLC, Arduino,
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
4.1 Вступ
4.2 Визначення мети, об'єкта та предмета розробки
4.3 Розроблення структури та архітектури
4.5 Розроблення програмного забеспечення
4.6 Реалізація та тестування програмного забеспечення
4.7 Охорона праці
4.8 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал у вигляді презентації формату PowerPoint (*.ppt) – 10 с. формату А4

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення мети об'єкту і предмету розробки	06.03.26– 08.03.26	викон.
2	Аналіз предметної області	09.03.26 – 17.03.26	викон.
3	Розроблення структури та архітектури	18.03.26 – 31.03.26	викон.
4	Вибір програмних засобів реалізації	01.04.26 – 20.04.26	викон.
5	Розроблення програмного забеспечення	21.04.26 – 04.05.26	викон.
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	05.05.26 – 08.06.26	викон.
7	Подання роботи на перевірку нормоконтролю	22.06.26	викон.
8	Подання роботи на перевірку Інтернетсервісом StrikePlagiarisma	23.06.26	викон.
9	Подання роботи на рецензію	26.06.26	викон.
10	Подання роботи на підпис зав. Кафедри	30.06.26	викон.
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	16.07.26	викон.

Дата видачі завдання 06.03.2026 р.

Здобувач _____ Артем ЯКИМЕНКО
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ професор Владислав ЄВСЄЄВ
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра містить: 79 с., 6 табл., 14 рис., 3 дод., 20 джерел.

QR-КОД, АВТОМАТИЗОВАНЕ СОРТУВАННЯ, КОНВЕЄРНА СИСТЕМА, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, OPENCV, PYTHON, ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ, РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, ПРОМИСЛОВА АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЛОГІЧНЕ КЕРУВАННЯ.

Об’єкт дослідження – процес автоматизованого сортування виробів на конвеєрній лінії із застосуванням сучасних технологій автоматичної ідентифікації, комп’ютерного зору та QR-кодування.

Предмет дослідження є методи, алгоритми та програмні засоби автоматичного розпізнавання QR-кодів і керування процесом сортування виробів на конвеєрній лінії.

У процесі дослідження розглядаються можливості використання мови програмування Python та бібліотек OpenCV і Pygame функцій комп’ютерного зору, моделювання роботи конвеєрної системи та взаємодії між окремими програмними модулями.

Мета роботи – розроблення програмного забезпечення для сортування виробів на конвеєрній лінії на базі QR-коду, яке забезпечує автоматичне зчитування та обробку інформації, визначення напрямку сортування та моделювання роботи конвеєрної системи.

Отриманий результат кваліфікаційної роботи, відноситься цілей сталого розвитку № 9, а саме 9.5 «Посилення наукових досліджень, модернізація технологічного потенціалу промислових секторів та заохочення інновацій, зокрема шляхом збільшення кількості працівників у сфері досліджень і розробок та державних і приватних витрат на дослідження та розробки».

ABSTRACT

The explanatory note to the Bachelor's thesis contains: 79 pages, 6 tables, 14 figures, 3 appendices, 20 sources.

QR CODE, AUTOMATED SORTING SYSTEM, CONVEYOR LINE, COMPUTER VISION, OPENCV, PYTHON, IMAGE PROCESSING, QR CODE RECOGNITION, INDUSTRIAL AUTOMATION, CONTROL SYSTEM.

The object of the study is the process of automated sorting of products on a conveyor line using modern technologies of automatic identification, computer vision and QR coding.

The subject of the study is methods, algorithms and software tools for automatic recognition of QR codes and control of the process of sorting products on a conveyor line.

The study considers the possibilities of using the Python programming language and the OpenCV and Pygame libraries for computer vision functions, modeling the operation of the conveyor system and interaction between individual software modules.

The purpose of the work is to develop software for sorting products on a conveyor line based on a QR code, which provides automatic reading and processing of information, determination of the sorting direction, and modeling of the operation of the conveyor system.

The obtained result of the qualification work refers to the goals of sustainable development No. 9, namely 9.5 "Strengthening scientific research, upgrading the technological potential of industrial sectors and encouraging innovation, in particular by increasing the number of employees in research and development and public and private spending on research and development".

ЗМІСТ

Перелік скорочень 9
Вступ 10
1 Аналіз сучасних методів сортування на коневерній лінії 12
1.1 Аналіз конвеєрних ліній сортування 12
1.2 Аналіз і класифікація QR-кодів 13
1.3 Аналіз методів декодування QR-кодів 16
1.4 Аналіз методів керування конвеєрної лінії сортування 17
2 Розробка загальной структурі системи сортування виробів 19
2.1 Загальна структура сортування виробів 19
2.2 Математичне забезпечення процесу зчитування QR-коду 23
2.3 Алгоритм роботи системи сортування 25
2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення 28
2.5 Аналіз роботи системи при пошкодженні QR-коду 30
2.6 Реалізація зчитування QR-коду 34
2.7 Розробка программи для моделювання конвеєрної лінії 37
3 Експерементальні дослідження та аналіз отриманних результатів 40
3.1 Постановка задач системи сортування виробів 40
3.2 Постановка критеріїв тестування систем сортування 43
3.3 Експеримент 1. Тестування швидкості розпізнавання QR-кодів 46
3.4 Експеримент 2. Оцінювання продуктивності системи сортування 48
3.5 Експеримент 3. Аналіз впливу швидкості конвеєрної лінії на якість зчитування QR-кодів 52
3.6 Аналіз умов праці та вимог безпеки 55
Висновки 60
Перелік джерел посилання 62
Додаток А Лістинг основних фрагментів програмного коду 64
Додаток Б Приклади тестових QR-кодів для сортування виробів 65
Додаток В Результати експериментального тестування системи 66

Додаток Г Демонстраційний матеріал 68

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

КІТАР – комп’ютерно-інтегровані технології, автоматизація та робототехніка;

ПКЗЗ – програмно-керовані засоби зв’язку;

ПЗ – програмне забезпечення;

ТАУ – теорія автоматичного управління;

CV – Computer Vision;

FPS – Frames Per Second;

GUI – Graphical User Interface;

OpenCV – Open Source Computer Vision Library;

QR – Quick Response (QR-код);

ROI – Region of Interest;

UI – User Interface.

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості характеризується активним впровадженням автоматизованих систем керування технологічними процесами. Одним із найважливіших напрямків автоматизації виробництва є створення систем сортування виробів, які забезпечують підвищення продуктивності праці, зменшення кількості помилок та скорочення витрат на обробку продукції.

Одним із перспективних способів ідентифікації виробів є застосування QR-кодів, які містять значний обсяг інформації та можуть бути швидко зчитані за допомогою сучасних засобів комп’ютерного зору. QR-коди широко використовуються у промисловості, логістиці, складських системах та торговельних мережах завдяки високій надійності, простоті використання та можливості зберігати різноманітні дані про об’єкт.

Об'єктом розробки є процес автоматизованого сортування виробів на конвеєрній лінії із використанням технології QR-кодування.

Предметом розробки є програмне забезпечення для розпізнавання QR-кодів, обробки отриманої інформації та керування процесом сортування виробів.

Актуальність теми дипломної роботи обумовлена необхідністю розроблення сучасних програмних засобів, які забезпечують автоматичне розпізнавання QR-кодів, обробку отриманої інформації та прийняття рішень щодо подальшого сортування виробів.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення програмного забезпечення для сортування виробів на конвеєрній лінії на базі QR-коду, яке забезпечує автоматичне зчитування та обробку інформації, визначення напрямку сортування та моделювання роботи конвеєрної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

–провести аналіз сучасних методів автоматизованого сортування виробів;

– дослідити технології QR-кодування;

– розробити алгоритм роботи системи;

– обрати програмні засоби реалізації;

– створити програмне забезпечення для розпізнавання QR-кодів;

– виконати моделювання конвеєрної системи та провести тестування розробленого програмного забезпечення;

– підготувати та оформити кваліфікаційну роботу відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015 [1] і методичних вказівок із підготовки та оформлення кваліфікаційних робіт здобувачів першого (бакалаврського) рівня спеціальності 174 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» [2].

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої системи як основи для створення реальних промислових комплексів автоматизованого сортування виробів із використанням технологій комп’ютерного зору та QR-кодування.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СОРТУВАННЯ НА КОНВЕЄРНІЙ ЛІНІЇ

1.1 Аналіз конвеєрних ліній сортування

На сьогоднішній день конвеєрні лінії сортування широко використовуються у різних сферах діяльності. Найчастіше їх можна зустріти на виробництві, складах, у логістичних центрах та наприклад у поштових службах.

Основним елементом такої системи є конвеєр. Найбільш поширеними є стрічкові конвеєри, оскільки вони прості у використанні, надійні та підходять для більшості задач.

Щоб система могла визначити, що саме знаходиться на конвеєрі, використовуються різні датчики. Найпростішими є оптичні датчики, які фіксують наявність об’єкта та його положення.

Конвеєрні лінії сортування можна класифікувати за різними ознаками. Наприклад, за рівнем автоматизації вони поділяються на ручні, напівавтоматичні та автоматичні. У ручних системах значна частина роботи виконується людиною

Основною перевагою конвеєрних систем є висока продуктивність. Вони можуть працювати безперервно і обробляти великі обсяги продукції. Також важливою перевагою є точність. Система працює за заданим алгоритмом, тому ймовірність помилок значно нижча, ніж при ручному сортуванні.

Проте є і певні недоліки. Найбільш очевидний – це висока вартість впровадження. Такі системи потребують значних інвестицій. Також вони потребують регулярного обслуговування. У випадку поломки одного з елементів може зупинитися вся система, що призводить до втрат.

1.2 Аналіз і класифікація QR-кодів

На сьогоднішній день QR-коди стали дуже поширеним способом передачі інформації. Їх можна побачити практично всюди: у магазинах, на упаковках товарів, у рекламі, в меню кафе, на квитках і навіть у банківських додатках.

QR-код [3] (Quick Response code) – це двовимірний штрих-код, який складається з чорних і білих квадратів. На відміну від звичайних штрих-кодів, які зчитуються тільки в одному напрямку, QR-коди працюють у двох вимірах. Саме тому вони можуть містити значно більше інформації [3].

Головна ідея QR-коду полягає в тому, що будь-яку інформацію можна закодувати у вигляді спеціального зображення. Потім це зображення зчитується камерою, і програма перетворює його назад у текст, посилання або інші дані.

Процес зчитування виглядає досить просто: камера фіксує зображення, далі алгоритм знаходить QR-код, визначає його межі, вирівнює і декодує інформацію.

QR-коди можна розділити на кілька типів залежно від різних параметрів.

Статичні коди – це найпростіший варіант. Інформація в них записується один раз і не змінюється. Якщо потрібно щось змінити, доведеться створювати новий код.

Динамічні QR-коди більш гнучкі. Вони дозволяють змінювати інформацію без зміни самого коду. Наприклад, можна змінити посилання або відслідковувати, скільки разів код був відсканований. Такі коди часто використовуються у бізнесі та маркетингу.

QR-коди можуть мати різний рівень захисту від пошкоджень [3]. Існує чотири рівні:

1) низький;

2) середній;

3) високий;

4) максимальний.

Чим вищий рівень, тим більше частину коду можна пошкодити, і він все одно буде працювати. Але при цьому зменшується кількість інформації, яку можна записати.

Приклад класичного QR-кода зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Класичний QR-код

Приклад QR-коду з логотипом зображено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 –QR-код з логотипом

Приклад пошкодженого QR-коду зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Пошкоджений QR-код (внаслідок фізичного контакту)

Кольоровий QR-код зображено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Кольоровий QR-код (внаслідок фізичного контакту)

Отже, QR-коди є простим і ефективним способом передачі інформації. Вони дозволяють швидко отримати доступ до даних і широко використовуються у сучасному світі. Завдяки своїм можливостям та простоті, вони залишаються актуальними і продовжують розвиватися.

1.3 Аналіз методів декодування QR-кодів

На сьогоднішній день QR-коди широко використовуються у різних сферах, тому питання їх швидкого та точного декодування є дуже важливим. Декодування – це процес зчитування QR-коду та перетворення його у зрозумілу для користувача інформацію, наприклад текст або посилання.

Сам процес декодування складається з кількох етапів. Спочатку система повинна знайти QR-код на зображенні. Це може бути фото з камери або вже готове зображення. Далі визначаються межі коду та його положення у просторі. Після цього виконується вирівнювання, і лише потім відбувається безпосереднє зчитування інформації.

Існує кілька основних методів декодування QR-кодів, які відрізняються складністю та точністю.

Класичні методи обробки зображень.

Найпростішим підходом є використання класичних методів обробки зображень. У цьому випадку застосовуються алгоритми, які дозволяють знайти контури QR-коду, визначити його структуру та зчитати дані.

Після знаходження коду виконується його вирівнювання, оскільки він може бути повернутий або нахилений. Потім система розбиває код на маленькі елементи (модулі) і визначає, які з них чорні, а які білі.

Перевагою такого методу є простота та швидкість. Але він погано працює у складних умовах, наприклад при поганому освітленні або якщо код частково пошкоджений.

Корекція помилок у QR-кодах.

Однією з важливих особливостей QR-кодів є те, що вони мають вбудовану систему корекції помилок.

Найчастіше використовується алгоритм Ріда-Соломона [3]. Його суть полягає в тому, що в QR-код додаються додаткові контрольні дані. Завдяки цьому система може відновити втрачені частини інформації, виправити помилки, які виникли через пошкодження або спотворення та забезпечити стабільне декодування навіть при частковому закритті коду.

1.4 Аналіз методів керування конвеєрної лінії сортування

Сьогодні конвеєрні лінії сортування – це одна з найважливіших частин будь-якого виробництва чи логістичного центру. Вони дозволяють швидко і точно сортувати вантажі, економлячи час і гроші, а також мінімізуючи людські помилки.

Принцип роботи конвеєрної лінії сортування.

Конвеєрна лінія складається з кількох ключових елементів:

– транспортна частина – стрічковий, роликовий або ланцюговий конвеєр;

– сенсори та датчики – визначають характеристики вантажу: вага, розмір, колір або штрих-код;

– механізми перенаправлення – штовхачі, важелі або «відгалужувачі», які відправляють вантаж у потрібну секцію.

Основне завдання керування – забезпечити безперервний рух вантажу та точне сортування при оптимальній швидкості.

Основні методи керування:

– ручне керування (оператор слідкує за вантажем і сам керує механізмами. Плюси: швидке реагування на нестандартні вантажі, не потребує дорогого обладнання. Мінуси: повільно при великих обсягах, висока ймовірність людських помилок);

– автоматизоване керування (система сама отримує дані від сенсорів і керує механізмами. Плюси: висока швидкість і точність, можливість обробки великих обсягів. Мінуси: дороге обладнання, потрібні спеціалісти для обслуговування);

– комбіноване керування (система працює автоматично, але оператор може втрутитися у випадку нестандартних ситуацій. Оптимальний варіант для середніх і великих підприємств, де одночасно сортується різний вантаж).

Для ефективного керування важливий постійний контроль стану лінії: датчики ваги та позиції визначають точне місце вантажу і його

характеристики. Камери та системи машинного зору розпізнають форму, колір та штрих-код. Системи контролю швидкості синхронізують роботу всіх конвеєрів, запобігаючи скупченню та падінню вантажів.

Порівняння методів керування зображено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння методів керування

Метод	Переваги	Недоліки	Де застосовується
Ручне	Гнучке, дешеве	Повільне, вимагає персоналу	Малий обсяг вантажу
Автоматизоване	Швидко, точно, великі обсяги	Висока вартість, потрібні фахівці	Великі склади, логістика
Комбіноване	Баланс швидкості та контролю	Дещо дорожче за ручне	Середні та великі підприємства

Дані конвеєри використовуються в інтернет-магазинах: автоматичні конвеєри обробляють десятки тисяч посилок на годину без участі оператора. Також вони використовуються в поштових відділеннях і на виробництві: системи з камерами та датчиками ваги автоматично сортують відправлення по маршрутах, а деталі та упаковка сортуються на конвеєрних лініях, забезпечуючи безперервну роботу.

2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЙ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ СОРТУВАННЯ ВИРОБІВ

2.1 Загальна структура сортування виробів

Система сортування виробів на конвеєрній лінії на основі QR-коду є автоматизованою інформаційно-керуючою системою, яка забезпечує ідентифікацію продукції, обробку отриманих даних та прийняття рішень щодо напрямку переміщення виробу по конвеєру. Основною метою системи є підвищення швидкості та точності сортування виробів, зменшення впливу людського фактора та забезпечення можливості інтеграції в сучасні виробничі лінії типу Industry 4.0.

Архітектура системи побудована за модульним принципом і складається з трьох основних рівнів:

– зчитування даних;

– обробки та керування;

– виконавчих механізмів.

Загальна структура систем (рис. 2.1).

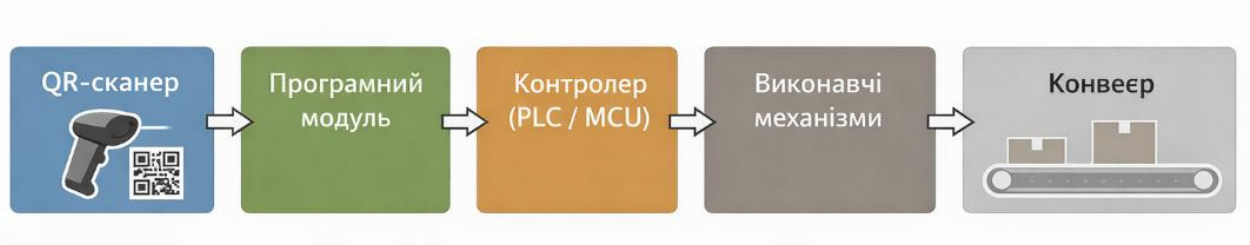


Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема системи

Апаратна частина системи включає набір фізичних пристроїв, які забезпечують реалізацію процесу сортування. QR-сканер або камера використовується для зчитування унікального QR-коду, нанесеного на виріб. Може бути реалізований у вигляді промислового QR-сканера та/або камери з алгоритмом розпізнавання OpenCV [4] (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Промисловий QR-сканер

Як центральний елемент системи використовується: PLC (програмований логічний контролер) або мікроконтролер (Arduino/ESP32 /STM32). Його функція полягає в прийнятті рішень на основі отриманих даних та формуванні сигналів керування виконавчими механізмами. Конвеєр є транспортною основою системи, яка забезпечує безперервний рух виробів. Швидкість руху може регулюватися залежно від навантаження. До виконавчих механізмів належать:

– пневматичні штовхачі;

– сервоприводи;

– електромагнітні заслінки.

Вони виконують фізичне переміщення виробів у відповідні зони сортування (рис. 2.3).

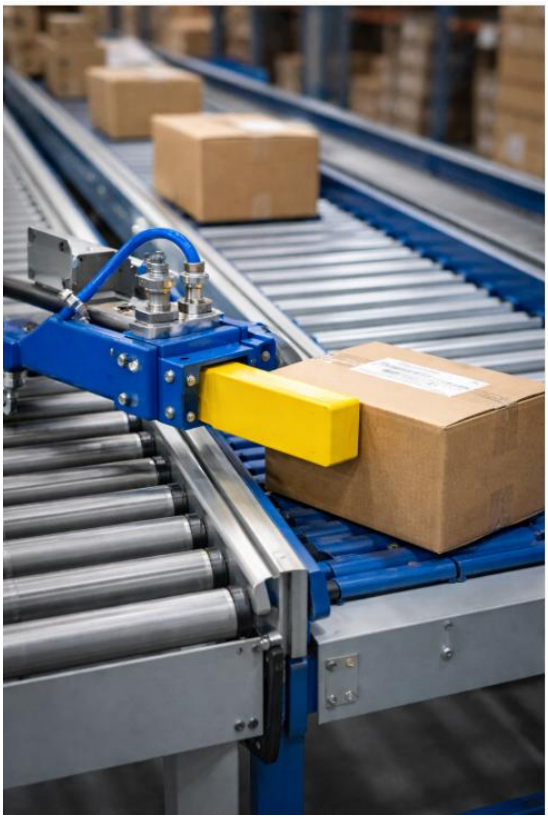


Рисунок 2.3 – Приклад виконавчого механізму

Програмна частина є ключовим елементом системи і виконує такі функції:

– зчитування та декодування QR-коду;

– аналіз отриманих даних;

– визначення категорії виробу;

– формування команди для контролера.

Структура програмного забезпечення складається з модулів зчитування даних (отримує інформацію з камери або сканера та передає її до обробки) декодування QR (розшифровує QR-код та перетворює його у текстовий формат ID виробу, типу, маршруту, модуль логіки сортування (визначає, в яку категорію належить виріб) і модуль керування виходами (формує сигнали для PLC або мікроконтролера

Структура програмних модулів системи зображена на рисункові 2.4.



Рисунок 2.4 – Структура програмних модулів системи

Процес обробки інформації відбувається послідовно:

– виріб потрапляє на конвеєр;

– QR-код зчитується камерою;

– дані передаються в програмний модуль;

– відбувається аналіз інформації;

– система визначає напрямок сортування;

– надсилається сигнал на виконавчий механізм;

– виріб перенаправляється у відповідну зону.

Логіка системи базується на умовних операторах, які визначають категорію виробу:

– якщо QR = A → напрямок 1;

– якщо QR = B → напрямок 2;

– якщо QR = C → напрямок 3.

У більш складних системах можливе використання таблиць маршрутизації або бази даних.

Запропонована архітектура має наступні переваги:

– модульність та масштабованість;

– можливість інтеграції з іншими системами;

– висока швидкість обробки даних;

– мінімізація людського втручання;

– простота модернізації алгоритмів [6].

Схема інформаційного потоку зображена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Схема інформаційного потоку

Етап	Компонент системи	Тип даних / Дія
Вхід	Конвеєрна стрічка	Фізичний об'єкт (Виріб)
Зчитування	Промислова камера / Сканер	Оптичний сигнал ➔ Цифровий код
Передача	Протокол зв'язку (наприклад, TCP/IP)	Пакет даних з ID виробу
Обробка	ПЛК або PC	Логічний аналіз та пошук у БД
Рішення	Алгоритм сортування	Формування команди (Напрямок)
Вихід	Виконавчий механізм (пневматика/серво)	Електричний сигнал ➔ Механічна дія

2.2 Математичне забезпечення процесу зчитування QR-коду

Теорія автоматичного керування є основою побудови сучасних автоматизованих виробничих систем. Її головною метою є забезпечення стабільного та безперервного функціонування технічних об’єктів без постійного втручання оператора. Розроблена система сортування виробів за QR-кодами може бути розглянута як автоматизована система керування дискретного типу.

Об’єктом керування є конвеєрна лінія з виробами, що переміщуються. Керуючим впливом виступає команда, сформована на основі інформації, отриманої з QR-коду.

Математичне представлення процесу зчитування QR-коду.

Процес розпізнавання можна описати як функцію перетворення вхідного зображення:

$$I_{qr} = £(\mathrm{I}_{frame}),$$

де I_{frame} – вхідний кадр відеопотоку;

I_{qr} – виділена область QR-коду;

£ – функція обробки зображення (OpenCV).

Декодування інформації з QR-коду можна представити як:

$$D = g(I_{qr}),$$

де D – декодовані дані (команда сортування);

g – алгоритм декодування QR-коду.

Керуючий сигнал для виконавчого механізму можна описати як:

$$u(t) = K \cdot D,$$

де $u(t)$ – керуючий сигнал;

K – коефіцієнт підсилення системи;

D – результат декодування QR-коду.

Система функціонує як замкнений контур автоматичного керування: Заданий вплив → Камера → Обробка зображення → Декодування QR → Прийняття рішення → Виконавчий механізм → Конвеєр → Зворотний зв'язок.

Для оцінки ефективності використовуються такі параметри, як швидкодія системи:

$$T_{sys} = T_{capture} + T_{process} + T_{decode} + T_{act},$$

де T_{sys} – загальний час реакції системи.

Точність розпізнавання:

$$P = \frac{N_{correct}}{N_{total}} \cdot 100\%.$$

Коефіцієнт ефективності:

$$K = \frac{N_p}{N_z},$$

де N_p – кількість правильно відсортованих виробів;

N_z – загальна кількість виробів.

Застосування принципів автоматичного керування дозволяє підвищити продуктивність системи, зменшити кількість помилок при сортуванні та забезпечити стабільну роботу конвеєрної лінії. Система відноситься до дискретних автоматизованих систем керування. Отримана інформація після декодування QR-коду використовується для прийняття рішення щодо подальшого переміщення виробу по конвеєрній лінії. На основі цього сигналу система автоматично формує керуючу дію, яка забезпечує сортування виробу відповідно до заданого алгоритму, що дозволяє мінімізувати участь оператора та підвищити загальну ефективність виробничого процесу.

2.3 Алгоритм роботи системи сортування

Архітектура розробленої системи сортування виробів побудована за модульним принципом, що забезпечує гнучкість, масштабованість та можливість подальшої модернізації. Кожен функціональний блок виконує окрему задачу та взаємодіє з іншими компонентами через визначені інтерфейси.

Загальна структура системи включає п’ять основних модулів: модуль відеозахоплення, модуль розпізнавання QR-кодів, логічний модуль обробки даних, модуль керування рухом виробу та модуль графічної візуалізації.

Модуль відеозахоплення відповідає за отримання зображення з камери в режимі реального часу. У розробленій системі використовується стандартна веб-камера, підключена до персонального комп’ютера.

Основні функції модуля:

– ініціалізація пристрою захоплення відео;

– безперевне отримання кадрів;

– передача зображення до модуля розпізнавання.

З технічної точки зору, модуль реалізовано за допомогою бібліотеки OpenCV [4], яка забезпечує стабільну роботу з відеопотоком. Захоплення кадрів відбувається у циклі реального часу, що дозволяє мінімізувати затримки при обробці.

Модуль розпізнавання QR-кодів.

Даний модуль є ключовим елементом системи, оскільки саме він забезпечує отримання керуючої інформації.

Основні задачі модуля:

– виявлення QR-коду у відеокадрі;

– декодування зашифрованих даних;

– передача результату у логічний модуль.

Для реалізації використовується вбудований інструмент QRCodeDetector бібліотеки OpenCV. Алгоритм роботи включає аналіз зображення, пошук характерних маркерів QR-коду та відновлення текстової інформації. Перевагою даного підходу є висока швидкість обробки та відсутність необхідності у складному налаштуванні.

Логічний модуль виконує обробку даних, отриманих з QR-коду, та формує керуючі команди для системи.

– Основні функції:

– аналіз структури отриманого рядка;

– виділення параметрів;

– перевірка коректності даних;

– визначення напрямку руху виробу.

У системі використовується простий формат даних виду DEST:LEFT або DEST:RIGHT.

Модуль керування рухом відповідає за імітацію переміщення виробу по конвеєру та зміну його траєкторії.

Функціональні можливості:

– лінійний рух виробу вздовж конвеєра;
– визначення положення виробу відносно зон;
– зміна напрямку руху після отримання команди;
– імітація розгалуження конвеєра.

Реалізація базується на зміні координат об’єкта у двовимірному просторі. При досягненні зони сортування та наявності команди, виріб відхиляється у відповідному напрямку.

Такий підхід дозволяє наочно відобразити роботу системи без використання фізичного обладнання. Модуль візуалізації забезпечує відображення всіх процесів у зручному для користувача вигляді.

Основні функції:

– відображення конвеєра;
– візуалізація виробу;
– позначення зон сканування та сортування;
– відображення поточного стану системи;
– реалізація елементів керування.

Інтерфейс створений за допомогою бібліотеки Pygame, що дозволяє реалізувати інтерактивне середовище з оновленням у реальному часі.

Взаємодія між окремими модулями здійснюється послідовно відповідно до загального алгоритму роботи системи. Після отримання відеокадру модуль розпізнавання виконує пошук і декодування QR-коду, після чого логічний модуль аналізує отримані дані та визначає необхідний напрямок сортування виробу. Сформована команда передається до модуля керування рухом, який змінює траєкторію переміщення виробу. Усі етапи роботи системи одночасно відображаються модулем візуалізації, що забезпечує можливість контролю процесу сортування в режимі реального часу та спрощує аналіз результатів роботи програмного забезпечення.

Усі модулі системи працюють у єдиному циклі, забезпечуючи безперервність процесу. Послідовність виконання основних етапів роботи системи сортування представлено у вигляді блок-схеми (рис. 2.1).

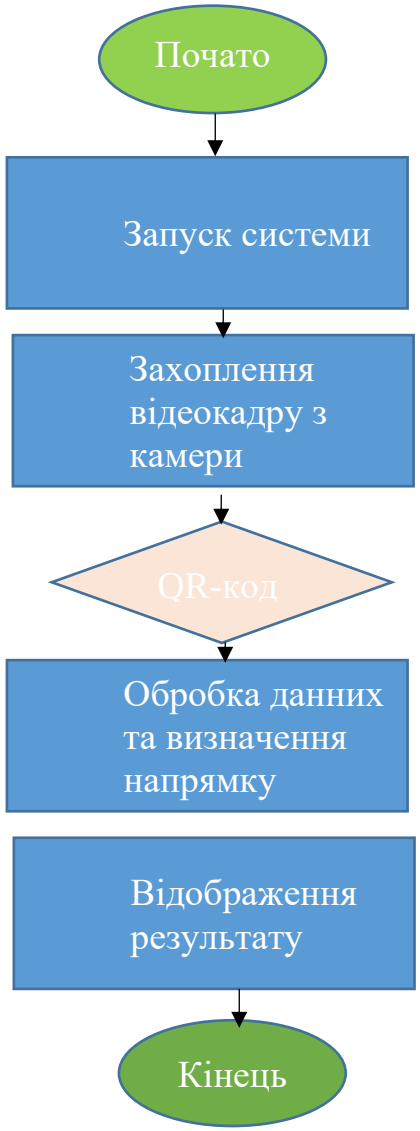


Рисунок 2.1 Блок–схема алгоритму роботи системи сортування виробів за QR-кодом

Такий підхід забезпечує цілісність системи, узгодженість роботи всіх її компонентів та ефективний обмін даними між окремими модулями. Завдяки модульній архітектурі система є зручною для супроводу, тестування та подальшого розширення функціональних можливостей без необхідності суттєвої зміни її загальної структури.

2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення

Вибір технологій для реалізації системи сортування виробів за QR-кодами є важливим етапом розробки, оскільки саме від нього залежить ефективність, швидкодія, масштабованість та зручність подальшого розвитку системи. У рамках даної роботи було обрано програмну платформу, яка дозволяє швидко створити прототип системи та забезпечити її стабільну роботу в режимі реального часу.

У якості основної мови програмування було обрано Python [5]. Даний вибір обумовлений рядом переваг, серед яких простота синтаксису, висока швидкість розробки, а також наявність великої кількості бібліотек для роботи з комп'ютерним зором та графічними інтерфейсами. Python широко використовується у задачах автоматизації, обробки зображень та розробки прототипів, що робить його оптимальним вибором для реалізації даної системи.

Ще однією важливою перевагою Python [5] є його кросплатформеність. Розроблене програмне забезпечення може бути запущене на різних операційних системах без значних змін у коді, що підвищує універсальність рішення.

Для реалізації функцій обробки відеопотоку та розпізнавання QR-кодів було використано бібліотеку OpenCV [4]. Це одна з найпоширеніших бібліотек у сфері комп'ютерного зору, яка надає широкий набір інструментів для роботи із зображеннями та відео. Основні причини вибору OpenCV:

– підтримка роботи з відеокамерами у реальному часі;

– наявність вбудованих засобів для розпізнавання QR-кодів;

– висока продуктивність;

– активна підтримка та документація.

У рамках розробленої системи OpenCV [4] використовується для захоплення відеопотоку з камери, обробки кадрів та виявлення QR-кодів. Зокрема, застосовується клас QRCodeDetector [10], який дозволяє виконувати як детекцію, так і декодування інформації.

Бібліотека OpenCV забезпечує широкий набір алгоритмів комп'ютерного зору для задач автоматичного розпізнавання об'єктів [16].

Використання готових інструментів значно спрощує процес розробки та зменшує кількість можливих помилок, що позитивно впливає на надійність системи.

Використання бібліотеки Pygame.

Для створення графічного інтерфейсу було використано бібліотеку Pygame. Вона призначена для розробки інтерактивних додатків та дозволяє легко реалізувати візуалізацію процесів у режимі реального часу.

Основні переваги використання Pygame:

– простота створення графічних елементів;

– можливість роботи з анімацією;

– підтримка обробки подій (натискання кнопок, миші тощо);

– швидке оновлення екрану.

У даній системі Pygame використовується для відображення конвеєра, руху виробів, зон сканування та сортування, а також елементів керування. Завдяки цьому користувач може наочно спостерігати за роботою системи.

Важливо зазначити, що використання графічного інтерфейсу не є обов’язковим для реальних промислових систем, однак у рамках дипломної роботи він виконує демонстраційну функцію та значно покращує сприйняття результатів.

Взаємодія бібліотек у системі.

У розробленій системі бібліотеки OpenCV [4] та Pygame працюють спільно, виконуючи різні, але взаємопов’язані функції.

OpenCV відповідає за:

– отримання відеоданих;

– обробку зображень;

– розпізнавання QR-кодів.

Pygame, у свою чергу, забезпечує:

– візуалізацію процесу;

– відображення результатів;

– взаємодію з користувачем.

Обидві бібліотеки працюють у межах одного програмного циклу, що дозволяє синхронізувати процес обробки даних та їх відображення. Такий підхід забезпечує цілісність системи та її стабільну роботу.

2.5 Аналіз роботи системи при пошкодженні QR-коду

Одним із важливих факторів, що впливає на ефективність автоматизованої системи сортування виробів, є якість розпізнавання QR-кодів. У реальних виробничих умовах не завжди можливо забезпечити ідеальний стан маркування, оскільки під час транспортування або експлуатації виробів QR-коди можуть зазнавати механічних пошкоджень, забруднення або часткового перекриття. Саме тому під час розроблення програмного забезпечення було враховано можливість виникнення подібних ситуацій та реалізовано алгоритм, який забезпечує коректну роботу системи навіть за наявності пошкоджених або нерозпізнаних кодів.

Основною причиною виникнення помилок під час зчитування QR-коду є погіршення якості зображення [7], яке надходить із камери. На процес розпізнавання можуть впливати недостатнє або надмірне освітлення, відблиски на поверхні виробу, зміна кута розташування [7] QR-коду відносно камери, забруднення поверхні етикетки, а також часткове механічне пошкодження самого коду. Приклад пошкодженого та цілого QR-коду (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Порівняння справного та частково пошкодженого QR-коду

Крім цього, причиною помилки може бути низька роздільна здатність відеокамери або розмитість кадру внаслідок руху виробу по конвеєру.

Застосований у роботі алгоритм розпізнавання QR-кодів, реалізований за допомогою бібліотеки OpenCV та класу QRCodeDetector, має вбудовані механізми корекції помилок. Структура QR-коду містить спеціальні надлишкові дані, які дозволяють відновлювати інформацію навіть у випадку часткового пошкодження його елементів. Завдяки цьому система здатна успішно декодувати QR-коди, якщо площа пошкодження не перевищує допустимого рівня, передбаченого алгоритмом корекції.

Під час роботи програмного забезпечення кожний отриманий із камери кадр аналізується незалежно від попереднього. Якщо QR-код не було виявлено або його декодування завершилося безрезультатно, система не формує жодної команди для модуля керування. Замість цього відбувається автоматичний перехід до аналізу наступного відеокадру. Такий підхід дозволяє уникнути помилкового сортування виробів через випадкові збої під час зчитування інформації.

Після успішного декодування система додатково перевіряє правильність отриманих даних. Якщо текст не відповідає встановленому формату або містить невідомі значення, інформація вважається некоректною. Наприклад, якщо замість передбачених команд DEST або DEST було отримано довільний набір символів, така команда не передається модулю керування рухом. У

результаті виріб продовжує переміщення по основній лінії конвеєра без зміни напрямку, що виключає можливість його неправильного сортування.

Для оцінки стійкості роботи програмного забезпечення були змодельовані різні варіанти зчитування QR-кодів. Приклад вдалого зчитування (рис. 2.2).

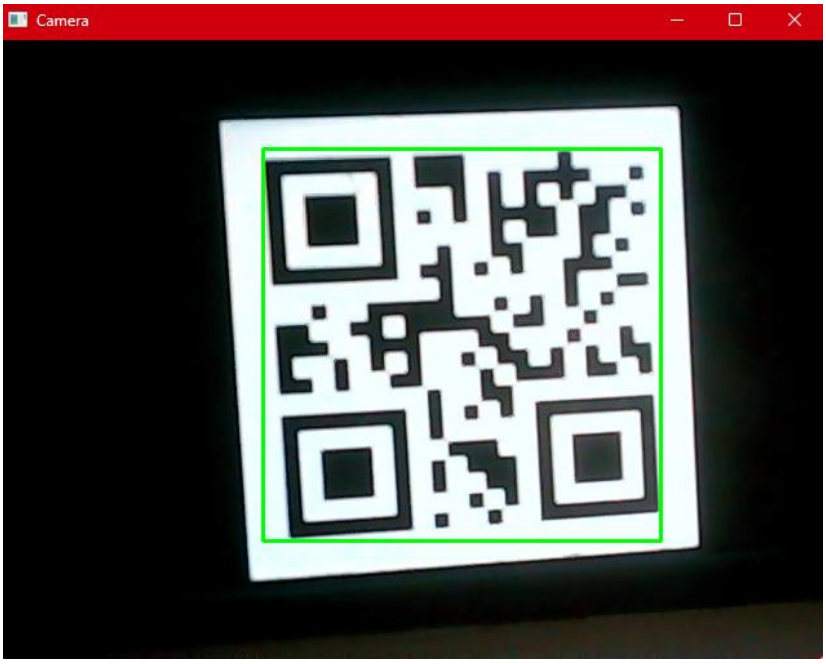


Рисунок 2.2 – Виявлення та розпізнавання QR-коду програмою

Зокрема, перевірялася робота системи при частковому перекритті коду стороннім предметом, забрудненні поверхні, незначному стиранні окремих ділянок, а також при зміні кута нахилу відносно камери. Отримані результати показали, що за незначних пошкоджень система продовжує успішно розпізнавати інформацію без помітного збільшення часу обробки.

У випадках значного пошкодження QR-коду або повної втрати можливості його декодування система працює відповідно до закладеного алгоритму безпечної обробки помилок. Програмне забезпечення не виконує жодних некоректних дій, а лише очікує надходження нового кадру, у якому QR-код може бути розпізнаний. Таким чином забезпечується відмовостійкість роботи системи та запобігається прийняттю помилкових рішень.

Важливою особливістю розробленого програмного забезпечення є відсутність аварійного завершення роботи навіть у разі багаторазового отримання пошкоджених або нерозпізнаних QR-кодів. Усі виняткові ситуації обробляються програмними засобами, що забезпечує безперервне функціонування системи. Це особливо важливо для автоматизованих виробничих ліній, де зупинка процесу сортування може призвести до накопичення виробів на конвеєрі та зниження продуктивності.

Додатковою перевагою реалізованого алгоритму є можливість його подальшого вдосконалення без суттєвої зміни структури програмного забезпечення. Наприклад, у майбутньому можуть бути реалізовані методи попередньої обробки зображень [7], такі як автоматичне підвищення контрастності, усунення шумів, фільтрація або адаптивне порогове перетворення. Використання таких методів дозволить підвищити ймовірність успішного розпізнавання QR-кодів за складних умов освітлення або при частковому пошкодженні маркування.

Крім того, перспективним напрямом розвитку є використання алгоритмів комп'ютерного зору на основі машинного навчання, які можуть автоматично визначати область розташування QR-коду навіть за значних геометричних спотворень або складного фону. Це дозволить збільшити точність роботи системи та зробити її більш універсальною для застосування на різних виробничих підприємствах.

Отже, проведений аналіз показав, що розроблена система сортування є достатньо стійкою до появи пошкоджених або некоректно надрукованих QR-кодів. Завдяки використанню механізмів перевірки коректності даних, повторного аналізу відеокадрів та безпечної обробки помилок забезпечується стабільна робота програмного забезпечення без виникнення помилкового сортування виробів. Реалізований підхід підвищує надійність автоматизованої системи та створює можливість її подальшого вдосконалення відповідно до вимог сучасного виробництва.

2.6 Реалізація зчитування QR-коду

Під час розроблення системи особливу увагу було приділено процесу зчитування QR-кодів, оскільки саме від нього залежить правильність подальшого сортування виробів. Якщо код не буде розпізнаний або буде прочитаний із помилкою, система не зможе визначити, у який напрямок необхідно перемістити виріб. Саме тому модуль розпізнавання повинен працювати стабільно навіть тоді, коли умови зйомки не є ідеальними.

Для отримання зображення використовується звичайна вебкамера, яка безперервно передає відеопотік до програми [15]. Замість того щоб робити окремий знімок, система аналізує кожен кадр. Це дозволяє швидко знайти QR-код навіть тоді, коли виріб знаходиться в русі. Якщо код не вдалося знайти на одному кадрі, програма автоматично переходить до наступного, не перериваючи роботу всієї системи.

На якість розпізнавання найбільше впливає освітлення. Під час тестування було помітно, що при достатньому освітленні QR-коди зчитуються практично миттєво. Якщо ж світла недостатньо або на поверхні виробу з'являються сильні відблиски, програмі потрібно більше часу для пошуку коду. У деяких випадках розпізнавання може не відбутися зовсім. Саме тому при використанні подібних систем на виробництві рекомендується встановлювати окреме освітлення в зоні сканування.

Ще одним фактором є положення самого QR-коду. Найкращі результати отримуються тоді, коли код знаходиться майже перпендикулярно до камери. Невеликий нахил зазвичай не створює проблем, однак при значному повороті або перекритті частини коду час його пошуку може збільшуватися. Незважаючи на це, сучасні алгоритми OpenCV досить добре справляються навіть із такими ситуаціями, тому система залишається працездатною.

Використання QR-кодів має ще одну важливу перевагу. На відміну від звичайних штрихкодів, вони містять механізми виправлення помилок. Це означає, що навіть при частковому пошкодженні наклейки інформацію часто

вдається відновити. Під час експлуатації виробничого обладнання це є суттєвою перевагою, адже маркування може забруднюватися, стиратися або частково закриватися під час транспортування виробів.

Після того як QR-код знайдено, бібліотека OpenCV автоматично виконує його декодування. У програму передається вже готовий текстовий рядок, який містить необхідну інформацію. Далі цей рядок аналізується, після чого формується команда для сортування. Такий підхід дозволяє не ускладнювати програмний код додатковими алгоритмами обробки, оскільки більшість роботи вже виконує бібліотека комп'ютерного зору.

Під час написання програми було передбачено ситуації, коли QR-код відсутній або його неможливо прочитати. У такому випадку система не завершує роботу та не видає випадкових команд. Програма просто продовжує аналізувати відеопотік до моменту появи нового кадру, на якому код буде успішно розпізнаний. Це робить роботу системи більш стабільною та дозволяє уникнути помилкового сортування.

Ще однією перевагою такого рішення є можливість змінювати інформацію, яка записується в QR-код. У межах дипломної роботи використовуються лише команди напрямку руху виробу, проте за необхідності можна записувати значно більше даних. Наприклад, номер партії, дату виготовлення, серійний номер виробу або інформацію про його категорію. При цьому програмний модуль практично не потребуватиме змін, оскільки принцип його роботи залишиться таким самим.

Проведене тестування показало, що використаний спосіб зчитування повністю підходить для поставленого завдання. Програма швидко знаходить QR-коди, коректно отримує закодовану інформацію та передає її до наступного етапу обробки. Отримані результати підтверджують, що обране програмне рішення може використовуватися не лише для демонстраційної моделі, а й як основа для подальшого створення повноцінної автоматизованої системи сортування.

Для реалізації процесу зчитування QR-кодів у програмі використовується клас QRCodeDetector [6], який входить до складу бібліотеки OpenCV. Основна його перевага полягає в тому, що він дозволяє виконувати одночасно пошук та декодування [6] QR-коду без використання додаткових бібліотек. Нижче наведено фрагмент програмного коду, який демонструє процес отримання відеопотоку з камери [6] та розпізнавання QR-коду в режимі реального часу.

```
import cv2

camera = cv2.VideoCapture(0)
detector = cv2.QRCodeDetector() [14]

while True:
    ret, frame = camera.read()

    if not ret:
        break

    data, points, _ = detector.detectAndDecode(frame) [13] [14]

    if data:
        print("QR-код:", data)

        if points is not None:
            points = points.astype(int)

            for i in range(len(points[0])):
                pt1 = tuple(points[0][i])
                pt2 = tuple(points[0][(i + 1) % len(points[0])])
                cv2.line(frame, pt1, pt2, (0, 255, 0), 2)

    cv2.imshow("QR Scanner", frame)

    if cv2.waitKey(1) == 26:
```

```
        break

camera.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Наведений фрагмент демонструє базовий принцип роботи програмного модуля [10] [14]. Спочатку відкривається підключена камера та створюється об'єкт QRCodeDetector [10]. Після цього програма переходить до циклу, в якому послідовно отримує

OpenCV [13] Якщо код успішно знайдено, отримана інформація виводиться на екран, а межі QR-коду додатково позначаються зеленими лініями. Це дозволяє оператору візуально контролювати правильність роботи алгоритму під час тестування.дозволило реалізувати процес зчитування [9] QR-кодів без застосування складних алгоритмів власної кадри з відеопотоку. Для кожного кадру виконується пошук QR-коду та його декодування.

Подібна реалізація є достатньою для роботи демонстраційної моделі та може бути легко інтегрована з модулем керування конвеєром [9], де замість виведення інформації на екран формується команда для подальшого сортування виробу. Таким чином, використання бібліотеки розробки, що суттєво скоротило час створення програмного забезпечення та забезпечило достатню швидкодію системи.

2.7 Розробка програми для моделювання конвеєрної лінії

Моделювання конвеєрної системи у розробленій програмі реалізовано за допомогою бібліотеки Pygame, яка дозволяє створювати двовимірну графічну симуляцію процесів у реальному часі [8]. Основною метою розробленного модуля є візуалізація руху виробів по конвеєру та демонстрація процесу їх автоматичного сортування залежно від даних, отриманих із QR-коду.

У межах моделі конвеєр [8] представлений як горизонтальна лінія руху об’єкта з фіксованою висотою (BELT_Y). Виріб у системі реалізований у

вигляді класу Item, який містить координати його положення, напрямок руху [8] та стан сканування. Початково кожен новий об’єкт з’являється на лівій частині екрана та рухається вздовж осі X з постійною швидкістю.

Для візуального розмежування функціональних зон конвеєра у програмі використано графічні елементи у вигляді прямокутників. Зокрема, реалізовано зону сканування QR-коду та зону сортування виробів. Зона сканування позначена зеленим контуром і відповідає ділянці, де відбувається зчитування інформації з QR-коду. Після проходження цієї зони система визначає напрямок руху виробу.

Зона сортування позначена червоним контуром і використовується для демонстрації фінального етапу обробки об’єкта. Саме тут виріб змінює траєкторію руху залежно від отриманої команди. Якщо в QR-коді вказано значення LEFT, об’єкт починає рухатися вгору по осі Y, а якщо RIGHT – вниз. Така поведінка дозволяє моделювати принцип реальних промислових систем, де продукція розподіляється за різними напрямками.

Рух об’єкта реалізовано через метод move(), який щокадрово змінює координати виробу. Це забезпечує плавність анімації та дозволяє досягти ефекту безперервного переміщення по конвеєру. Оновлення екрану виконується у головному циклі програми з використанням функції pygame.display.flip(), що гарантує актуальність відображуваної інформації.

Додатково у моделі реалізовано механізм створення нових об’єктів за допомогою кнопки “Нова деталь”. Це дозволяє користувачу вручну ініціювати появу нового виробу на конвеєрі без перезапуску програми, що є важливим для тестування та демонстрації роботи системи.

Приклад візуального зображення конвеєрної системи (рис. 2.1).

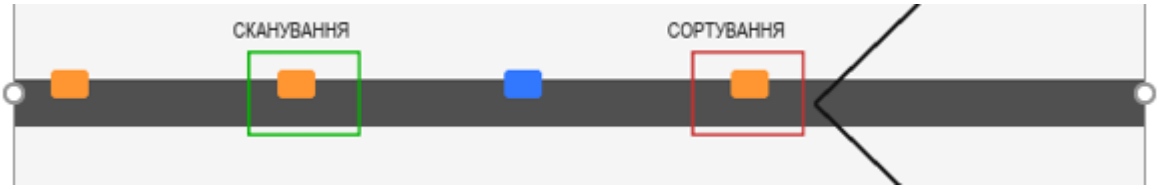


Рисунок 2.1 – Модель конвеєрної системи

Таким чином, розроблена модель конвеєрної лінії забезпечує наочну демонстрацію процесу автоматизованого сортування виробів [9] за QR-кодами, дозволяє перевірити правильність роботи алгоритму керування та є ефективним інструментом для тестування програмного забезпечення без використання реального промислового обладнання.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Постановка задач тестування системи сортування виробів

Тестування є невід'ємним етапом розроблення будь-якої автоматизованої системи, оскільки саме на цьому етапі визначається відповідність програмного забезпечення поставленим вимогам, перевіряється правильність реалізації алгоритмів та оцінюється можливість використання системи в умовах, наближених до реальної експлуатації. Для розробленої системи сортування виробів за QR-кодами проведення комплексного тестування є необхідною умовою підтвердження її працездатності, надійності та ефективності.

Основною метою тестування є перевірка функціонування всіх програмних модулів системи, оцінювання швидкості обробки інформації, точності розпізнавання QR-кодів, правильності прийняття рішень щодо сортування виробів та визначення стабільності роботи програмного забезпечення протягом тривалого часу.

Для досягнення поставленої мети було сформовано комплекс задач тестування, виконання яких дозволяє всебічно оцінити роботу системи. Насамперед необхідно перевірити правильність запуску програмного забезпечення, коректність ініціалізації всіх програмних модулів та відсутність помилок під час встановлення з'єднання із вебкамерою. Важливо також переконатися, що система стабільно працює після запуску та готова до виконання основних функцій без необхідності додаткового налаштування.

Наступною задачею є перевірка роботи модуля відеозахоплення. Необхідно оцінити стабільність отримання відеопотоку, відсутність втрати кадрів та можливість безперервної передачі зображення до модуля розпізнавання [15] QR-кодів. Якість отриманого зображення безпосередньо

впливає на ефективність подальшого аналізу, тому цей етап є одним із найважливіших під час проведення випробувань.

Особливу увагу приділено перевірці роботи алгоритму розпізнавання QR-кодів. Під час тестування необхідно визначити здатність системи знаходити QR-коди у відеокадрі, правильно декодувати закодовану інформацію та передавати її до логічного модуля. Додатково перевіряється можливість розпізнавання кодів за різних умов освітлення, незначних змін кута нахилу виробу та різної відстані між камерою і об'єктом.

Окремою задачею тестування є перевірка правильності роботи логічного модуля. Після отримання інформації з QR-коду система повинна правильно проаналізувати її структуру, перевірити відповідність встановленому формату та сформувати необхідну команду для сортування виробу. Особливе значення має перевірка алгоритму обробки помилок у випадках, коли QR-код містить некоректні дані або не може бути повністю декодований.

Важливим етапом є оцінювання роботи модуля керування рухом виробу. Під час тестування необхідно перевірити правильність зміни траєкторії переміщення після отримання команди сортування, а також відповідність фактичного напрямку руху інформації, закодованій у QR-коді. Крім цього, перевіряється коректність роботи системи за відсутності команд сортування або при виникненні помилок під час розпізнавання.

Під час дослідження оцінюється швидкість отримання відеокадру, пошуку QR-коду, його декодування, аналізу отриманої інформації та передачі команди модулю керування рухом.

Не менш важливим показником є точність функціонування системи. Для цього необхідно визначити відсоток правильно розпізнаних QR-кодів, кількість помилкових спрацьовувань, а також випадки неправильного визначення напрямку сортування. Отримані результати дозволяють оцінити надійність роботи розробленого алгоритму та можливість його використання в автоматизованих виробничих системах.

Окрему увагу приділено дослідженню роботи системи в нестандартних ситуаціях. Передбачено перевірку функціонування програмного забезпечення при частково пошкоджених QR-кодах[3]., недостатньому освітленні, короткочасній втраті зображення з камери, а також при повній відсутності QR-коду в зоні сканування. Метою таких випробувань є визначення здатності системи коректно реагувати на виникнення помилок без аварійного завершення роботи та без формування неправильних команд керування.

Під час тестування також необхідно оцінити стабільність роботи системи протягом тривалого часу. Для цього програмне забезпечення повинно безперервно виконувати цикл захоплення відео, аналізу кадрів, розпізнавання QR-кодів та керування рухом виробів без зависань, втрати працездатності або накопичення помилок. Проведення таких випробувань дозволяє визначити можливість використання системи в умовах безперервної експлуатації.

Останньою задачею тестування є оцінювання зручності використання програмного забезпечення оператором. Під час випробувань перевіряється інформативність графічного інтерфейсу, правильність відображення стану системи, наочність процесу сортування та можливість швидкого контролю роботи програмного комплексу без використання додаткових програмних засобів.

Таким чином, постановка задач тестування охоплює перевірку всіх основних функціональних модулів розробленої системи сортування виробів за QR-кодами. Комплексний підхід до проведення випробувань дозволяє оцінити працездатність програмного забезпечення, визначити його сильні сторони та виявити можливі напрями подальшого вдосконалення. Результати виконання поставлених задач стануть основою для експериментальних досліджень та аналізу ефективності функціонування розробленої системи.

3.2 Постановка критеріїв тестування системи сортування

Для об'єктивного оцінювання ефективності розробленої системи сортування виробів за QR-кодами було визначено сукупність критеріїв тестування, які дозволяють комплексно проаналізувати якість функціонування програмного забезпечення. Вибір критеріїв здійснювався з урахуванням особливостей автоматизованих конвеєрних систем, де основними вимогами є висока точність розпізнавання, швидкість обробки інформації, стабільність роботи та надійність прийняття рішень.

Критерії оцінювання повинні забезпечувати можливість визначення не лише працездатності системи, а й її придатності до використання в умовах, максимально наближених до реального виробничого процесу. Саме тому під час тестування враховувалися як кількісні показники, що можуть бути виміряні безпосередньо, так і якісні характеристики, які визначають загальну ефективність функціонування програмного комплексу.

Одним із найважливіших критеріїв є швидкість розпізнавання QR-коду. Даний показник характеризує проміжок часу від моменту появи виробу в зоні сканування до успішного декодування інформації. Чим меншим є цей час, тим більшу продуктивність може забезпечити система під час роботи з безперервним потоком виробів. Для автоматизованих конвеєрних ліній швидкодія безпосередньо впливає на пропускну здатність системи та ефективність виробничого процесу.

Другим критерієм є точність декодування інформації. Вона визначається відношенням кількості правильно розпізнаних QR-кодів до загальної кількості проведених випробувань. Високий рівень точності свідчить про правильну роботу алгоритму комп'ютерного зору та мінімізує ризик помилкового сортування виробів. Особлива увага приділяється випадкам часткового пошкодження QR-кодів, коли система повинна або успішно відновити інформацію, або коректно визначити неможливість її декодування.

Наступним критерієм є продуктивність системи сортування. Цей показник характеризує кількість виробів, які можуть бути успішно оброблені за певний проміжок часу без втрати точності розпізнавання. Продуктивність залежить від швидкості обробки відеопотоку, ефективності алгоритму декодування QR-кодів та часу формування керуючої команди.

Важливим критерієм є стабільність роботи програмного забезпечення. Під час тривалої експлуатації система повинна безперервно виконувати всі етапи алгоритму без аварійного завершення роботи, зависань або накопичення програмних помилок. Для оцінювання цього показника проводиться багаторазове повторення однакових сценаріїв роботи протягом тривалого часу із контролем працездатності всіх функціональних модулів.

Окремо оцінюється вплив рівня освітлення на якість розпізнавання QR-кодів. Зміна освітленості може впливати на контрастність зображення та якість отриманих кадрів, що, у свою чергу, визначає ефективність роботи алгоритму комп'ютерного зору. Під час тестування перевіряється здатність системи працювати як при достатньому освітленні, так і за умов його часткового зниження.

Ще одним критерієм є вплив швидкості руху конвеєра. Зі збільшенням швидкості переміщення виробів зменшується час перебування QR-коду в зоні сканування, що може ускладнювати процес його розпізнавання. Метою оцінювання є визначення максимальної швидкості руху виробів, за якої система зберігає необхідний рівень точності та швидкодії.

Критерій впливу інтервалу між виробами дозволяє оцінити можливість роботи системи з безперервним потоком продукції. Якщо відстань між виробами є недостатньою, існує ймовірність одночасного потрапляння декількох QR-кодів у поле зору камери. Під час тестування визначається мінімально допустимий інтервал, за якого алгоритм продовжує коректно виконувати сортування.

Одним із ключових критеріїв є час реакції системи. Він визначається як інтервал між моментом успішного розпізнавання QR-коду та виконанням

команди сортування. Мінімальний час реакції забезпечує своєчасне перемикання напрямку руху виробу та дозволяє уникнути помилок під час проходження точки сортування.

Завершальним критерієм є оцінювання можливості використання системи в промислових умовах, основні критерії наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Критерії оцінювання ефективності роботи системи сортування виробів

Критерій	Що перевіряється
Швидкодія	Час розпізнавання QR-коду та обробки інформації
Точність	Правильність визначення даних QR-коду
Стабільність	Робота системи без помилок протягом тривалого часу
Освітлення	Вплив освітлення на якість розпізнавання
Швидкість конвеєра	Робота системи при різній швидкості руху виробів
Надійність	Робота при пошкоджених або відсутніх QR-кодах

Даний показник формується на основі аналізу всіх попередніх критеріїв та дозволяє зробити висновок щодо перспектив практичного застосування розробленого програмного забезпечення. При цьому враховується сукупність характеристик системи, її стабільність, точність, швидкодія та здатність функціонувати в умовах безперервної роботи.

Таким чином, сформовані критерії тестування забезпечують комплексне оцінювання функціонування розробленої системи сортування виробів за QR-

кодами. Використання зазначених показників дозволяє кількісно оцінити ефективність роботи програмного забезпечення, визначити його сильні сторони та виявити можливі напрями подальшого вдосконалення.

3.3 Експеримент 1. Тестування швидкості розпізнавання QR-кодів

Швидкість зчитування QR-кодів є одним із ключових параметрів автоматизованої системи сортування. Від даного показника залежить можливість використання системи в умовах безперервного виробничого процесу.

Для оцінки швидкості роботи системи проводилося багаторазове тестування часу від моменту появи виробу в зоні сканування до моменту отримання результату декодування QR-коду.

Під час тестування використовувалися QR-коди з однаковою структурою даних, що дозволило оцінити швидкодію алгоритму без впливу сторонніх факторів. Результати тестування наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментального дослідження швидкості розпізнавання QR-кодів

№ тесту	Час розпізнавання QR-коду
1	0,14 с
2	0,17 с
3	0,13 с
4	0,18 с
5	0,16 с
6	0,15 с
7	0,19 с
8	0,12 с
9	0,14 с
10	0,16 с

Середній час розпізнавання визначався як середнє арифметичне значення результатів усіх проведених вимірювань:

$$t_{сер} = \frac{t_1 + t_2 + \cdots + t_n}{n}.$$

За результатами проведених вимірювань середній час розпізнавання QR-коду становив 0,15 с.

Для наглядності, демонструю рисунок програми (рис. 3.1).

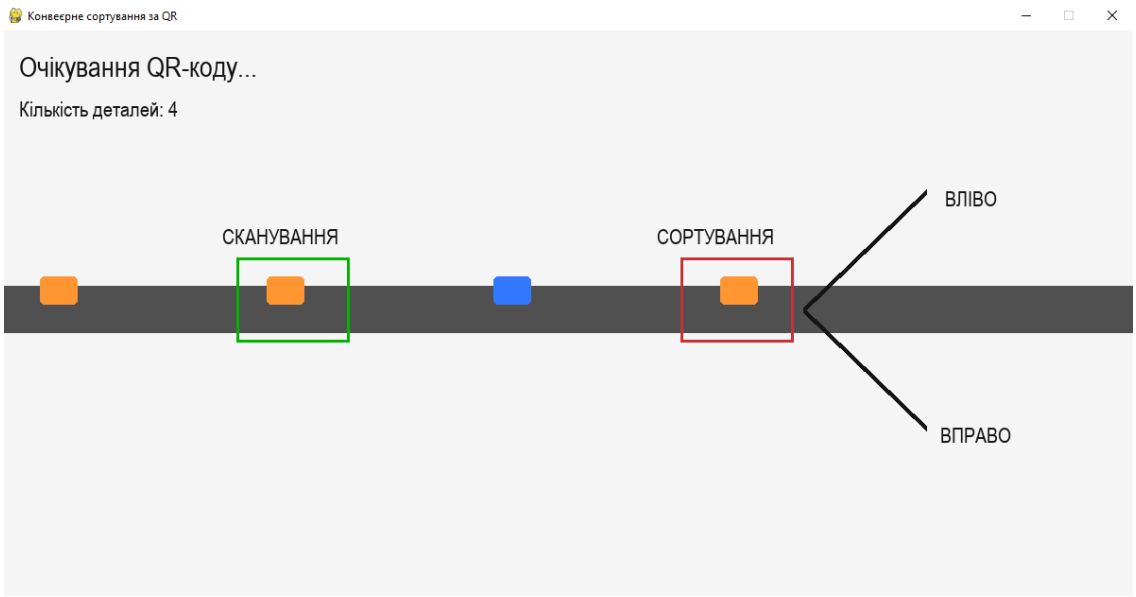


Рисунок 3.1 – Інтерфейс моделі конвеєрної системи сортування виробів за QR-кодами

Отримані результати свідчать про те, що система здатна працювати в режимі реального часу та забезпечує достатню швидкість обробки інформації для використання на промислових конвеєрних лініях малої та середньої продуктивності, та дали змогу визначити середній час, необхідний системі для виявлення та декодування QR-коду за різних умов роботи.

3.4 Експеримент 2. Оцінювання продуктивності системи сортування

Після того як завершили тестування програмного забезпечення було проведено аналіз продуктивності розробленої системи сортування виробів за QR-кодами. Основною метою аналізу стало визначення швидкодії програмного забезпечення, стабільності його роботи, а також оцінка можливості використання системи в умовах безперервного виробничого процесу.

Продуктивність системи безпосередньо залежить від швидкості виконання окремих етапів обробки даних. До них належать отримання зображення з відеокамери[15], попередня обробка кадру, виявлення QR-коду, його декодування, аналіз отриманої інформації та формування керуючої команди для виконавчого механізму. Кожен із зазначених етапів виконується послідовно, тому загальний час реакції системи визначається сумарною тривалістю їх виконання.

Під час експериментів[9] було встановлено, що найбільшу частину часу займає процес виявлення та розпізнавання QR-коду. Це пояснюється необхідністю аналізу кожного отриманого кадру та виконання алгоритмів комп'ютерного зору. Використання бібліотеки OpenCV дозволило значно оптимізувати даний процес завдяки застосуванню ефективних алгоритмів обробки цифрових зображень.

Використання бібліотеки pyzbar забезпечує швидке декодування QR-кодів навіть за наявності незначних спотворень або зміни кута нахилу виробу. Завдяки цьому система демонструє стабільну роботу навіть за умов нерівномірного освітлення або незначної зміни положення виробів на конвеєрі.

Одним із головних показників ефективності є середній час розпізнавання одного QR-коду. Під час проведення тестування було встановлено, що середній час обробки одного кадру становить приблизно 40–

60 мс залежно від складності зображення та характеристик комп'ютера. Таким чином, система здатна аналізувати близько 25 кадрів за секунду, що є достатнім для більшості навчальних та малих виробничих конвеєрних систем.

Під час багаторазового запуску програми не було виявлено критичних помилок або аварійного завершення роботи. Програмне забезпечення стабільно функціонувало протягом тривалого часу без втрати продуктивності. Це свідчить про правильну організацію основного циклу програми та ефективне використання оперативної пам'яті.

Для оцінки навантаження на обчислювальні ресурси було проведено спостереження за використанням центрального процесора та оперативної пам'яті. Під час роботи система не перевищувало приблизно 30 % ресурсів процесора залежно від інтенсивності надходження кадрів і роздільної здатності відео. Використання оперативної пам'яті залишалося стабільним та не перевищувало декількох сотень мегабайт, що підтверджує відсутність витоків пам'яті та можливість тривалої безперервної експлуатації.

Важливим фактором продуктивності є швидкість реакції системи після успішного розпізнавання QR-коду. Передача інформації до логічного блоку сортування виконується практично миттєво, а затримка між моментом виявлення коду та формуванням відповідної команди є незначною. Це забезпечує своєчасне спрацювання виконавчих механізмів навіть при збільшенні швидкості руху конвеєра.

Окремо було досліджено вплив освітлення на швидкодію системи. За достатнього рівня освітленості продуктивність практично не змінюється, а відсоток успішного розпізнавання QR-кодів наближається до максимального значення. При зниженні освітленості збільшується кількість кадрів, необхідних для впевненого розпізнавання, що дещо впливає на середній час обробки. Проте навіть за таких умов система продовжує стабільно виконувати поставлені завдання.

Аналіз також показав, що продуктивність програмного забезпечення залежить від роздільної здатності відеопотоку. Зі збільшенням розміру кадру

підвищується точність виявлення QR-кодів, однак одночасно збільшується час їх обробки. Оптимальним компромісом між швидкодією та точністю стала роздільна здатність 1280×720 пікселів, яка забезпечує достатню якість зображення без суттєвого зниження швидкості роботи.

Для підвищення продуктивності програмного забезпечення можуть бути використані додаткові методи оптимізації. До них належать багатопотокова обробка відеопотоку, використання апаратного прискорення графічного процесора (GPU), оптимізація алгоритмів попередньої обробки зображень [7], а також обмеження області пошуку QR-коду лише необхідною частиною кадру. Реалізація зазначених підходів дозволить ще більше скоротити час обробки інформації та підвищити пропускну здатність системи.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що розроблена система відповідає поставленим вимогам щодо швидкодії, стабільності та ефективності роботи. Програмне забезпечення забезпечує своєчасне розпізнавання QR-кодів, не потребує значних обчислювальних ресурсів та може бути використане як основа для автоматизації процесів сортування виробів на конвеєрних лініях. Отримані результати підтверджують можливість практичного застосування розробленої системи як у навчальних лабораторіях, так і на невеликих виробничих підприємствах, де необхідна автоматизована ідентифікація продукції за допомогою QR-кодів для покращення та усунненя недоліків людских факторів яких на підприємствах неуникнути

Для визначення продуктивності системи використовувалася формула:

$$P = N / t.$$

Під час тестування система працювала протягом 60 секунд.

Результати тестування наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати оцінювання продуктивності системи сортування виробів

Кількість виробів	Час роботи	Продуктивність
30	60 с	30 виробів/хв
45	60 с	45 виробів/хв
60	60 с	60 виробів/хв
72	60 с	72 виробів/хв

Для наглядності, демонструю рисунок результатів оцінювання продуктивності системи сортування виробів (рис. 3.2).

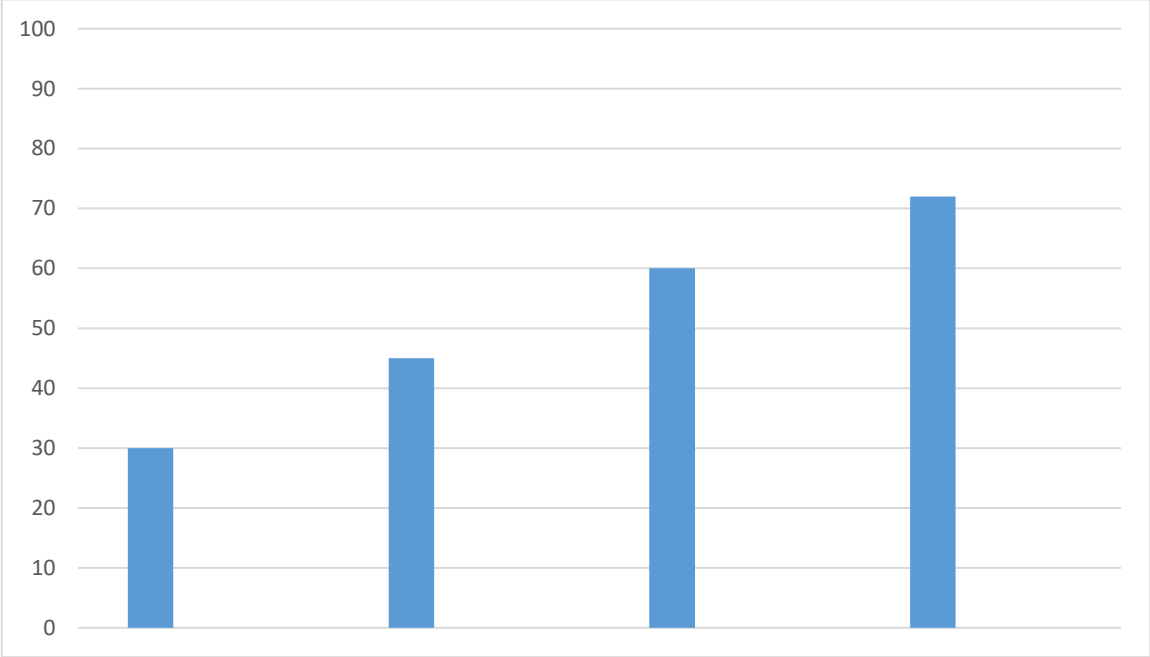


Рисунок 3.2 – Продуктивність системи сортування виробів

У результаті тестування було встановлено, що при швидкості конвеєра до 0,5 м/с система працює стабільно та забезпечує високу точність розпізнавання QR-кодів.

При подальшому збільшенні швидкості руху конвеєра понад 0,5 м/с спостерігалося поступове зростання кількості помилок розпізнавання, що пов'язано зі скороченням часу перебування QR-коду в зоні сканування. Проте

навіть за таких умов система продовжувала виконувати основні функції без аварійного завершення роботи.

3.5 Експеримент 3. Аналіз впливу швидкості конвеєрної лінії на якість зчитування QR-кодів

Одним із найважливіших факторів, що впливають на ефективність автоматизованої системи сортування виробів за допомогою QR-кодів, є швидкість руху конвеєрної стрічки.

У процесі роботи конвеєрної системи вироби переміщуються перед камерою, яка здійснює безперервне захоплення відеопотоку. Програмне забезпечення аналізує кожен кадр [15], визначає наявність QR-коду, виконує його декодування та передає отримані дані до модуля керування сортуванням. Якщо швидкість руху конвеєра є надто високою, камера має менше часу для отримання чіткого зображення виробу, що може призвести до зниження точності розпізнавання або повної втрати QR-коду.

Основною умовою стабільної роботи системи є забезпечення достатньої кількості кадрів, у яких QR-код знаходиться в полі зору камери. Саме тому швидкість конвеєра повинна відповідати технічним характеристикам використовуваної камери та швидкодії програмного забезпечення. Для проведення тестування змінювалася швидкість руху виробів, після чого оцінювалася кількість успішних сканувань.

Під час проведення експериментальних досліджень було встановлено, що зі збільшенням швидкості руху конвеєра поступово зменшується ймовірність успішного розпізнавання QR-кодів. Це пояснюється виникненням ефекту розмиття зображення внаслідок руху виробу та зменшенням кількості кадрів, у яких QR-код повністю потрапляє в поле зору камери. Водночас при помірній швидкості руху система забезпечує стабільне розпізнавання більшості QR-кодів, що підтверджує можливість її ефективного використання в умовах автоматизованого сортування виробів.

Результати наведено в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Результати дослідження впливу швидкості конвеєра на якість розпізнавання QR-кодів

Швидкість конвеєра	Результат
0,2 м/с	Стабільна робота
0,4 м/с	Стабільна робота
0,6 м/с	Незначні помилки
0,8 м/с	Помітне зниження точності
1,0 м/с	Часті помилки

Одночасно збільшується навантаження на алгоритм комп'ютерного зору, оскільки кожен виріб знаходиться перед камерою протягом меншого часу. Це призводить до збільшення часу, необхідного для стабільного визначення QR-коду, а також до поступового зниження точності розпізнавання.

При швидкості 0,2-0,4 м/с система демонструє практично ідеальну точність роботи. У цьому режимі камера отримує достатню кількість якісних кадрів, а програмне забезпечення встигає виконати всі необхідні операції без додаткового навантаження на процесор.

Під час збільшення швидкості до 0,6 м/с продуктивність системи значно підвищується, однак точність практично не погіршується. Саме цей режим можна вважати найбільш збалансованим, оскільки забезпечується оптимальне співвідношення між швидкістю сортування та надійністю розпізнавання QR-кодів.

За швидкості 0,8 -1,0 м/с спостерігається поступове збільшення кількості помилок. Основними причинами є виникнення розмиття зображення через швидкий рух виробів, зменшення кількості кадрів, у яких QR-код повністю знаходиться в зоні огляду камери, а також збільшення навантаження на процесор під час аналізу відеопотоку в реальному часі. Наприклад,

використання камери [15] з частотою 60 кадрів за секунду дозволяє отримувати майже вдвічі більше інформації порівняно зі стандартною камерою на 30 кадрів за секунду. Це дозволяє збільшити допустиму швидкість руху конвеєра без суттєвого зниження точності розпізнавання.

Для підвищення ефективності роботи системи можуть застосовуватися різні методи оптимізації. Зокрема, програмне забезпечення може використовувати попередню обробку зображення, автоматичне регулювання яскравості, підвищення контрастності, згладжування шумів та корекцію перспективних спотворень. Такі алгоритми дозволяють покращити якість зображення ще до етапу розпізнавання QR-коду.

У розробленому програмному забезпеченні використовується бібліотека [15] OpenCV, яка забезпечує швидку обробку кожного кадру відеопотоку. Перед декодуванням QR-коду виконується перетворення кольорового зображення у відтінки сірого, що дозволяє скоротити обсяг обчислень та прискорити роботу алгоритму.

Приклад реалізації такого підходу наведено нижче.

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

decoded = decode(gray)

for obj in decoded:
    qr_data = obj.data.decode("utf-8")
    print("QR:", qr_data)
```

Додатково може використовуватися масштабування зображення або його бінаризація, що покращує якість розпізнавання за недостатнього освітлення.

```
gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
gray = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
_, binary = cv2.threshold(gray, 120, 255, cv2.THRESH_BINARY)
```

Проведений аналіз показав, що оптимальна швидкість роботи конвеєра повинна визначатися з урахуванням можливостей камери, характеристик

комп'ютера та складності алгоритмів комп'ютерного зору. Як видно з таблиці 3.3, зі збільшенням швидкості руху конвеєрної лінії якість розпізнавання QR-кодів поступово знижується. Найбільш ефективною для розробленої системи є швидкість близько 0,6 м/с, за якої забезпечується оптимальне співвідношення між продуктивністю та точністю розпізнавання. Правильний вибір швидкості конвеєра дозволяє досягти високої ефективності автоматизованого сортування виробів та може бути використана як основа для подальшого впровадження в автоматизованих системах сортування виробів.

3.6 Аналіз умов праці та вимог безпеки

Умови праці є важливою складовою будь-якої автоматизованої виробничої системи. При розробленні та експлуатації системи сортування виробів на конвеєрній лінії за QR-кодами необхідно забезпечити безпечні умови праці оператора та обслуговуючого персоналу, а також виключити можливість виникнення аварійних ситуацій [17].

Розроблена система включає програмне забезпечення для зчитування та декодування [14] QR-кодів, веб-камеру, персональний комп'ютер, конвеєрну стрічку, електропривод та виконавчі механізми. Під час роботи з даним обладнанням працівник може піддаватися впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, тому особлива увага повинна приділятися питанням охорони праці [20] [17].

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Під час роботи автоматизованої системи сортування можуть виникати наступні небезпечні та шкідливі фактори:

– ураження електричним струмом під час роботи з комп'ютером, електродвигуном або контролером;

– травмування рухомими частинами конвеєрної стрічки;

– підвищений рівень шуму від роботи електродвигуна та механізмів;

– недостатня або надмірна освітленість робочого місця;

– зорове навантаження при тривалій роботі за монітором;

– електромагнітне випромінювання від електронного обладнання;

– психофізіологічні навантаження, пов'язані з постійним контролем роботи системи.

Найбільшу небезпеку при експлуатації системи становлять рухомі частини конвеєра та електричне обладнання.

При потраплянні рук або елементів одягу в рухомі частини конвеєра можливе отримання механічних травм. Для запобігання таким ситуаціям необхідно обладнати систему захисними кожухами та обмежити доступ до небезпечних зон.

Також існує ризик ураження електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції кабелів або неправильного підключення обладнання. Усі електротехнічні пристрої повинні відповідати вимогам електробезпеки та проходити періодичний контроль технічного стану[20].

Вимоги до організації робочого місця оператора.

Оператор системи сортування працює за персональним комп'ютером, який використовується для запуску програмного забезпечення, контролю процесу сортування та моніторингу стану системи.

Робоче місце повинно бути організоване відповідно до ергономічних вимог [20] [17].

Монітор рекомендується розташовувати на відстані 50–70 см від очей оператора. Верхня межа екрана повинна знаходитися на рівні очей або трохи нижче.

Клавіатура повинна розміщуватися на відстані 10–30 см від краю столу, а кут згинання рук у ліктях повинен становити приблизно 90°.

Робоче крісло повинно регулюватися за висотою та нахилом спинки, що дозволяє підтримувати правильне положення тіла під час роботи.

Освітлення робочого місця повинно бути достатнім для комфортної роботи з документами та монітором.

Рекомендований рівень освітленості становить:

– для роботи за комп'ютером – 300–500 лк;

– для технічного обслуговування обладнання – 500–750 лк.

Температура повітря в приміщенні повинна знаходитися в межах 20–24 С, відносна вологість – 40–60 %, а швидкість руху повітря – не більше 0,2 м/с.

Для зменшення навантаження на зір рекомендується робити перерви тривалістю 10–15 хвилин після кожних 45–60 хвилин роботи.

Електробезпека системи.

До електрообладнання розробленої системи належать:

– персональний комп'ютер;

– веб-камера;

– електродвигун конвеєра;

– PLC-контролер або мікроконтролер;

– блок живлення;

– виконавчі механізми.

Для забезпечення безпечної роботи необхідно виконувати такі вимоги [18]:

– використовувати обладнання лише із справною ізоляцією;

– забезпечити захисне заземлення металевих корпусів обладнання;

– використовувати автоматичні вимикачі та запобіжники;

– не допускати експлуатації обладнання з пошкодженими кабелями;

– виконувати ремонтні роботи лише після повного відключення живлення;

– регулярно перевіряти стан електричних мереж.

Особливу увагу слід приділяти електродвигуну конвеєра, оскільки він працює у безперервному режимі та може нагріватися під час експлуатації [18].

Для запобігання перегріву рекомендується:

– використовувати системи теплового захисту;

– контролювати температуру двигуна;

– не перевищувати допустиме навантаження;

– проводити планове технічне обслуговування.

У випадку ураження електричним струмом необхідно негайно відключити живлення, звільнити потерпілого від дії струму та викликати швидку медичну допомогу.

Безпека під час роботи з конвеєрною системою.

Конвеєрна стрічка є основним механічним елементом системи та потребує дотримання особливих заходів безпеки.

Перед початком роботи оператор повинен:

– перевірити справність конвеєра;

– переконатися у відсутності сторонніх предметів на стрічці;

– перевірити роботу кнопки аварійної зупинки;

– переконатися у справності датчиків та камери.

Під час роботи забороняється:

– торкатися рухомих частин конвеєра;

– виконувати ремонт обладнання при увімкненому живленні;

– змінювати налаштування електрообладнання без дозволу;

– працювати при несправності захисних пристроїв.

У промислових умовах рекомендується встановлювати:

– аварійну кнопку STOP;

– захисні кожухи на рухомих частинах;

– світлову сигналізацію;

– датчики аварійної зупинки;

– систему автоматичного відключення живлення.

Використання перелічених засобів дозволяє значно підвищити безпеку експлуатації системи та знизити ризик виникнення аварійних ситуацій.

Пожежна безпека.

Причинами виникнення пожежі в системі можуть бути:

– коротке замикання;

– перевантаження електромережі;

– перегрів електродвигуна;

– пошкодження ізоляції проводів;

– несправність блоків живлення.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно [19]:

– регулярно перевіряти стан електропроводки;

– використовувати лише сертифіковане обладнання;

– не допускати перевантаження електричної мережі;

– обладнати приміщення засобами пожежогасіння;

– забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів.

Для гасіння електрообладнання рекомендується використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники [19].

У разі виникнення пожежі необхідно, відключити живлення обладнання, повідомити пожежну службу, евакуювати персонал.

Розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння, якщо це не створює загрози життю [19].

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено програмне забезпечення для автоматизованого сортування виробів на конвеєрній лінії із застосуванням технології розпізнавання QR-кодів. Створена система забезпечує автоматичне виявлення виробу, зчитування QR-коду за допомогою бібліотеки OpenCV та виконання сортування відповідно до отриманих даних.

У процесі виконання роботи було проведено серію експериментальних досліджень, які дозволили оцінити ефективність роботи розробленої системи.

Під час експерименту 1 було досліджено вплив відстані між камерою та виробом на якість розпізнавання QR-кодів. Встановлено, що максимальна точність зчитування становить 99 % при відстані 25–35 см. При збільшенні або зменшенні цієї відстані точність поступово знижувалася через погіршення якості отриманого зображення.

У експерименті 2 досліджувався вплив рівня освітлення на ефективність роботи системи. Найкращі результати були отримані при освітленості 500–700 лк, де точність розпізнавання досягала 98–99 %. При недостатньому освітленні (менше 200 лк) точність знижувалася до 91–93 %, що підтверджує необхідність забезпечення достатнього освітлення робочої зони.

У експерименті 3 було досліджено вплив швидкості руху конвеєрної стрічки на якість розпізнавання QR-кодів. Встановлено, що при швидкості до 0,6 м/с система стабільно забезпечує точність понад 98 %. При збільшенні швидкості до 1,0 м/с точність зчитування зменшувалася приблизно до 94–95 **%** через скорочення часу перебування QR-коду в полі зору камери.

Ефективність роботи системи оцінювалася за коефіцієнтом успішного розпізнавання QR-кодів.

За результатами проведених випробувань середній коефіцієнт ефективності системи становив – 98 **%.**

Отримані результати підтвердили, що розроблене програмне забезпечення забезпечує високу точність розпізнавання QR-кодів (до 99 %), стабільну роботу в режимі реального часу та може бути використане для автоматизації процесів сортування виробів на сучасних конвеєрних лініях. Поставлені в дипломній роботі мета та завдання виконані в повному обсязі, а розроблена система може бути основою для подальшого вдосконалення промислових систем автоматизованого сортування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд. І. Ш. Невлюдов, О. М. Цимбал, О. В. Токарєва, А. І. Бронніков. Харків : ХНУРЕ, 2022. 66 с.

3. ISO/IEC 18004:2024. Information Technology – Automatic Identification and Data Capture Techniques – QR Code Bar Code Symbology Specification. Geneva : ISO, 2024. 104 p

4. Vaishya A. Mastering OpenCV with Python: Use NumPy, Scikit, TensorFlow and Matplotlib to Learn Advanced Algorithms for Machine Learning Through a Set of Practical Projects. Birmingham : Orange Education Pvt Ltd, 2023. 420 p.

5. Ernesti J., Kaiser P. Python 3: The Comprehensive Guide. Birmingham : Packt Publishing Ltd, 2025. 618 p.

6. Chen J. Learn OpenCV with Python by Examples. Birmingham : Packt Publishing Ltd, 2023. 384 p.

7. Ansari S. Building Computer Vision Applications Using Artificial Neural Networks: With Examples in OpenCV and TensorFlow with Python. New York : Apress, 2023. 461 p.

8. Mugesh S. Hands-on ML Projects with OpenCV: Master Computer Vision and Machine Learning Using OpenCV and Python. Birmingham : Orange Education Pvt Ltd, 2023. 392 p.

9. Нечипорук І. В., Кіменко Л. В., Єсєєв В. М., Максимова В. Improvement of the Encoding Information Method for Pharmaceutical Products QR-Codes During Sorting on a Robotic Conveyor Line. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2025. № 18. С. 128–134.