

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування системи технічного зору для контролю якості продукції
на конвеєрі з автоматичним відбракуванням

Виконав: студент IV курсу, групи КТс-41

спеціальності 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Бора Р.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Сушинський В.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Микитишин А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Чихіра І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Трембач Р.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) Голотенко О.С.
(прізвище та ініціали)

«_14_» _ квітня 2026 р.____

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Борі Роману Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі з автоматичним відбракуванням

Керівник роботи Микитишин Андрій Григорович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «_14_» квітня 2026 року № 4/9-185

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про автоматизовані системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів.

4. Зміст роботи

Вступ. 1 Аналітична частина. 1.1 Аналіз технологічного процесу. 1.2 Огляд сучасних методів і засобів автоматизованого контролю 1.3 Аналіз вимог до системи 1.4 Порівняльний аналіз апаратних і програмних засобів 1.5 Постановка задачі проектування системи контролю якості 1.6 Висновок до першого розділу. 2 Проектна частина 2.1 Розробка загальної структури системи 2.2 Вибір апаратних компонентів системи 2.3 Проектування алгоритму роботи системи 2.4 Розробка функціональної схеми взаємодії програмних і технічних модулів 2.5 Проектування інтерфейсу оператора та системи моніторингу 2.6 Висновок до другого розділу. 3 Спеціальна частина. 3.1 Розробка методу обробки зображень 3.2 Формування критеріїв прийняття рішення 3.3 Розробка алгоритму керування виконавчим механізмом 3.4 Моделювання та перевірка роботи системи 3.5 Оцінювання ефективності та можливостей удосконалення 3.6 Висновок до третього розділу. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки, Перелік джерел, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження.

4 Актуальність дослідження. 5 Схема контролю якості продукції на конвеєрній лінії.

6 Етапи візуального контролю продукції. 7 Структурна схема системи. 8 Блок-схема

алгоритму роботи. 9 Функціональна схема взаємодії програмних і технічних модулів

10 Макет інтерфейсу оператора. 11 Послідовність обробки зображення. 12 Логіка прийняття

рішення. 13 Схема синхронізації камери, конвеєра та механізму відбракування

14 Узагальнена схема перевірки роботи системи. 15 Висновки. 16 Завершальний.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н., доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	14.04.2026	Виконано
2.	Підбір джерел	02.06.2026	Виконано
3.	Вибір компонентної бази	04.06.2026	Виконано
4.	Розроблення проєктування системи технічного зору для контролю якості продукції	05.06.2026	Виконано
5.	Переклад та опрацювання джерел	06.06.2026	Виконано
6.	Розроблення прототипу	07.06.2026	Виконано
7.	Розроблення візуалізації	08.06.2026	Виконано
8.	Оформлення розділу «Аналітична частина»	10.06.2026	Виконано
11.	Оформлення розділу «Проектна частина»	13.06.2026	Виконано
12.	Оформлення розділу «Спеціальна частина»	15.06.2026	Виконано
13.	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в НС»	16.06.2026	Виконано
14.	Підготовка графічного матеріалу	17.06.2026	Виконано
15.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2026	Виконано
16.	Нормоконтроль	19.06.2026	Виконано
17.	Перевірка на плагіат	20.06.2026	Виконано
18.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	23.06.2026	Виконано
19.	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	

Студент

(підпис)

Бора Р.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) Голотенко О.С.
(прізвище та ініціали)

«14» квітня 2026 р.____

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Сушинському Володимиру Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі з автоматичним відбракуванням

Керівник роботи Микитишин Андрій Григорович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» квітня 2026 року № 4/9-185

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про автоматизовані системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів.

4. Зміст роботи

Вступ. 1 Аналітична частина. 1.1 Аналіз технологічного процесу. 1.2 Огляд сучасних методів і засобів автоматизованого контролю 1.3 Аналіз вимог до системи 1.4 Порівняльний аналіз апаратних і програмних засобів 1.5 Постановка задачі проектування системи контролю якості 1.6 Висновок до першого розділу. 2 Проектна частина 2.1 Розробка загальної структури системи 2.2 Вибір апаратних компонентів системи 2.3 Проектування алгоритму роботи системи 2.4 Розробка функціональної схеми взаємодії програмних і технічних модулів 2.5 Проектування інтерфейсу оператора та системи моніторингу 2.6 Висновок до другого розділу. 3 Спеціальна частина. 3.1 Розробка методу обробки зображень 3.2 Формування критеріїв прийняття рішення 3.3 Розробка алгоритму керування виконавчим механізмом 3.4 Моделювання та перевірка роботи системи 3.5 Оцінювання ефективності та можливостей удосконалення 3.6 Висновок до третього розділу. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки, Перелік джерел, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження.

4 Актуальність дослідження. 5 Схема контролю якості продукції на конвеєрній лінії.

6 Етапи візуального контролю продукції. 7 Структурна схема системи. 8 Блок-схема

алгоритму роботи. 9 Функціональна схема взаємодії програмних і технічних модулів

10 Макет інтерфейсу оператора. 11 Послідовність обробки зображення. 12 Логіка прийняття

рішення. 13 Схема синхронізації камери, конвеєра та механізму відбракування

14 Узагальнена схема перевірки роботи системи. 15 Висновки. 16 Завершальний.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н., доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	14.04.2026	Виконано
2.	Підбір джерел	02.06.2026	Виконано
3.	Вибір компонентної бази	04.06.2026	Виконано
4.	Розроблення проєктування системи технічного зору для контролю якості продукції	05.06.2026	Виконано
5.	Переклад та опрацювання джерел	06.06.2026	Виконано
6.	Розроблення прототипу	07.06.2026	Виконано
7.	Розроблення візуалізації	08.06.2026	Виконано
8.	Оформлення розділу «Аналітична частина»	10.06.2026	Виконано
11.	Оформлення розділу «Проектна частина»	13.06.2026	Виконано
12.	Оформлення розділу «Спеціальна частина»	15.06.2026	Виконано
13.	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в НС»	16.06.2026	Виконано
14.	Підготовка графічного матеріалу	17.06.2026	Виконано
15.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2026	Виконано
16.	Нормоконтроль	19.06.2026	Виконано
17.	Перевірка на плагіат	20.06.2026	Виконано
18.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	23.06.2026	Виконано
19.	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	

Студент

(підпис)

Сушинський В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Проектування системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі з автоматичним відбракуванням (комплексна тема) // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Бора Роман Іванович, Сушинський Володимир Анатолійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, група КТс-41 // Тернопіль, 2026 // С. 49, рис. – 10, табл. – 10, кресл. – 16, додат. – 12, бібліогр. – 25.

Ключові слова: контроль якості, конвеєрна лінія, комп'ютерний зір, ПЛК, виконавчий механізм, комп'ютеризована система управління.

Кваліфікаційна робота присвячена розробленню системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі з автоматичним відбракуванням.

У першому розділі проаналізовано особливості конвеєрного контролю якості та вимоги до системи технічного зору.

У другому розділі розроблено структуру системи, обґрунтовано вибір компонентів, алгоритм роботи та інтерфейс оператора.

У третьому розділі описано метод обробки зображень, критерії відбракування, керування виконавчим механізмом і оцінювання ефективності системи.

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи: висвітлено питання з Безпеки життєдіяльності та Основ охорони праці.

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого контролю якості продукції на конвеєрній лінії.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та технічні засоби побудови системи технічного зору для контролю якості й автоматичного відбракування продукції на конвеєрі.

ANNOTATION

Design of a computer vision system for product quality control on a conveyor with automatic rejection (complex topic) // The educational level " Bachelor " qualification work // Bora Roman Ivanovych, Sushynskyi Volodymyr Anatoliiiovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Department of Computer-Integrated Technologies, KTs-41 group // Ternopil, 2026 // P. 49, fig. - 10, tables - 10, chair. - 16, annexes - 12, ref. - 25.

Key words: quality control, assembly line, computer vision, PLC, actuator, computerised control system.

This qualification work is devoted to the development of a machine vision system for product quality control on a conveyor belt with automatic rejection.

The first chapter analyses the characteristics of conveyor-based quality control and the requirements for a machine vision system.

The second chapter outlines the system architecture, justifies the choice of components, describes the operating algorithm and the operator interface.

The third chapter describes the image processing method, rejection criteria, control of the actuator and evaluation of the system's effectiveness.

The fourth chapter of the thesis covers issues relating to Life Safety and the Fundamentals of Occupational Health and Safety.

Object of study: the process of automated product quality control on a conveyor line.

Subject of study: methods, algorithms and technical means for constructing a machine vision system for quality control and automatic product rejection on a conveyor.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

HMI (англ. Human-Machine Interface) – людино-машинний інтерфейс оператора.

PLC (англ. Programmable Logic Controller) – програмований логічний контролер.

OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library) – відкрита бібліотека комп'ютерного зору.

LED (англ. Light Emitting Diode) – світлодіод, що використовується для освітлення зони контролю.

ПК – персональний комп'ютер або обчислювальний модуль системи.

ROI (англ. Region of Interest) – область інтересу на зображенні, яка підлягає аналізу.

SCADA (англ. Supervisory Control and Data Acquisition) – система диспетчерського керування та збору даних.

MES (англ. Manufacturing Execution System) – система управління виробничими процесами.

ERP (англ. Enterprise Resource Planning) – система планування ресурсів підприємства.

USB (англ. Universal Serial Bus) – універсальний послідовний інтерфейс підключення пристроїв.

GigE (англ. Gigabit Ethernet) – інтерфейс передавання даних на основі Gigabit Ethernet.

FPS (англ. Frames Per Second) – кількість кадрів за секунду.

t – час затримки перед активацією механізму відбракування, с.

L – відстань між зоною контролю та зоною відбракування, м.

v – швидкість руху конвеєра, м/с.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Аналіз технологічного процесу	10
1.2 Огляд сучасних методів і засобів автоматизованого контролю	12
1.3 Аналіз вимог до системи	15
1.4 Порівняльний аналіз апаратних і програмних засобів	17
1.5 Постановка задачі проєктування системи контролю якості	18
1.6 Висновок до першого розділу	19
2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	20
2.1 Розробка загальної структури системи	20
2.2 Вибір апаратних компонентів системи	22
2.3 Проєктування алгоритму роботи системи	23
2.4 Розробка функціональної схеми взаємодії програмних і технічних модулів	25
2.5 Проєктування інтерфейсу оператора та системи моніторингу	28
2.6 Висновок до другого розділу	30
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	31
3.1 Розробка методу обробки зображень	31
3.2 Формування критеріїв прийняття рішення.....	33
3.3 Розробка алгоритму керування виконавчим механізмом	35
3.4 Моделювання та перевірка роботи системи	37
3.5 Оцінювання ефективності та можливостей удосконалення	39
3.6 Висновок до третього розділу	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	42
4.1 Питання щодо охорони праці.....	42
4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях	44
ВИСНОВКИ.....	47
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. У межах роботи акцент зроблено на задачі, типовій для автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій: дані від сенсорів і камери повинні бути перетворені у формалізоване рішення, а це рішення - у дію виконавчого механізму. Тому система розглядається не лише як програмний засіб аналізу зображень, а як елемент виробничого контуру керування.

Важливою особливістю теми є поєднання інформаційного та матеріального потоків. Зображення виробу є джерелом інформації для алгоритму, однак результат цього алгоритму має безпосередньо впливати на рух реального виробу на конвеєрі. Саме це вимагає синхронізації, діагностики, налаштування порогів і наявності зрозумілого інтерфейсу оператора.

Розвиток сучасного виробництва пов'язаний із підвищенням рівня автоматизації технологічних процесів, зменшенням впливу людського фактора та впровадженням комп'ютеризованих систем контролю. Одним із важливих напрямів такої автоматизації є контроль якості продукції на конвеєрних лініях, де рішення щодо відповідності виробів вимогам має прийматися швидко, стабільно та з мінімальною ймовірністю помилки.

Системи технічного зору поєднують засоби отримання зображень, алгоритми цифрової обробки, програмні модулі аналізу та виконавчі пристрої для реагування на виявлені відхилення. Вони дають змогу контролювати форму, розміри, положення, колір, маркування, цілісність поверхні та інші ознаки якості продукції [1], [2].

Актуальність теми зумовлена потребою у створенні систем, здатних виконувати автоматизований контроль без зупинки конвеєра та забезпечувати своєчасне вилучення дефектних виробів. У роботі розглядається не окремий алгоритм аналізу зображення, а цілісна комп'ютеризована система технічного зору, що включає камеру, освітлення, датчик, обчислювальний модуль, контролер, інтерфейс оператора та механізм відбракування.

Мета і задачі дослідження. Проектування системи технічного зору для автоматизованого контролю якості продукції на конвеєрі з можливістю

автоматичного відбракування виробів, що не відповідають установленим параметрам якості.

Для досягнення мети необхідно:

- проаналізувати технологічний процес контролю якості, розглянути методи та засоби технічного зору,
- сформулювати вимоги до системи,
- обґрунтувати вибір апаратних і програмних компонентів,
- розробити структуру системи, алгоритм її роботи, метод обробки зображень, критерії відбракування та логіку керування виконавчим механізмом

Об’єкт дослідження: процес автоматизованого контролю якості продукції на конвеєрній лінії. Предметом дослідження є методи, алгоритми та технічні засоби проектування системи технічного зору для виявлення дефектів і керування механізмом відбракування.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та технічні засоби побудови системи технічного зору для виявлення дефектів продукції на конвеєрі, аналізу її візуальних параметрів і керування механізмом автоматичного відбракування.

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає в удосконаленні підходу до проектування системи технічного зору для конвеєрного контролю якості продукції шляхом поєднання алгоритмів обробки зображень, формалізованих критеріїв оцінювання стану виробу та механізму автоматичного відбракування. Запропоновано структуру комп’ютеризованої системи, у якій результати візуального аналізу продукції використовуються не лише для класифікації виробу як придатного або дефектного, а й для формування керуючого сигналу на виконавчий механізм з урахуванням синхронізації руху конвеєра.

Практичне значення одержаних результатів. Полягає у можливості використання розробленої структури, алгоритмів і технічних рішень як основи для створення системи автоматизованого контролю якості продукції на конвеєрі з функцією автоматичного відбракування дефектних виробів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Аналітична частина спрямована на визначення місця візуального контролю у виробничому процесі, аналіз типових дефектів продукції, огляд методів автоматизованого візуального контролю та формування вимог до системи технічного зору. У цьому розділі технічний зір розглядається як складова комп'ютеризованої системи управління, що перетворює візуальну інформацію про виріб у керуюче рішення.

1.1 Аналіз технологічного процесу

Для коректного проєктування важливо враховувати, що дефекти можуть виникати на різних етапах технологічного процесу: під час виготовлення, транспортування, маркування, пакування або переміщення виробу. Система технічного зору не усуває причину дефекту безпосередньо, але забезпечує швидке виявлення невідповідності та запобігає проходженню браку далі за технологічним маршрутом.

Особливої уваги потребує питання повторюваності умов контролю. Якщо фон, освітлення або положення виробу змінюються занадто сильно, навіть правильно побудований алгоритм може давати нестабільні результати. Тому зона контролю повинна бути максимально стандартизованою: фіксоване положення камери, стабільна висота над конвеєром, контрольована освітленість і відсутність сторонніх предметів у кадрі.

У виробничих умовах контроль якості повинен бути вбудований у технологічний процес так, щоб він не створював додаткових затримок і не потребував зупинки лінії. Тому місце встановлення камери, датчика та механізму відбракування має визначатися не випадково, а з урахуванням швидкості конвеєра, габаритів продукції, інтервалу між виробами та доступного часу на обробку.

Під час аналізу технологічного процесу доцільно також враховувати повторюваність розташування виробів. Якщо продукція подається на конвеєр хаотично, система повинна мати складніші алгоритми локалізації об'єкта. Якщо

ж подача впорядкована, можна використовувати фіксовану область інтересу, що спрощує реалізацію та підвищує швидкодію.

Контроль якості на конвеєрній лінії передбачає перевірку виробів у процесі їх безперервного або циклічного переміщення. Його особливістю є обмежений час на прийняття рішення, тому система контролю повинна працювати швидко, повторювано та з мінімальною кількістю помилкових спрацювань.

У процесі контролю можуть перевірятися форма, розміри, правильність положення, колір, маркування, цілісність поверхні, комплектність та відсутність механічних пошкоджень. Усі дефекти доцільно поділити на геометричні, поверхневі, позиційні, маркувальні та дефекти комплектності. Для системи технічного зору важливо, щоб дефект мав візуальне вираження і міг бути виявлений камерою.

Типовий цикл контролю включає подачу виробу, його переміщення конвеєром, виявлення датчиком, отримання зображення камерою, обробку в програмному модулі, прийняття рішення та, за потреби, активацію механізму відбракування. Узагальнену логіку такого процесу показано на рисунку 1.1.

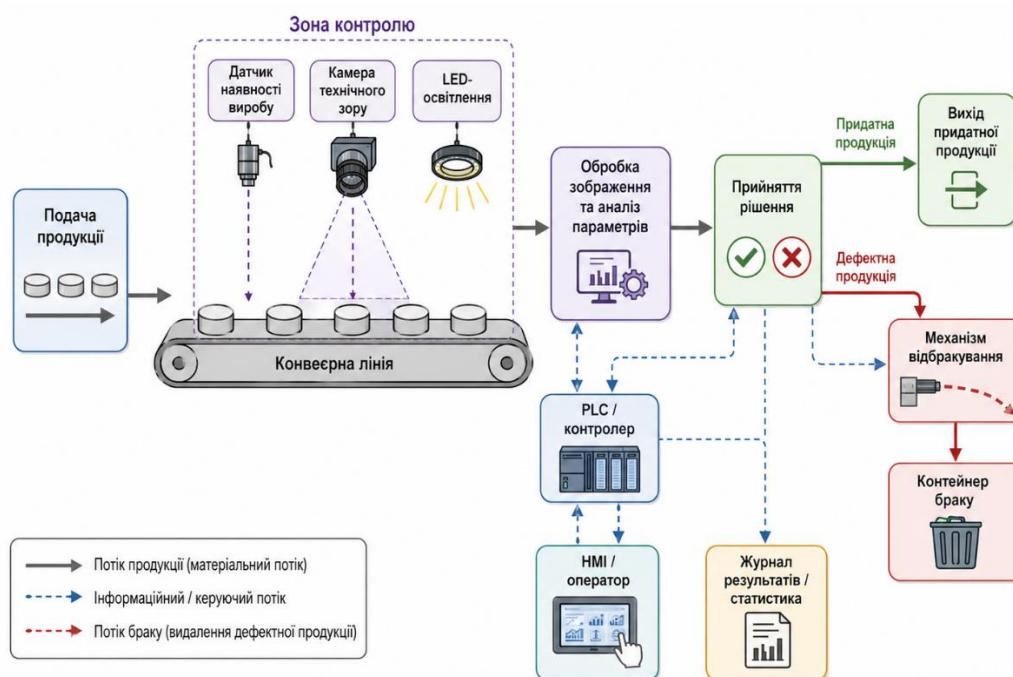


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема контролю якості продукції на конвеєрній лінії

Ручний контроль має низку обмежень: залежність від уважності оператора, вплив втоми, суб'єктивність оцінювання, недостатня швидкодія та складність ведення статистики дефектів. Автоматизований контроль із використанням технічного зору дає змогу зменшити ці ризики, забезпечити однакові критерії оцінювання та фіксувати результати перевірки.

Водночас ефективність такої системи залежить від правильного вибору камери, освітлення, положення зйомки, способу виявлення виробу, алгоритму аналізу зображення, критеріїв прийняття рішення та синхронізації з механізмом відбракування.

1.2 Огляд сучасних методів і засобів автоматизованого контролю

Під час вибору методу також потрібно враховувати вимоги до швидкодії. Складні методи аналізу можуть забезпечувати вищу точність, але потребують більше часу на обробку. Для конвеєрної лінії критично важливо, щоб рішення було сформоване до того, як виріб досягне зони відбракування. Саме тому прості алгоритми часто є практично доцільнішими за надмірно складні моделі.

У реальних задачах технічного зору якість результату часто визначається не лише алгоритмом, а й правильним налаштуванням апаратної частини. Камера, об'єктив і освітлення мають розглядатися як єдиний оптичний вузол. Помилки в освітленні або фокусуванні можуть бути складнішими для компенсації, ніж недоліки самого програмного алгоритму.

Практичні системи технічного зору зазвичай поєднують декілька методів обробки зображення. Наприклад, бінаризація може використовуватися для грубого відокремлення об'єкта від фону, контурний аналіз - для визначення форми, а аналіз кольору - для виявлення плям, забруднень або неправильного маркування. Таке комбінування підвищує надійність контролю.

Вибір методу залежить від характеру виробу. Для деталей простої форми достатньо аналізу геометричних ознак, для пакованої продукції важливими можуть бути етикетка та колір, а для складних поверхонь доцільне застосування

методів машинного навчання. У бакалаврській роботі перевага надається методам, які можна пояснити, реалізувати й перевірити на навчальному стенді.

Автоматизований візуальний контроль базується на методах комп'ютерного зору, цифрової обробки зображень і алгоритмах прийняття рішень. На відміну від відеоспостереження, система технічного зору не лише фіксує кадр, а й інтерпретує його: виділяє об'єкт, вимірює параметри, виявляє відхилення та формує результат контролю [1], [2].

Основна послідовність візуального контролю включає подачу виробу, його виявлення, захоплення зображення, попередню обробку, виділення ознак та аналіз, прийняття рішення. Цей процес узагальнено на рисунку 1.2.

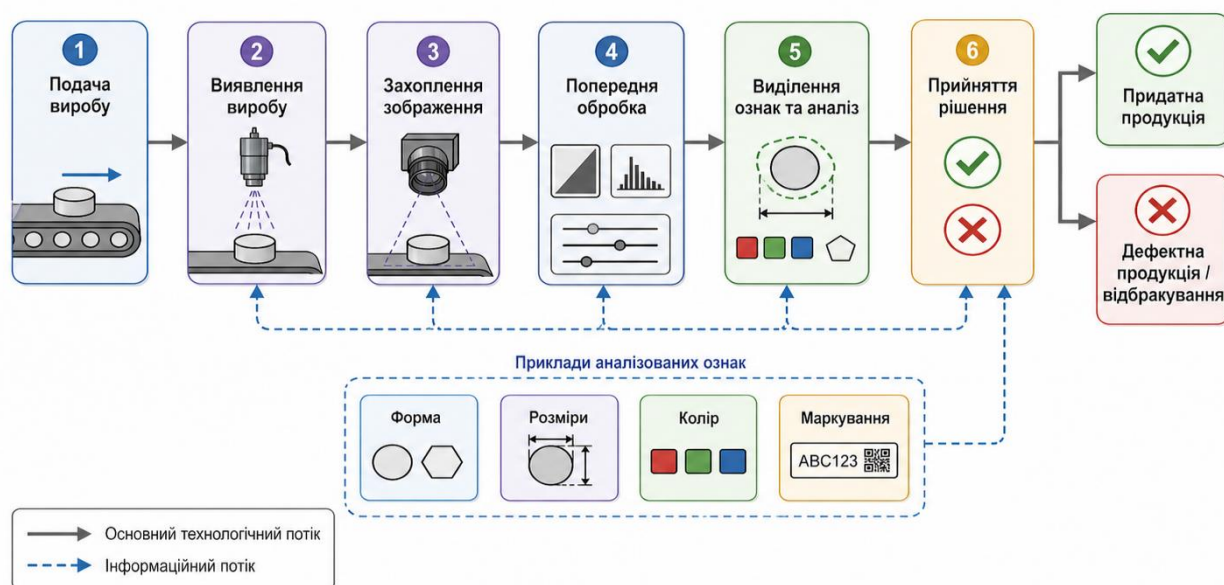


Рисунок 1.2 – Основні етапи автоматизованого візуального контролю продукції

Класичні методи обробки зображень є доцільними для задач, де виріб має стабільну форму, контрольоване освітлення та чітко визначені критерії якості. До них належать фільтрація, порогова обробка, бінаризація, морфологічні операції, виділення контурів, аналіз геометричних ознак і порівняння з еталоном [2], [7].

Методи машинного навчання та нейронні мережі доцільні для складніших дефектів, що мають варіативну форму або важко описуються

простими геометричними правилами [8], [9]. Однак для бакалаврського проєкту базовим є класичний алгоритм, оскільки він прозорий, швидкий і не потребує великого набору навчальних зображень.

Порівняння основних методів автоматизованого візуального контролю наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння основних методів автоматизованого візуального контролю.

Метод контролю	Сутність методу	Переваги	Обмеження	Доцільність використання
Порогова обробка та бінаризація	Поділ зображення на об'єкт і фон за яскравістю або кольором	Простота реалізації, висока швидкодія	Чутливість до освітлення	Контроль форми, наявності об'єкта, простих дефектів
Виділення контурів	Визначення меж об'єкта та аналіз його форми	Добре підходить для геометричного контролю	Потребує чіткого фону й стабільного освітлення	Контроль форми, розмірів, положення
Порівняння з еталоном	Зіставлення поточного зображення з правильним зразком	Зрозуміла логіка прийняття рішення	Чутливість до зміщення, повороту, масштабу	Контроль маркування, комплектності, зовнішнього вигляду
Аналіз кольору	Визначення відповідності кольорових характеристик	Ефективний для виявлення плям або неправильного забарвлення	Залежність від освітлення і камери	Контроль кольору, маркування, забруднень
Машинне навчання	Класифікація виробів за ознаками або навчальними прикладами	Може працювати зі складнішими дефектами	Потребує даних і навчання	Розпізнавання складних або варіативних дефектів
Нейронні мережі	Автоматичне виявлення ознак і класифікація зображень	Висока гнучкість для складних задач	Високі вимоги до даних і обчислень	Перспективне розширення системи

До апаратних засобів технічного зору належать камера, об'єктив, освітлення, датчики положення, обчислювальний модуль і виконавчий механізм. Особливо важливим є освітлення, оскільки тіні, відблиски або зміни зовнішнього світла можуть істотно погіршити якість сегментації та класифікації [3].

Отже, для цієї роботи доцільним є підхід, що поєднує класичні методи комп'ютерного зору, програмну реалізацію на основі OpenCV, датчик виявлення виробу та виконавчий механізм автоматичного відбракування.

1.3 Аналіз вимог до системи

Важливою вимогою є повторюваність класифікації. Якщо один і той самий виріб за однакових умов система в різні моменти класифікує по-різному, така система не може вважатися надійною. Тому порогові значення та параметри обробки повинні бути підібрані так, щоб забезпечувати стабільне рішення для типових виробничих ситуацій.

Ще однією вимогою є можливість контролю працездатності системи перед початком роботи. Самоперевірка має охоплювати доступність камери, наявність сигналу від датчика, зв'язок із контролером, стан освітлення та готовність механізму відбракування. Це зменшує ризик прихованої відмови під час виробничого циклу.

Окремо слід виділити вимоги до відмовостійкості. Система не повинна виконувати відбракування на основі некоректного або застарілого кадру. Якщо камера недоступна, зображення розмите або втрачено зв'язок із контролером, система має сформулювати повідомлення для оператора та перейти у безпечний режим.

Вимоги до зручності налаштування також є важливими. У реальному виробництві параметри контролю можуть змінюватися залежно від типу продукції, партії або технологічного режиму. Тому бажано передбачити можливість редагування порогів, перегляду останніх результатів і контролю статистики без зміни програмного коду.

Вимоги до системи визначають вибір апаратних компонентів, програмної архітектури, алгоритмів обробки та логіки керування. Система повинна виявляти виріб у зоні контролю, отримувати зображення, виконувати попередню обробку, аналізувати параметри, приймати рішення і формувати сигнал на відбракування.

Ключовими є вимоги до швидкодії та точності. Час обробки має бути меншим за інтервал переміщення виробу від зони контролю до зони відбракування. Точність визначається здатністю мінімізувати пропуски дефектів і помилкові відбракування придатної продукції.

Стабільність роботи залежить від умов освітлення, захисту від зовнішніх світлових впливів і якості налаштування алгоритму. Вимоги до інтеграції передбачають взаємодію з PLC або мікроконтролером, а експлуатаційні вимоги - наявність НМІ, журналу подій та засобів діагностики [4], [6], [10]. Основні вимоги систематизовано у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні вимоги до системи технічного зору

Група вимог	Зміст вимоги	Значення для системи
Функціональні вимоги	Виявлення виробу, отримання зображення, обробка, класифікація, відбракування	Визначають основні функції системи
Вимоги до швидкодії	Обробка зображення до моменту досягнення виробом зони відбракування	Забезпечують роботу без зупинки конвеєра
Вимоги до точності	Мінімізація пропусків дефектів і помилкових спрацювань	Визначають якість контролю
Вимоги до освітлення	Стабільне та рівномірне освітлення контрольної зони	Зменшують вплив зовнішніх факторів
Вимоги до інтеграції	Взаємодія з PLC, мікроконтролером або виконавчим модулем	Забезпечують керування механізмом відбракування
Вимоги до НМІ	Відображення статусу, статистики, параметрів і повідомлень	Забезпечують зручність роботи оператора
Вимоги до збереження даних	Фіксація результатів контролю і типів дефектів	Дають змогу аналізувати якість виробництва
Вимоги до надійності	Діагностика камери, датчика, актуатора і програмних модулів	Підвищують безпеку та стабільність роботи
Експлуатаційні вимоги	Простота налаштування, обслуговування і зміни параметрів	Полегшують практичне використання системи

Для навчально-проектної системи доцільно прийняти реалістичні обмеження: контроль одиничних виробів, фіксована зона зйомки, стабільне LED-освітлення, обробка зображень у режимі, близькому до реального часу, і формування сигналу на механізм відбракування.

1.4 Порівняльний аналіз апаратних і програмних засобів

Під час вибору апаратної платформи необхідно враховувати не тільки вартість обладнання, а й вимоги до надійності, ремонтпридатності та сумісності з іншими елементами лінії. Для лабораторної реалізації достатнім може бути персональний комп'ютер, однак промислова система потребує більш захищених рішень і стандартних інтерфейсів обміну даними.

Застосування OpenCV є доцільним через широку підтримку базових операцій комп'ютерного зору. Крім того, така реалізація дозволяє легко змінювати параметри фільтрації, сегментації та аналізу ознак, що важливо на етапі дослідного проєктування і тестування системи.

Для реалізації системи можуть застосовуватися різні архітектури: промислова камера з PLC, камера з вбудованою обробкою, USB/IP-камера з персональним комп'ютером, камера з Raspberry Pi, промисловий edge-комп'ютер або мікроконтролерна система допоміжного керування.

Промислова камера з PLC є надійним, але дорогим рішенням. Камера з вбудованою обробкою спрощує інтеграцію, однак має нижчу гнучкість. Варіант USB/IP-камери з ПК та OpenCV є найдоцільнішим для навчально-проєктної реалізації, оскільки забезпечує гнучкість розробки і доступність тестування [7]. Порівняння варіантів наведено у таблиці 1.3.

З програмного погляду доцільним є використання Python та OpenCV. Бібліотека OpenCV містить інструменти для роботи з відеопотоком, фільтрації, бінаризації, виділення контурів, морфологічної обробки й аналізу геометричних параметрів [7].

Для керування виконавчим механізмом доцільно використовувати PLC або мікроконтролер. PLC краще відповідає промисловій логіці автоматизації, тоді як мікроконтролер є доступним рішенням для навчального стенда. У подальшій роботі приймається комбінована архітектура: камера та обчислювальний модуль виконують візуальний аналіз, а контролер забезпечує керування відбракуванням.

Таблиця 1.3 – Порівняння апаратних платформ для реалізації системи технічного зору

Варіант реалізації	Переваги	Недоліки	Доцільність для роботи
Промислова камера + PLC	Висока надійність, промислова інтеграція, стабільність	Вища вартість, складність налаштування	Доцільно як промислова модель системи
Камера з вбудованою обробкою	Компактність, автономність, швидке формування результату	Обмежена гнучкість, висока ціна	Доцільно для типових промислових задач
USB/IP-камера + ПК	Доступність, гнучкість, зручність програмування	Нижча промислова надійність	Доцільно для навчально-проектної реалізації
Камера + Raspberry Pi	Компактність, низька вартість, автономність	Обмежена продуктивність	Доцільно для простого прототипу
Промисловий edge-комп'ютер	Висока продуктивність, підтримка складних алгоритмів	Висока вартість	Доцільно для масштабованої системи
Мікроконтролерна система	Простота керування виконавчими пристроями	Недостатня потужність для обробки зображень	Доцільно як допоміжний керуючий модуль

1.5 Постановка задачі проєктування системи контролю якості

Постановка задачі також передбачає визначення меж застосування системи. У межах роботи система орієнтована на контроль одиничних виробів, що послідовно рухаються конвеєром і мають візуально виявлювані дефекти. Це дозволяє сформулювати достатньо чіткі критерії контролю та уникнути надмірного ускладнення алгоритмічної частини.

Результатом проєктування має бути така система, у якій кожен компонент має зрозуміле призначення: датчик запускає цикл перевірки, камера формує зображення, програмний модуль аналізує ознаки, контролер керує механізмом, а НМІ забезпечує нагляд і налаштування.

Задача проєктування полягає у розробленні комп'ютеризованої системи технічного зору, що забезпечує автоматизоване виявлення виробу, отримання зображення, аналіз контрольованих параметрів, прийняття рішення про

придатність або дефектність і керування механізмом автоматичного відбракування.

Вхідними даними системи є сигнал від датчика, зображення з камери, параметри налаштування контролю, допустимі межі ознак, швидкість конвеєра і відстань до зони відбракування. Вихідними даними є рішення про стан виробу, команда на виконавчий механізм, повідомлення оператору, запис у журналі контролю та, за потреби, збережене зображення дефектного виробу.

Очікуваним результатом є структурна схема системи, визначений склад компонентів, алгоритм роботи, функціональна взаємодія модулів, критерії відбракування та принцип синхронізації механізму вилучення дефектної продукції.

1.6 Висновок до першого розділу

У розділі проаналізовано предметну область автоматизованого контролю якості на конвеєрі, визначено основні дефекти продукції, недоліки ручного контролю та переваги технічного зору. Розглянуто методи обробки зображень, сформовано вимоги до системи і обґрунтовано комбіновану архітектуру на основі камери, OpenCV, контролера та механізму відбракування.

2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

Проектна частина присвячена розробленню структури системи технічного зору, вибору апаратних компонентів, побудові алгоритму роботи, визначенню взаємодії програмних і технічних модулів та проектуванню інтерфейсу оператора.

2.1 Розробка загальної структури системи

У запропонованій структурі камера та обчислювальний модуль утворюють інформаційне ядро системи, тоді як PLC або мікроконтролер забезпечує зв'язок із фізичними виконавчими пристроями. Такий поділ відповідає загальній логіці автоматизації, де складна обробка даних виконується на обчислювальному рівні, а надійне виконання команд - на рівні контролера.

Журнал результатів є важливим елементом структури, оскільки дозволяє перетворити систему контролю з локального пристрою відбракування на джерело виробничої інформації. Дані про кількість дефектів, час виникнення та тип невідповідності можуть використовуватися для аналізу стабільності процесу.

Архітектура системи повинна підтримувати розділення функцій між рівнями. Сенсорний рівень відповідає за отримання первинних даних, обчислювальний рівень - за аналіз і прийняття рішення, а виконавчий рівень - за фізичне вилучення дефектного виробу. Така структура спрощує діагностику та подальшу модернізацію.

Інформаційні потоки в системі мають бути відокремлені від матеріального потоку продукції. Матеріальний потік описує рух виробів конвеєром, а інформаційний - передавання сигналів від датчика, камери, обчислювального модуля та контролера. Це розділення важливе для правильного пояснення роботи системи.

Система технічного зору повинна забезпечувати повний цикл автоматизованого контролю: виявлення виробу, отримання зображення,

обробку, прийняття рішення, керування відбракуванням і збереження результатів. До її складу входять конвеєр, датчик наявності виробу, камера, освітлення, обчислювальний модуль, контролер, механізм відбракування, НМІ та журнал результатів.

Загальна структура передбачає поділ на сенсорно-виконавчий рівень, обчислювально-керуючий рівень та інформаційно-операторський рівень. Такий поділ дозволяє відокремити отримання даних, обробку зображень, прийняття рішення, керування актуатором і взаємодію з оператором. Структуру системи показано на рисунку 2.1.

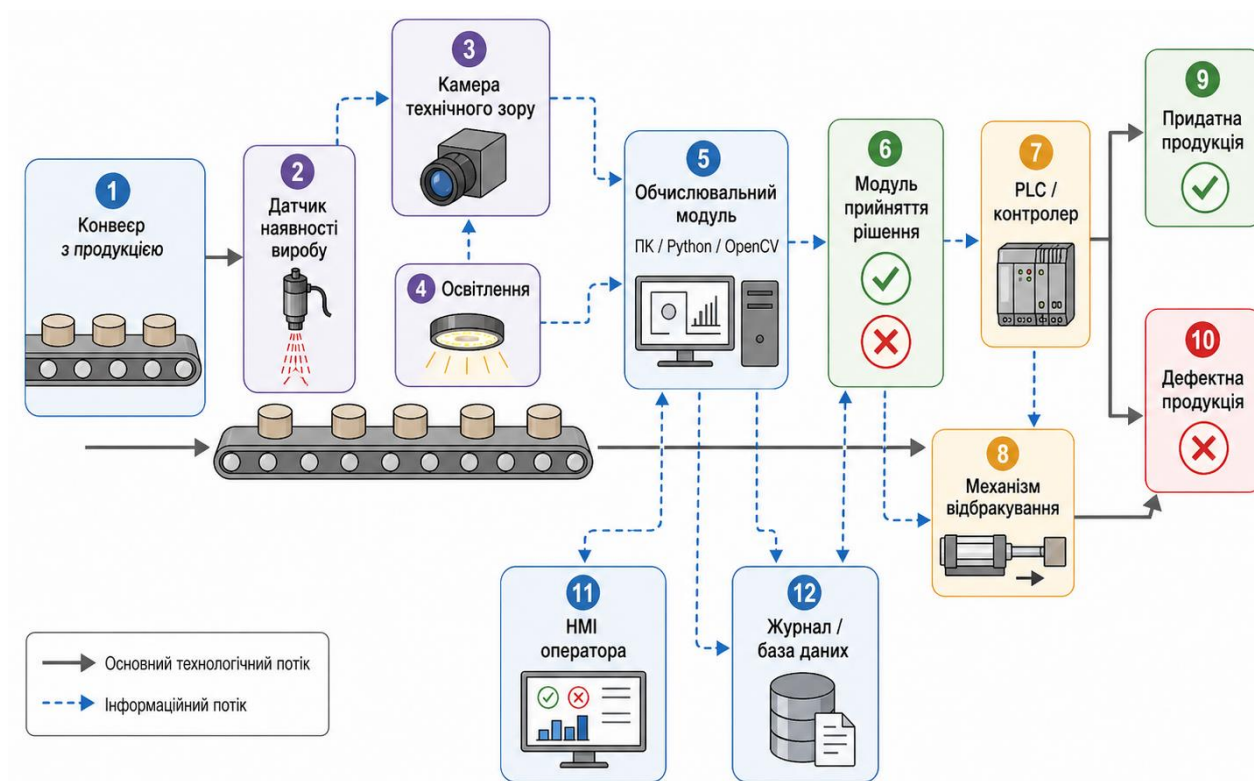


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі

Система може працювати в робочому режимі та режимі налаштування. У робочому режимі контроль виконується автоматично, а в режимі налаштування оператор змінює порогові значення, перевіряє якість зображення та тестує виконавчий механізм.

2.2 Вибір апаратних компонентів системи

Під час вибору камери необхідно враховувати мінімальний розмір дефекту, який потрібно виявити. Якщо дефект займає лише кілька пікселів, його надійне виявлення буде ускладненим. Тому роздільна здатність камери та поле зору мають підбиратися так, щоб контрольована ознака була достатньо представлена в кадрі.

Живлення та комутація також впливають на надійність системи. Для сенсорів, освітлення, реле і виконавчих механізмів доцільно використовувати стабілізоване джерело живлення, а керуючі кола потрібно захищати від перешкод і помилкових спрацювань.

Для забезпечення стабільності контролю камера та освітлення повинні бути жорстко закріплені відносно конвеєра. Зміна їх положення може призвести до зміщення області інтересу і неправильного аналізу ознак. Тому конструкція зони контролю має передбачати механічну стабільність та захист від випадкового зміщення обладнання.

Виконавчий механізм обирається з урахуванням маси виробу, швидкості конвеєра і допустимого способу контакту з продукцією. Для невеликих легких виробів достатнім може бути сервопривід або повітряний імпульс, а для важчих виробів більш доцільним є пневматичний штовхач.

Камера технічного зору має забезпечувати достатню роздільну здатність і частоту кадрів для фіксації виробів, що рухаються. Для навчального прототипу може використовуватися якісна USB-камера, а для промислової реалізації - GigE або USB3 камера з глобальним затвором.

Об'єктив підбирається за полем зору, відстанню до конвеєра і необхідною точністю контролю. Освітлення має бути стабільним і рівномірним; для цього доцільно застосовувати LED-джерела, кільцеве або лінійне освітлення. Датчик наявності виробу синхронізує момент отримання кадру.

Обчислювальний модуль виконує обробку зображень і прийняття рішення, а PLC або мікроконтролер забезпечує надійне керування актуатором. Виконавчим механізмом може бути пневматичний штовхач, сервопривідний

відвідник або електромагнітний актуатор. Основні компоненти подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні апаратні компоненти системи та їх призначення

Компонент системи	Орієнтовний варіант реалізації	Основне призначення
Конвеєрна стрічка	Навчальна або промислова конвеєрна лінія	Переміщення продукції через зону контролю
Датчик наявності продукції	Фотодатчик або оптичний бар'єр	Виявлення моменту появи виробу в зоні контролю
Камера технічного зору	USB3/GigE-камера або якісна USB-камера	Отримання цифрового зображення виробу
Об'єктив	Об'єктив із підбраною фокусною відстанню	Формування потрібного поля зору та масштабу
Блок освітлення	LED-освітлення, кільцеве або лінійне	Забезпечення стабільної якості зображення
Обчислювальний модуль	ПК, мінікомп'ютер або edge-комп'ютер	Обробка зображення та прийняття рішення
Контролер	PLC або мікроконтролер	Передавання керуючих сигналів до виконавчих пристроїв
Виконавчий механізм	Пневматичний штовхач, сервопривід або актуатор	Вилучення дефектного виробу з конвеєра
НМІ-інтерфейс	Програмне вікно, панель оператора або SCADA-екран	Моніторинг стану системи та налаштування параметрів
Журнал результатів	Локальний файл або база даних	Збереження результатів контролю та статистики

Для подальшого проєктування приймається конфігурація: камера з фіксованим положенням, LED-освітлення, фотодатчик, обчислювальний модуль із Python/OpenCV, PLC або мікроконтролер і механізм відбракування.

2.3 Проєктування алгоритму роботи системи

Під час реалізації алгоритму доцільно розділити обробку на основний цикл і службові процедури. Основний цикл відповідає за перевірку виробів, а службові процедури - за ініціалізацію, діагностику, тестування актуатора, зміну параметрів і запис подій. Така організація робить програму зрозумілішою та придатною до розширення.

Для уникнення помилок бажано, щоб кожен виріб отримував власний результат контролю. Навіть якщо система не зберігає зображення кожного

виробу, вона повинна фіксувати час перевірки, статус і основні параметри, оскільки ці дані корисні для подальшого аналізу.

Алгоритм повинен бути циклічним, оскільки конвеєрний процес передбачає послідовну перевірку великої кількості однотипних виробів. Після завершення контролю одного виробу система повертається до очікування наступного, а всі результати фіксуються в журналі для подальшого аналізу.

Важливо передбачити стан невизначеного результату. Він виникає тоді, коли система не може надійно класифікувати виріб через погану якість зображення, неправильне розташування або технічну помилку. Такий стан дозволяє уникнути необґрунтованого рішення про придатність виробу.

Алгоритм роботи системи починається з ініціалізації камери, датчика, контролера, освітлення та журналу результатів. Після перевірки працездатності система переходить у режим очікування виробу. У разі спрацювання датчика камера отримує зображення, а програмний модуль виконує його обробку.

Після попередньої обробки виділяється область інтересу, аналізуються форма, розміри, положення, колір і маркування. Отримані параметри порівнюються з допустимими межами. Якщо виріб придатний, він продовжує рух конвеєром; якщо виявлено дефект, формується команда на відбракування. Блок-схему алгоритму наведено на рисунку 2.2.

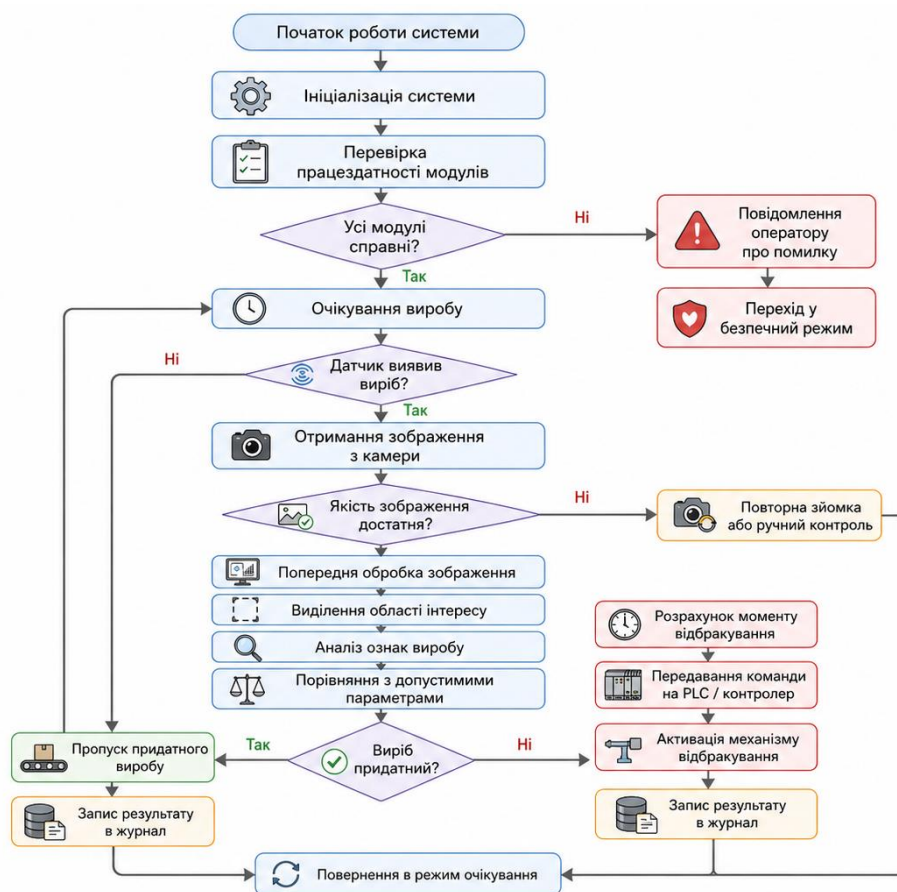


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму роботи системи контролю якості продукції

Алгоритм також передбачає обробку нестандартних ситуацій: несправність камери або датчика, низьку якість зображення, помилкове спрацювання датчика та втрату зв'язку з контролером. У таких випадках система повідомляє оператора або переходить у безпечний режим.

2.4 Розробка функціональної схеми взаємодії програмних і технічних модулів

Взаємодія модулів повинна бути організована так, щоб результат одного етапу був зрозумілим вхідним параметром для наступного. Наприклад, модуль аналізу ознак має передавати не саме зображення, а структурований набір параметрів: площу, розміри, положення, колірні характеристики та ознаки маркування.

Модуль збереження результатів повинен отримувати не лише кінцевий статус, а й службову інформацію: час циклу, режим роботи, тип дефекту, параметри алгоритму та ідентифікатор перевірки. Це підвищує простежуваність контролю і дає змогу відтворити причину рішення.

Функціональна схема дозволяє уточнити відповідальність кожного модуля. Модуль отримання зображення не повинен виконувати класифікацію, модуль аналізу ознак не повинен керувати актуатором, а модуль керування відбракуванням має працювати лише з результатом прийняття рішення. Такий розподіл зменшує складність програмної реалізації.

У системі важливо передбачити зворотні інформаційні зв'язки. Наприклад, НМІ має отримувати поточний статус перевірки, журнал - результат класифікації, а контролер - лише ті команди, які безпосередньо стосуються виконавчого механізму. Це підвищує прозорість роботи системи.

Функціональна схема уточнює, як апаратні та програмні компоненти обмінюються даними. Датчик і камера формують вхідні сигнали, модуль отримання зображення передає кадр на попередню обробку, далі виконуються аналіз ознак, прийняття рішення, керування відбракуванням, відображення інформації оператору та запис результатів.

Модуль прийняття рішення є центральним елементом програмної частини: він визначає стан виробу і передає результат до НМІ, журналу та модуля керування відбракуванням. Функціональну взаємодію показано на рисунку 2.3.

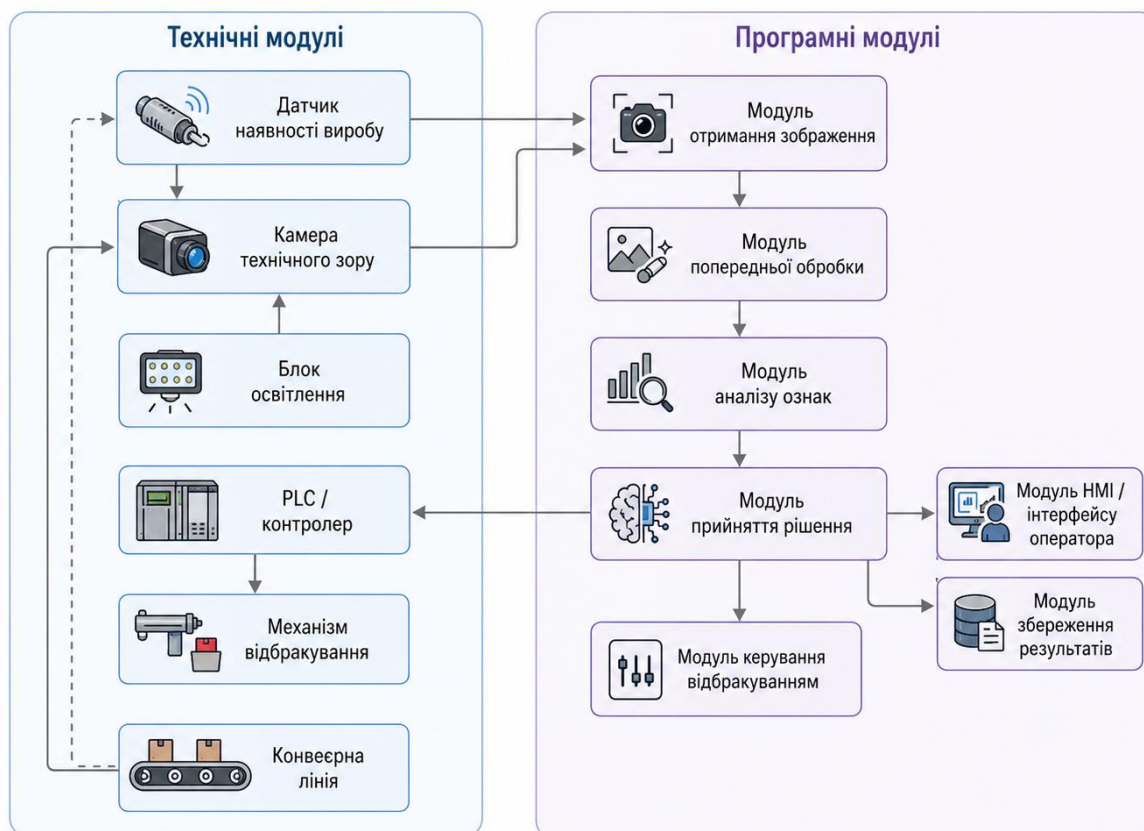


Рисунок 2.3 – Функціональна схема взаємодії програмних і технічних модулів системи

Таблиця 2.2 – Призначення програмних модулів системи

Програмний модуль	Основні функції	Вхідні дані	Вихідні дані
Модуль отримання зображення	Ініціалізація камери, отримання кадру, передавання зображення	Сигнал датчика, параметри камери	Зображення виробу
Модуль попередньої обробки	Фільтрація, нормалізація, бінаризація, виділення області інтересу	Зображення з камери	Підготовлене зображення
Модуль аналізу ознак	Визначення контурів, форми, розмірів, положення, кольору	Підготовлене зображення	Набір контрольованих параметрів
Модуль прийняття рішення	Порівняння параметрів із допустимими межами	Контрольовані параметри	Рішення про стан виробу
Модуль керування відбракуванням	Формування команди для контролера або актуатора	Рішення про дефект	Керуючий сигнал
Модуль інтерфейсу оператора	Відображення стану системи, статистики, повідомлень	Дані про роботу системи	Інформація для оператора
Модуль збереження результатів	Запис результатів контролю, подій і параметрів	Рішення, час, тип дефекту, зображення	Журнал контролю

Запропонований поділ на модулі полегшує тестування, подальше вдосконалення та можливу заміну окремих компонентів без зміни загальної логіки системи.

2.5 Проєктування інтерфейсу оператора та системи моніторингу

НМІ має забезпечувати оператору швидке розуміння стану системи без потреби аналізувати програмні логи. Для цього використовуються індикатори стану камери, контролера, освітлення та зв'язку, а також великі статусні повідомлення про результат перевірки останнього виробу.

Панель статистики є корисною не лише для оператора, а й для інженера з якості. Вона дозволяє оцінювати частку браку, час циклу, повторюваність дефектів і тенденції у виробничому процесі. У перспективі ці дані можуть передаватися до SCADA або MES-рівня підприємства.

Інтерфейс оператора забезпечує запуск і зупинку системи, перегляд зображення з камери, контроль статусу, зміну параметрів, перегляд статистики та отримання повідомлень про помилки. Він має бути зрозумілим, не перевантаженим і достатнім для оперативного контролю процесу.

Основними зонами НМІ є вікно зображення з камери, панель результату перевірки, статистика, журнал подій, параметри контролю, кнопки керування та таблиця останніх результатів. Макет інтерфейсу подано на рисунку 2.4.

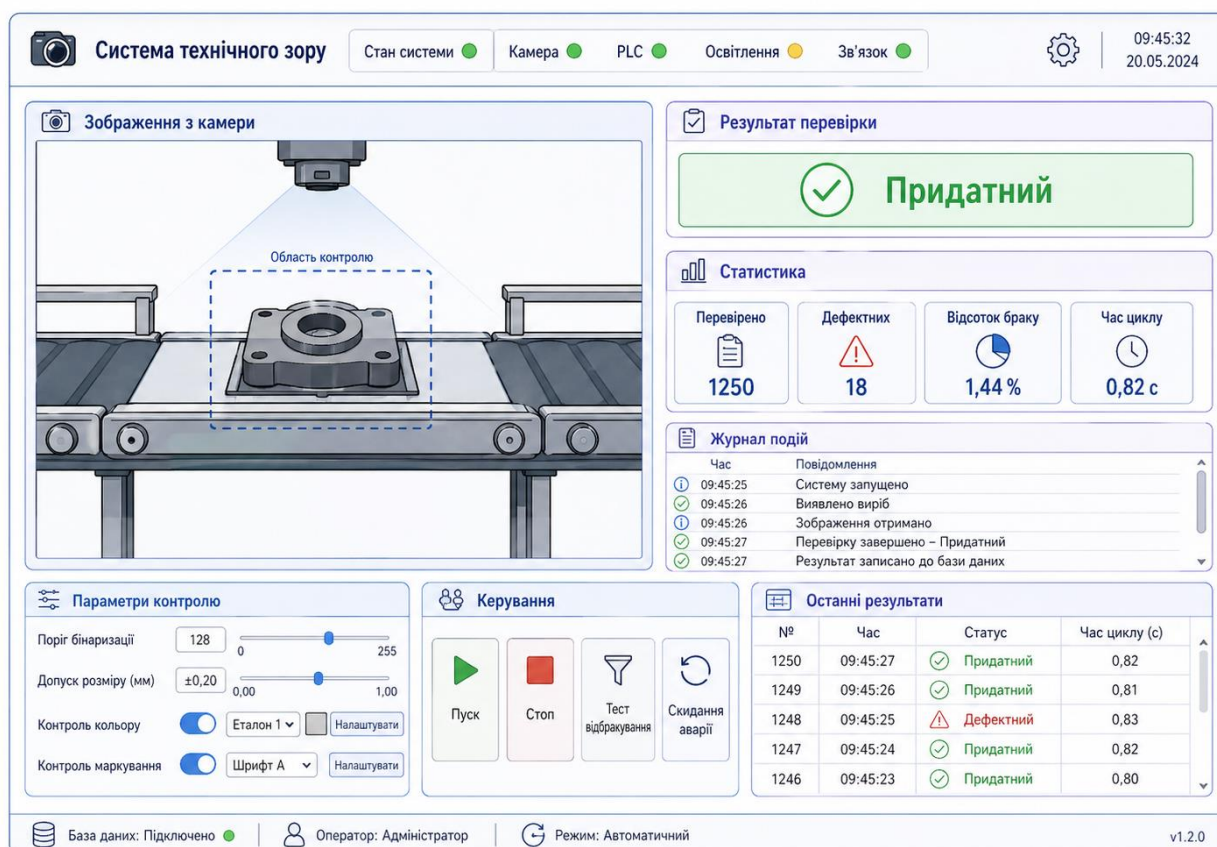


Рисунок 2.4 – Макет інтерфейсу оператора системи технічного зору

Таблиця 2.3 – Основні елементи інтерфейсу оператора

Елемент інтерфейсу	Призначення	Інформація або дія
Вікно зображення з камери	Візуальний контроль зони зйомки	Поточний кадр, область інтересу, контури
Панель статусу	Відображення стану системи	Очікування, обробка, придатний, дефектний, помилка
Блок статистики	Контроль результатів за період роботи	Кількість виробів, кількість дефектів, відсоток браку
Блок результату останньої перевірки	Швидке інформування оператора	Стан останнього виробу, тип дефекту
Панель налаштувань	Зміна параметрів контролю	Пороги, допустимі розміри, затримка відбракування
Журнал подій	Перегляд історії роботи системи	Час події, результат, помилка, тип дефекту
Кнопки керування	Запуск, зупинка, тестування	Start, Stop, Test, Reset
Аварійні повідомлення	Реагування на несправності	Помилки камери, датчика, контролера, актуатора

Інтерфейс виконує не лише інформаційну, а й діагностичну функцію: дає змогу виявляти збої камери, датчика, контролера або механізму відбракування та реагувати на них без втручання в програмний код.

2.6 Висновок до другого розділу

У розділі розроблено структуру системи технічного зору, обґрунтовано вибір апаратних компонентів, описано алгоритм роботи, взаємодію програмних і технічних модулів та макет інтерфейсу оператора. Запропоновані рішення формують основу для спеціального опрацювання алгоритмів обробки зображень, критеріїв відбракування та синхронізації актуатора.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Спеціальна частина деталізує метод обробки зображень, критерії прийняття рішення, алгоритм синхронізації механізму відбракування, моделювання роботи системи та оцінювання її ефективності.

3.1 Розробка методу обробки зображень

Фільтрація шумів повинна застосовуватися обережно. Надмірне згладжування може приховати дрібні дефекти, тоді як недостатня фільтрація призведе до появи хибних контурів. Тому параметри фільтрів потрібно підбирати з урахуванням реального масштабу контрольованих ознак.

Для зменшення похибок бажано виконувати калібрування системи. Навіть якщо у навчальному прототипі вимірювання здійснюються в пікселях, співвідношення між пікселями та фізичними одиницями дозволяє коректніше задавати допуски розмірів і порівнювати результати між різними налаштуваннями.

Якість результату значною мірою залежить від правильного вибору області інтересу. Якщо область занадто велика, алгоритм обробляє зайвий фон і може помилково виділити сторонні об'єкти. Якщо область занадто мала, частина виробу або дефекту може не потрапити до аналізу. Тому область інтересу має відповідати геометрії виробу та положенню камери.

Бінаризація і виділення контурів є ефективними лише за достатнього контрасту між виробом і фоном. Якщо виріб має складну текстуру або змінну поверхню, доцільно доповнювати геометричні методи аналізом кольору, локальних ознак або навченою моделлю класифікації.

Метод обробки зображень перетворює вхідний кадр у набір ознак, за якими система оцінює стан виробу. Для бакалаврського проекту доцільним є класичний алгоритм: отримання кадру, вибір області інтересу, попередня обробка, сегментація, виділення контурів, обчислення ознак і передавання результатів до модуля прийняття рішення [2], [7].

Основними етапами є перетворення у відтінки сірого, фільтрація шумів, нормалізація яскравості, бінаризація, морфологічна обробка та аналіз контурів. Якщо контроль базується на кольорі, додатково може використовуватися простір HSV. Послідовність обробки показано на рисунку 3.1.

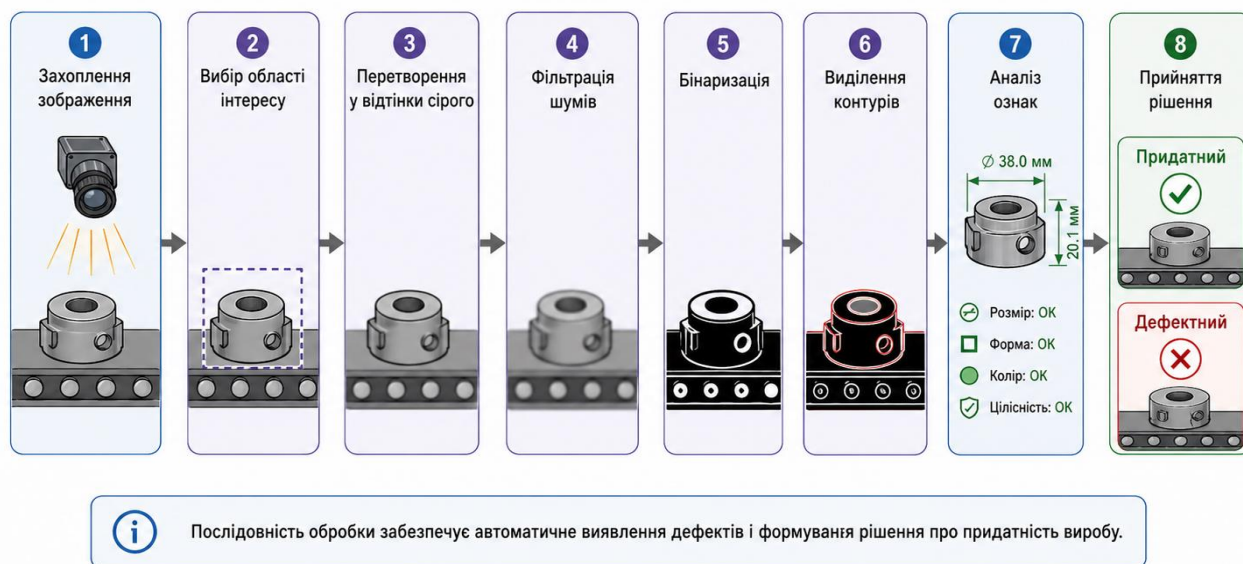


Рисунок 3.1 – Послідовність обробки зображення в системі контролю якості

До контрольованих ознак належать площа об'єкта, периметр, ширина й висота, співвідношення сторін, координати центра, кут повороту, відхилення від еталонної форми та середні колірні характеристики. Ці параметри дозволяють виявляти деформації, неправильне положення, пошкодження, забруднення або відсутність маркування.

Перевагою класичного підходу є прозорість логіки, висока швидкодія і можливість налаштування під конкретний тип виробу. У складніших випадках алгоритм може бути розширений методами машинного навчання або нейронних мереж [8], [9].

3.2 Формування критеріїв прийняття рішення

Під час формування критеріїв потрібно уникати надто вузьких допусків, оскільки це може спричинити надмірне відбракування придатної продукції. Водночас надто широкі допуски підвищують ризик пропуску дефектів. Оптимальні межі мають визначатися на основі тестування і статистики результатів.

Для кожного критерію бажано визначити не лише допустимий діапазон, а й дію системи у разі його порушення. Наприклад, порушення форми або відсутність маркування можуть бути критичними, а незначне відхилення кольору може вимагати лише повторної перевірки.

Критерії повинні бути не лише технічно обґрунтованими, а й налаштовуваними. У різних партіях продукції допустимі відхилення можуть відрізнятися, тому параметри форми, розміру, кольору або положення доцільно зберігати у вигляді профілю налаштувань.

Слід розрізняти критичні та некритичні відхилення. Критичні відхилення одразу призводять до відбракування, тоді як некритичні можуть фіксуватися в журналі або спрямовувати виріб на повторну перевірку. Такий підхід зменшує кількість помилкових вилучень придатної продукції.

Критерії прийняття рішення визначають, як результати аналізу зображення інтерпретуються системою. Виріб вважається придатним, якщо всі критичні параметри перебувають у допустимих межах; дефектним - якщо хоча б один критичний параметр порушено; невизначеним - якщо якість зображення або умови контролю не дозволяють прийняти достовірне рішення.

Основними критеріями є відповідність форми, розмірів, положення на конвеєрі, цілісності поверхні, кольору, маркування та якості зображення. Формалізований перелік критеріїв наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Критерії прийняття рішення про відбракування продукції

Контрольований параметр	Метод оцінювання	Умова придатності	Умова відбракування
Форма виробу	Аналіз контуру та співвідношення сторін	Контур відповідає еталонній формі в допустимих межах	Значне викривлення, деформація або порушення контуру
Розміри виробу	Визначення ширини, висоти, площі	Розміри перебувають у допустимому діапазоні	Розміри менші або більші за встановлені межі
Положення на конвеєрі	Координати центра, кут повороту	Виріб розташований у контрольній зоні	Надмірне зміщення або поворот
Цілісність поверхні	Аналіз локальних плям, розривів, відсутніх областей	Площа дефектних зон не перевищує порога	Виявлено пошкодження або значну дефектну область
Колір	Аналіз середнього кольору або діапазону HSV	Колір відповідає допустимому діапазону	Виявлено неправильний колір або забруднення
Маркування	Аналіз контрольної області	Маркування присутнє та розміщене правильно	Маркування відсутнє, зміщене або нечітке
Якість зображення	Оцінювання яскравості, контрасту, різкості	Зображення придатне для аналізу	Кадр темний, засвічений, розмитий або неповний

Логіка прийняття рішення ґрунтується на послідовній перевірці параметрів. Якщо всі параметри відповідають вимогам, виріб пропускається далі; якщо виявлено критичне відхилення, формується команда на відбракування; якщо результат сумнівний, виріб направляється на повторну перевірку або ручний контроль. Цю логіку показано на рисунку 3.2.

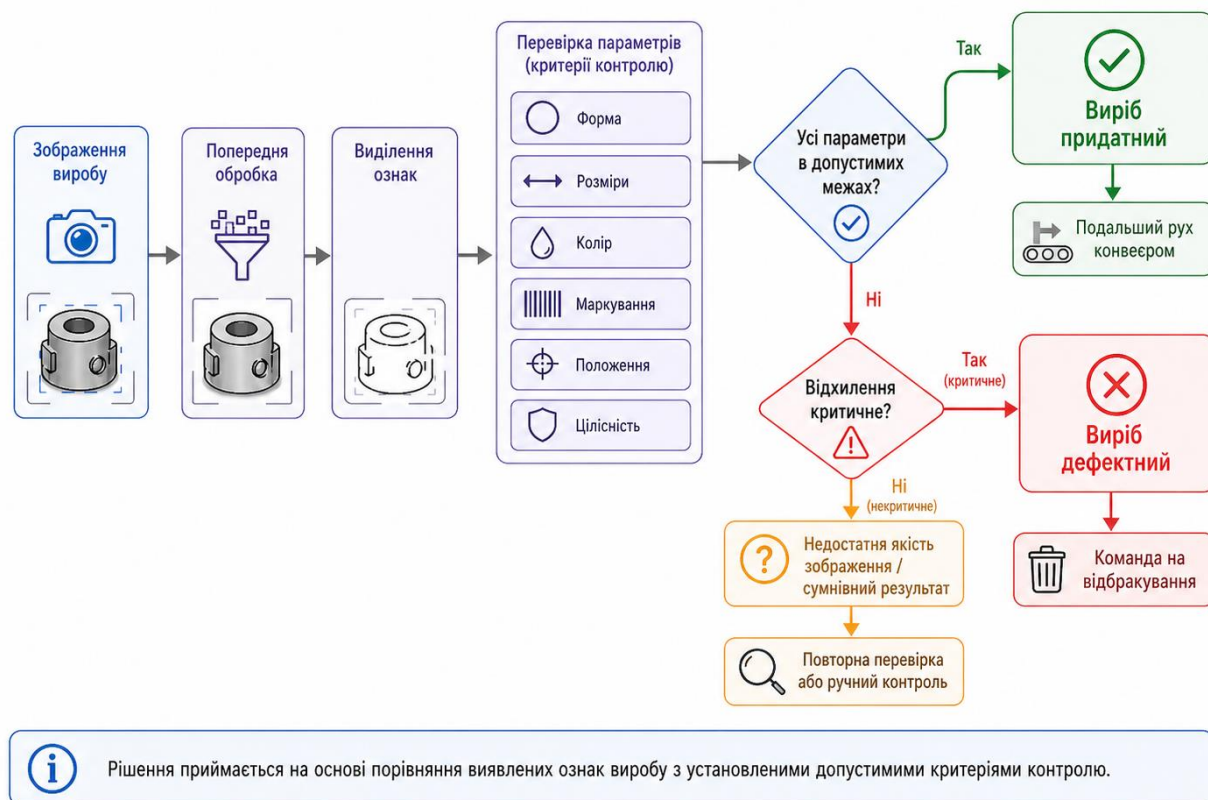


Рисунок 3.2 – Логіка прийняття рішення про придатність або відбракування виробу

3.3 Розробка алгоритму керування виконавчим механізмом

Часові параметри системи повинні бути стабільними. Якщо час обробки кадру змінюється від виробу до виробу, точність відбракування може знижуватися. Тому в алгоритмі бажано фіксувати фактичний час виконання операцій і враховувати його при розрахунку затримки.

У промисловій реалізації керування актуатором доцільно виконувати через контролер, а не безпосередньо з комп'ютера. Це підвищує надійність, оскільки PLC або мікроконтролер краще пристосований до роботи з дискретними сигналами, реле, клапанами та приводами.

У практичній системі момент спрацювання актуатора повинен бути синхронізований не лише за часом, а й за положенням виробу. Якщо між зоною контролю і зоною відбракування одночасно можуть перебувати кілька виробів, система має відстежувати чергу рішень або використовувати додатковий датчик у зоні вилучення.

Для підвищення надійності бажано передбачити підтвердження спрацювання механізму. Це може бути кінцевий вимикач, датчик положення або сигнал з контролера. Якщо підтвердження не отримано, система повинна повідомити оператора і перейти в режим діагностики.

Автоматичне відбракування є завершальним етапом роботи системи. Його складність полягає в тому, що зона візуального контролю і зона фізичного вилучення просторово розділені. Тому після виявлення дефекту система повинна активувати механізм лише тоді, коли виріб досягне зони відбракування.

Базова залежність для визначення часу переміщення виробу має вигляд $t = L / v$, де t - час затримки, L - відстань від зони контролю до зони відбракування, v - швидкість конвеєра. У реальній системі додатково враховуються час отримання кадру, обробки зображення, передавання сигналу та спрацювання актуатора. Синхронізацію показано на рисунку 3.3.

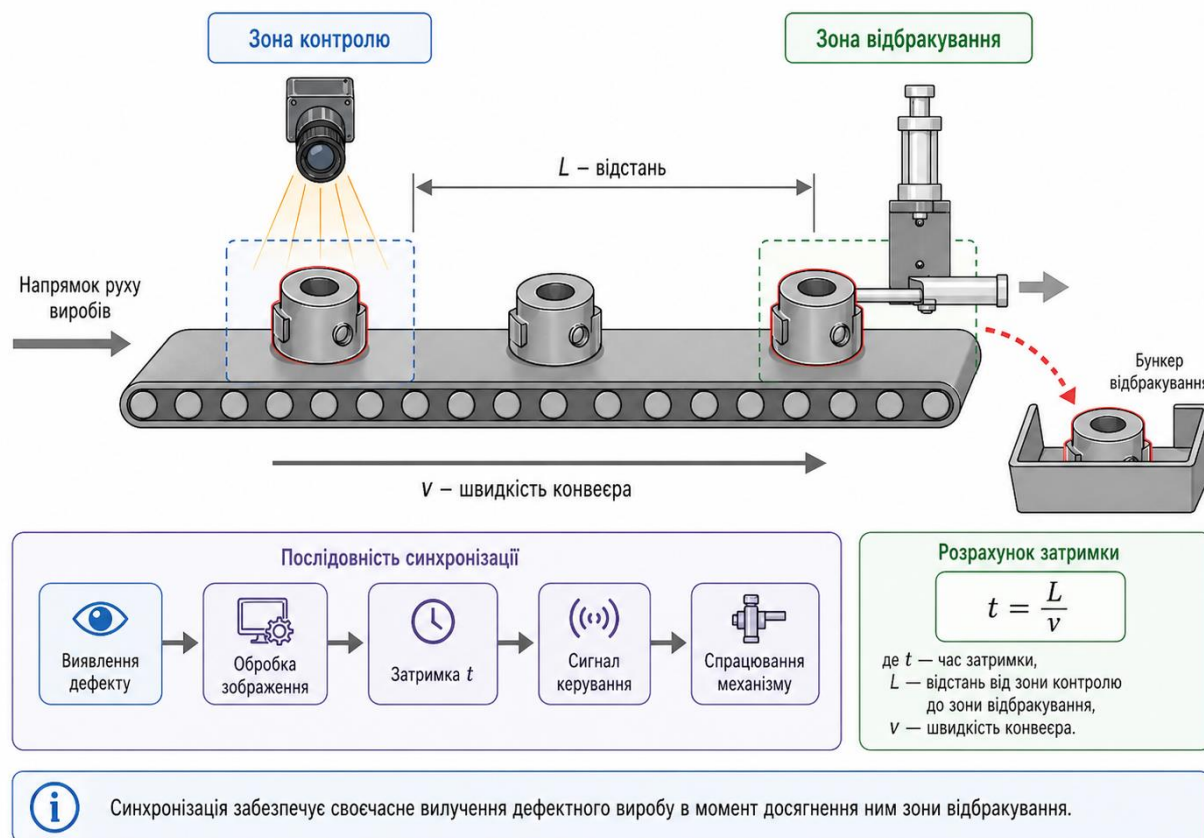


Рисунок 3.3 – Схема синхронізації камери, конвеєра та механізму відбракування

Таблиця 3.2 – Параметри синхронізації механізму відбракування

Параметр	Позначення	Призначення	Вплив на роботу системи
Відстань від камери до актуатора	L	Визначає шлях виробу після контролю	Чим більша відстань, тим більше часу на обробку
Швидкість конвеєра	v	Визначає час переміщення виробу	Зі збільшенням швидкості зменшується доступний час
Час отримання зображення	t _{зобр}	Час захоплення кадру камерою	Впливає на загальну затримку системи
Час обробки зображення	t _{обр}	Час виконання алгоритму аналізу	Критичний для роботи в реальному часі
Час передавання сигналу	t _{кер}	Затримка між рішенням і командою контролеру	Має бути мінімальним і стабільним
Час спрацювання актуатора	такт	Час фізичного переміщення механізму	Визначає точність вилучення виробу
Затримка активації	t _{зат}	Час очікування перед спрацюванням	Забезпечує синхронізацію з положенням виробу

Якщо розрахована затримка є від'ємною, система не встигає виконати відбракування у потрібний момент. У такому разі необхідно зменшити швидкість конвеєра, збільшити відстань до механізму, оптимізувати алгоритм або використати швидший актуатор.

3.4 Моделювання та перевірка роботи системи

Результати тестування мають бути інтерпретовані з урахуванням типу помилки. Помилкове відбракування призводить до втрати придатної продукції, але пропуск дефекту є більш критичним, оскільки дефектний виріб може потрапити до споживача або на наступну операцію. Тому для різних помилок доцільно встановлювати різну вагу.

Перевірка часу обробки є не менш важливою, ніж перевірка точності класифікації. Навіть правильне рішення втрачає практичну цінність, якщо воно формується занадто пізно і механізм не встигає вилучити дефектний виріб.

Тестування має охоплювати не лише нормальні та дефектні вироби, а й граничні випадки: часткове перекриття виробу, зміщення в кадрі, зміну освітлення, нечітке маркування та втрату сигналу від окремих модулів. Саме

такі сценарії найкраще показують стійкість системи до реальних виробничих умов.

Під час перевірки доцільно фіксувати не тільки кінцеве рішення, а й проміжні параметри: площу об'єкта, координати центра, час обробки кадру, результат порогової обробки і тип виявленого дефекту. Це дозволяє уточнити налаштування алгоритму.

Перевірка роботи системи виконується на типових сценаріях, що імітують реальні стани продукції: придатний виріб, геометричний дефект, зміна кольору, неправильне положення, відсутнє маркування, помилка зчитування, помилкове спрацювання датчика та зміна освітлення.

Метою моделювання є оцінювання правильності класифікації, часу обробки кадру, кількості помилкових спрацювань, кількості пропущених дефектів і точності моменту спрацювання механізму відбракування. Узагальнену схему перевірки наведено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Узагальнена схема перевірки роботи системи на тестових сценаріях

Таблиця 3.3 – Результати тестування системи на типових сценаріях

Тестовий сценарій	Очікувана реакція системи	Результат контролю	Коментар
Нормальний виріб без дефектів	Класифікація як придатний	Пропуск виробу основним потоком	Сигнал на відбракування не формується
Геометричний дефект	Виявлення порушення форми або площі	Відбракування	Активується механізм вилучення
Зміна кольору або пляма	Виявлення відхилення кольору	Відбракування	Фіксується тип дефекту
Неправильне положення	Виявлення зміщення або повороту	Відбракування або повторна перевірка	Залежить від налаштувань системи
Відсутнє маркування	Виявлення порушення у зоні маркування	Відбракування	Контроль виконується в області інтересу
Помилка зчитування зображення	Повідомлення про помилку	Невизначений стан	Потрібне втручання оператора
Помилкове спрацювання датчика	Виріб не виявлено в кадрі	Подія фіксується в журналі	Сигнал на актуатор не формується
Зміна освітлення	Корекція або повідомлення про низьку якість	Залежить від рівня зміни	Перевіряє стійкість алгоритму

Результати тестування дозволяють уточнювати пороги обробки, параметри області інтересу, допустимі межі ознак і затримку актуатора. Особливої уваги потребують сценарії зі зміною освітлення та неправильним положенням виробу, оскільки саме вони найчастіше спричиняють помилкові рішення.

3.5 Оцінювання ефективності та можливостей удосконалення

Система технічного зору може виконувати роль елемента зворотного зв'язку у виробничому процесі. Якщо кількість дефектів певного типу зростає, це може свідчити про погіршення стану обладнання, неправильне налаштування попередньої операції або зміну властивостей матеріалу.

Перспективним напрямом є поєднання класичних алгоритмів з методами машинного навчання. Класичні алгоритми можуть виконувати швидко

попереднє виділення області інтересу, а навчена модель - уточнювати класифікацію складних або неоднозначних дефектів.

Економічна ефективність автоматизованого контролю проявляється не лише у зменшенні кількості операторів, а й у зниженні втрат від пропущених дефектів, скороченні часу сортування і можливості швидко виявляти технологічні відхилення. Накопичена статистика може використовуватися для аналізу причин браку.

Подальше вдосконалення може передбачати підключення енкодера конвеєра для точнішого визначення положення виробу, використання промислової камери з глобальним затвором, розширення системи до кількох камер і впровадження автоматичного формування звітів про якість.

Ефективність системи визначається точністю розпізнавання дефектів, швидкістю, стабільністю роботи, зручністю експлуатації та можливістю інтеграції з виробничими системами. Порівняно з ручним контролем технічний зір забезпечує повторюваність результатів, зменшує вплив людського фактора і дає змогу автоматично накопичувати статистику.

Порівняння ручного та автоматизованого контролю наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняння ручного та автоматизованого контролю якості

Критерій порівняння	Ручний контроль	Автоматизований контроль із технічним зором
Швидкодія	Обмежена можливостями оператора	Вища, може працювати без зупинки конвеєра
Повторюваність результатів	Залежить від людського фактора	Забезпечується однаковими алгоритмічними критеріями
Виявлення дрібних дефектів	Залежить від уважності оператора	Може бути стабільним за якісного зображення
Накопичення статистики	Потребує ручного введення	Виконується автоматично
Втомлюваність	Суттєво впливає на якість контролю	Не впливає на алгоритм контролю
Інтеграція з виробничими системами	Обмежена	Можлива інтеграція з PLC, SCADA, MES
Витрати на впровадження	Нижчі на початку	Вищі на початку, але нижчі в довгостроковій перспективі
Гнучкість до нових типів продукції	Висока за рахунок оператора	Потребує переналаштування алгоритму

Основними напрямками вдосконалення є використання нейронних мереж для складних дефектів, інтеграція зі SCADA або MES, застосування edge computing, формування профілів для різних типів продукції, підключення до бази даних підприємства та автоматичне створення звітів про якість [6], [8], [9].

Запропонована система може бути використана як навчальний або дослідний прототип і надалі масштабована до промислової реалізації шляхом заміни окремих компонентів на промислові аналоги.

3.6 Висновок до третього розділу

У розділі розроблено метод обробки зображень, сформовано критерії відбракування, описано синхронізацію механізму вилучення дефектних виробів, наведено підхід до тестування та оцінено ефективність системи. Отримані рішення забезпечують перетворення візуальної інформації на керуючу дію та підтверджують практичну доцільність запропонованої архітектури.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Питання щодо охорони праці

Під час проєктування та експлуатації системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі необхідно враховувати вимоги охорони праці, оскільки система поєднує електричні, механічні, інформаційно-керуючі та оптичні компоненти. До її складу входять конвеєрна лінія, камера технічного зору, блок освітлення, датчики, обчислювальний модуль, PLC або мікроконтролер, виконавчий механізм відбракування та інтерфейс оператора. Кожен із цих елементів може створювати потенційні небезпечні або шкідливі виробничі фактори, тому питання безпечної експлуатації мають бути враховані ще на етапі проєктування системи.

Основними небезпечними факторами під час роботи такої системи є можливість ураження електричним струмом, травмування рухомими частинами конвеєра, випадкове спрацювання механізму відбракування, засліплення або перевтома очей від джерел освітлення, а також помилки оператора під час налаштування або обслуговування обладнання. Особливу увагу необхідно приділяти зоні дії виконавчого механізму, оскільки пневматичний штовхач, сервопривід або електромагнітний актуатор можуть виконувати різкий рух і створювати ризик травмування рук працівника.

Для зниження ризику травмування рухомими частинами конвеєра всі небезпечні зони мають бути конструктивно обмежені або позначені. Оберткові вали, ролики, ремінні передачі та зона відбракування повинні мати захисні кожухи або огороження. Працівник не повинен мати прямого доступу до рухомих елементів під час роботи системи. Налаштування камери, освітлення, датчиків або механізму відбракування необхідно виконувати лише після зупинки конвеєра та вимкнення виконавчих пристроїв.

Електробезпека системи забезпечується правильним вибором джерел живлення, ізоляцією струмопровідних частин, надійним заземленням обладнання, застосуванням захисних автоматичних вимикачів і використанням

низьковольтних кіл керування. Особливо це важливо для блоків живлення, контролера, релейних або транзисторних виходів, LED-освітлення та виконавчих механізмів. Під час монтажу слід уникати відкритих контактів, неякісних з'єднань, пошкоджених кабелів і перевантаження електричних ліній. Усі кабелі бажано розміщувати в кабель-каналах або захисних гофрах, щоб запобігти їх механічному пошкодженню.

Під час роботи з джерелами LED-освітлення необхідно враховувати можливий вплив яскравого світла на зір оператора. Освітлення має бути спрямоване на зону контролю, а не безпосередньо в очі працівника. Доцільно використовувати розсіювачі, захисні екрани або закриту контрольну зону, щоб зменшити засліплення, відблиски та втомлюваність очей. Робоче місце оператора повинно мати достатнє загальне освітлення, зручне розташування монітора та відсутність різких контрастів між екраном і навколишнім середовищем.

Важливим елементом охорони праці є правильна організація робочого місця оператора. Монітор НМІ або комп'ютерного інтерфейсу повинен бути розташований на зручній висоті, щоб оператор міг контролювати стан системи без надмірного нахилу голови або напруження зору. Органи керування мають бути чітко підписані, а кнопки запуску, зупинки, тестування механізму відбракування та скидання аварії повинні бути логічно розміщені. Особливо важливо передбачити кнопку аварійної зупинки, яка має бути доступною для швидкого натискання у разі небезпечної ситуації.

Програмна частина системи також повинна враховувати вимоги безпеки. Інтерфейс оператора має відображати поточний стан камери, датчика, PLC, освітлення, зв'язку та механізму відбракування. У разі несправності одного з критичних модулів система повинна переходити в безпечний режим і повідомляти оператора про причину зупинки. Недопустимою є ситуація, коли конвеєр продовжує працювати, а система контролю фактично не отримує зображення або не може передати команду на виконавчий механізм.

Під час технічного обслуговування системи необхідно дотримуватися правила повного знеструмлення обладнання перед втручанням у електричні або

механічні вузли. Оператор або технічний працівник не повинен виконувати очищення камери, налаштування датчика, регулювання освітлення чи перевірку актуатора під час руху конвеєра. Перед запуском після обслуговування слід перевірити справність огорожень, цілісність кабелів, правильність підключення датчиків і коректність роботи аварійної зупинки.

Отже, безпечна експлуатація системи технічного зору забезпечується комплексом технічних і організаційних заходів: електрозахистом, огороженням рухомих частин, правильним розміщенням освітлення, ергономічною організацією робочого місця, наявністю аварійної зупинки, діагностикою стану модулів і регламентованим порядком технічного обслуговування. Дотримання цих вимог дозволяє знизити ризик травмування персоналу, підвищити надійність роботи системи та забезпечити безпечне функціонування автоматизованого комплексу контролю якості.

4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

Під час експлуатації системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі необхідно враховувати можливість виникнення надзвичайних ситуацій техногенного або організаційного характеру. До таких ситуацій можуть належати пожежа, коротке замикання, аварійне зупинення конвеєра, відмова механізму відбракування, втрата живлення, збій програмного забезпечення, пошкодження кабельних ліній, задимлення приміщення або інші події, які створюють небезпеку для персоналу та обладнання.

Найбільш імовірними джерелами небезпеки в такій системі є електричні кола живлення, блоки керування, виконавчі механізми, джерела освітлення та рухомі частини конвеєра. У разі короткого замикання або перегрівання електричних компонентів можливе виникнення пожежі. Тому електрична частина системи повинна мати захист від перевантаження, якісну ізоляцію, надійне заземлення та можливість швидкого аварійного вимкнення. Блоки живлення, PLC, реле, драйвери актуаторів та інші електронні компоненти необхідно розміщувати у захищених корпусах або шафах керування.

У разі виникнення пожежі першочерговим завданням є безпечне припинення роботи обладнання та евакуація персоналу. Оператор повинен негайно зупинити конвеєр, вимкнути живлення системи, повідомити відповідальних осіб і діяти відповідно до інструкції з пожежної безпеки. Якщо пожежа невелика й немає загрози життю, допускається використання відповідних первинних засобів пожежогасіння. При цьому не можна застосовувати воду для гасіння електрообладнання, яке перебуває під напругою. Після ліквідації небезпеки повторний запуск системи можливий лише після перевірки стану електричних кіл, датчиків, контролера, камери та виконавчих механізмів.

Однією з важливих аварійних ситуацій є відмова механізму відбракування. Якщо актуатор не спрацював у момент проходження дефектного виробу, система повинна зафіксувати помилку і повідомити оператора. У промисловому варіанті доцільно передбачити датчик підтвердження положення механізму або кінцевий вимикач, який контролює повернення актуатора у початкове положення. Якщо механізм не повернувся у вихідний стан, система повинна перейти в безпечний режим, щоб запобігти пошкодженню наступних виробів або травмуванню персоналу.

У разі втрати живлення система повинна зупинитися без створення додаткової небезпеки. Після відновлення електропостачання не допускається самовільний автоматичний запуск конвеєра та виконавчих механізмів без підтвердження оператора. Це необхідно для запобігання раптовому руху обладнання, коли працівник може перебувати в зоні обслуговування. Після відновлення живлення система має пройти повторну ініціалізацію, перевірити стан камери, датчика, контролера, освітлення, зв'язку та механізму відбракування.

Програмний збій також може створити аварійну ситуацію, особливо якщо система неправильно класифікує вироби або передає некоректні сигнали на контролер. Для зниження такого ризику програмне забезпечення повинно передбачати перевірку стану модулів, контроль часу обробки кадру, фіксацію помилок у журналі подій і перехід у безпечний режим у разі критичної

несправності. Якщо камера недоступна, зображення не отримано або зв'язок із контролером втрачено, система не повинна продовжувати автоматичне відбракування на основі неперевірених даних.

Окрему небезпеку становить аварійне заклинювання виробу на конвеєрі. Така ситуація може призвести до накопичення продукції, пошкодження механічних вузлів або неправильного спрацювання механізму відбракування. У цьому випадку оператор повинен зупинити конвеєр за допомогою штатної або аварійної кнопки, переконатися у відсутності руху механізмів і лише після цього усунути причину заклинювання. Заборонено видаляти застряглий виріб руками під час роботи конвеєра або при ввімкненому виконавчому механізмі.

У приміщенні, де експлуатується система, мають бути визначені шляхи евакуації, доступ до засобів пожежогасіння та вільний прохід до кнопок аварійної зупинки. Робоча зона не повинна бути захащена сторонніми предметами, кабелями або матеріалами, які можуть заважати швидкому виходу персоналу. Оператор повинен знати порядок дій у разі пожежі, задимлення, ураження працівника електричним струмом, аварійної зупинки обладнання або втрати керування системою.

Для підвищення готовності до надзвичайних ситуацій доцільно передбачити періодичну перевірку справності аварійної зупинки, датчиків, захисних огорожень, системи живлення та виконавчого механізму. Також необхідно вести журнал технічного стану системи, у якому фіксуються несправності, аварійні спрацювання, відмови обладнання та проведені профілактичні роботи. Це дозволяє виявляти повторювані проблеми й запобігати виникненню аварійних ситуацій у майбутньому.

Отже, безпека в надзвичайних ситуаціях для системи технічного зору забезпечується завдяки поєднанню технічних засобів захисту, програмної діагностики, аварійного вимкнення, організаційних інструкцій і підготовки персоналу. Система повинна не лише виконувати контроль якості продукції, а й у разі несправності переходити в безпечний режим, не створюючи додаткової загрози для працівників, обладнання та виробничого процесу.

ВИСНОВКИ

Отримані результати демонструють, що ефективна система контролю якості повинна бути комплексною: недостатньо лише розпізнати дефект на зображенні, необхідно також забезпечити своєчасну реакцію виконавчого механізму і фіксацію результатів у інформаційній системі.

Сформована структура може бути використана як основа для подальшої практичної реалізації. Вона є масштабованою, оскільки дозволяє замінювати камеру, контролер, програмні модулі або механізм відбракування без зміни загального принципу роботи. У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто задачу проєктування системи технічного зору для контролю якості продукції на конвеєрі з автоматичним відбракуванням. Запропоноване рішення поєднує сенсорне отримання даних, цифрову обробку зображень, прийняття рішення, НМІ-моніторинг і керування виконавчим механізмом. Проаналізовано предметну область, визначено недоліки ручного контролю, типові візуальні дефекти продукції та вимоги до системи.

Обґрунтовано застосування класичних методів комп'ютерного зору як базового підходу для навчально-проєктної реалізації. Розроблено структуру системи, що включає конвеєр, датчик, камеру, освітлення, обчислювальний модуль, контролер, механізм відбракування, інтерфейс оператора та журнал результатів. Описано алгоритм роботи системи, функціональну взаємодію модулів і макет НМІ. У спеціальній частині сформовано метод обробки зображень, критерії прийняття рішення, алгоритм синхронізації механізму відбракування та підхід до перевірки системи на типових сценаріях. Показано, що точність роботи залежить від якості зображення, коректності порогів, стабільності освітлення та правильного розрахунку затримки актуатора.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих рішень для створення навчального або дослідного стенда автоматизованого контролю якості. Подальший розвиток системи може передбачати використання нейронних мереж, інтеграцію зі SCADA/MES, застосування edge computing і автоматичне формування звітів про якість.

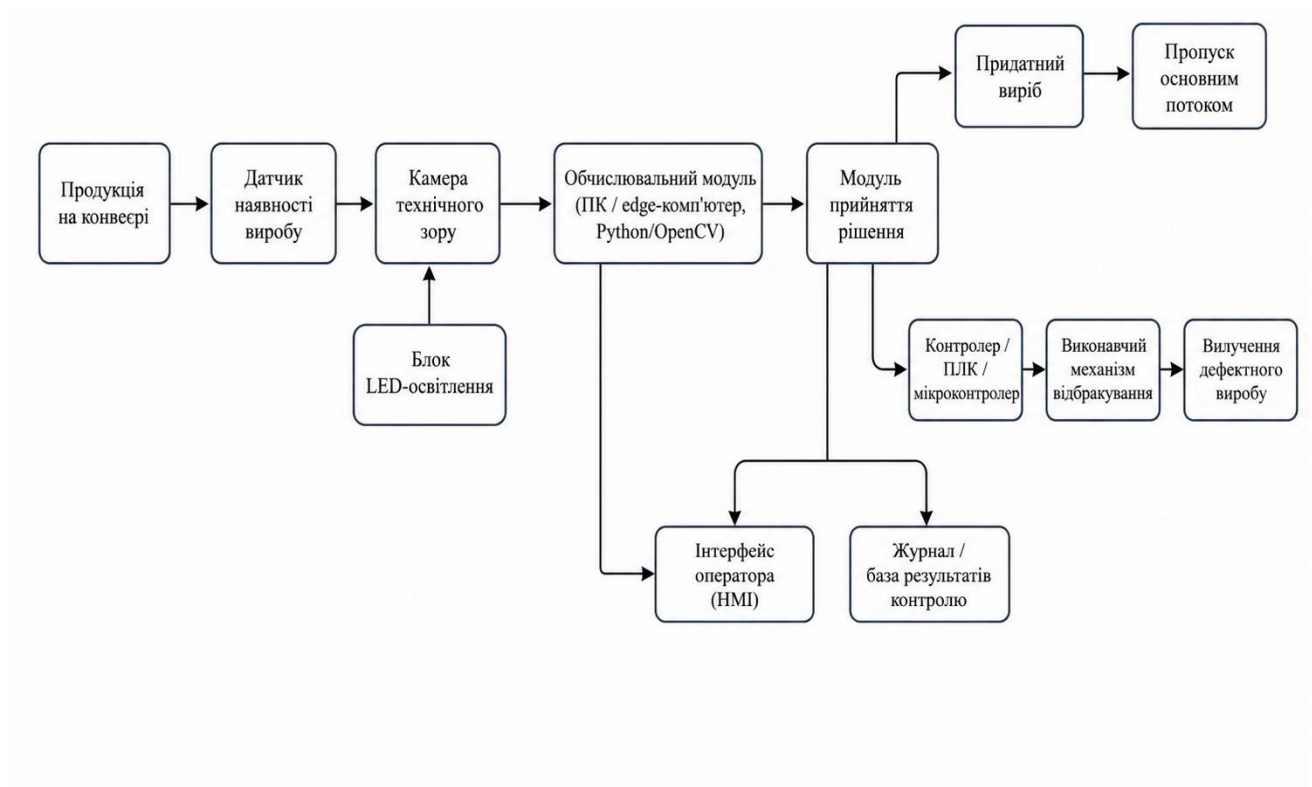
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

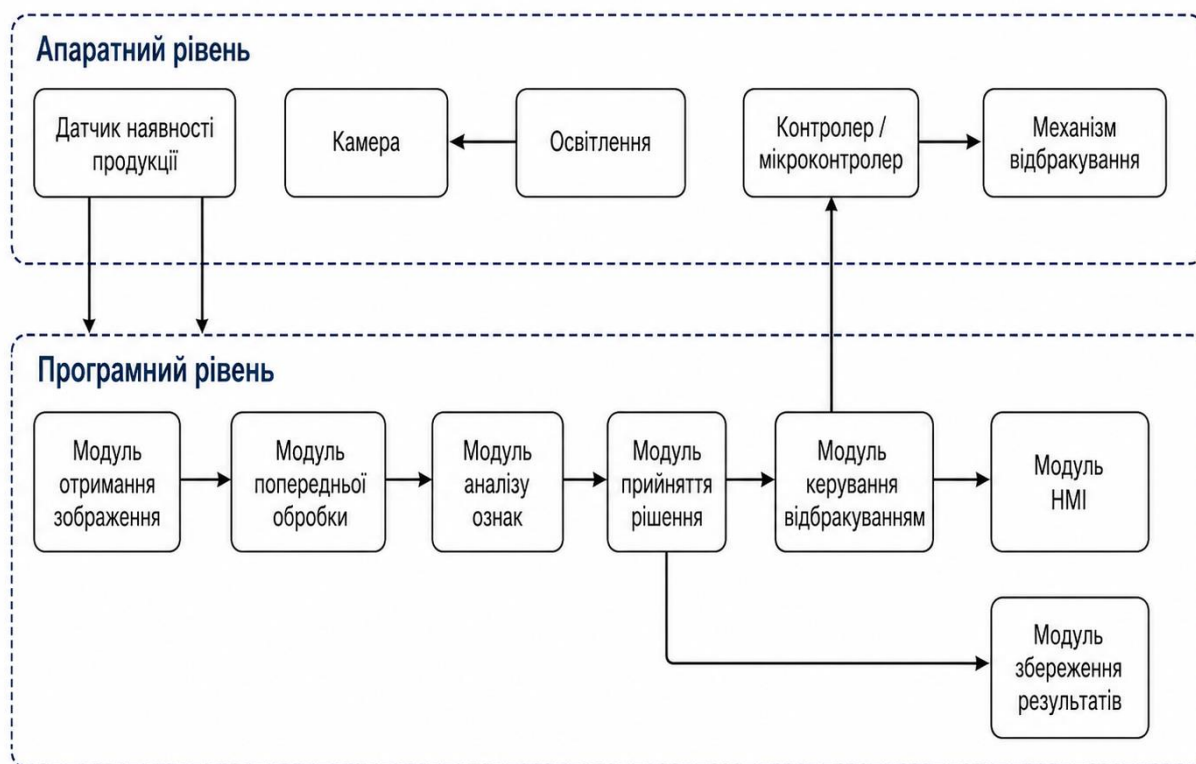
- 1 Szeliski, R. (2022). Computer vision: Algorithms and applications (2nd ed.). Springer. doi: 10.1007/978-3-030-34372-9.
- 2 Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital image processing (4th ed.). Pearson.
- 3 Steger, C., Ulrich, M., & Wiedemann, C. (2018). Machine vision algorithms and applications (2nd ed.). Wiley-VCH.
- 4 Groover, M. P. (2022). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (5th ed.). Pearson.
- 5 International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015: Quality management systems — Requirements. ISO.
- 6 Gilchrist, A. (2016). Industry 4.0: The industrial Internet of Things.
- 7 OpenCV. (2026). OpenCV 4.x documentation: Image processing in OpenCV. Retrieved April 26, 2026.
- 8 Wang, J., Ma, Y., Zhang, L., Gao, R. X., & Wu, D. (2018). Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 144–156. doi: 10.1016/j.jmsy.2018.01.003.
- 9 Hütten, N., Alves Gomes, M., Hölken, F., Andricevic, K., Meyes, R., & Meisen, T. (2024). Deep learning for automated visual inspection in manufacturing and maintenance: A survey of open-access papers. *Applied System Innovation*, 7(1)
- 10 Bolton, W. (2015). Programmable logic controllers (6th ed.). Newnes.
- 11 PLCopen. (2026). IEC 61131-3: Programming languages. Retrieved April 26, 2026.
- 12 International Society of Automation. (2026). ISA-95 standard: Enterprise-control system integration. ISA.
- 13 Bradski, G. (2000). The OpenCV library. *Dr. Dobb's Journal*, 25(11), 120–125.
- 14 Python Software Foundation. (2026). Python 3 documentation. Retrieved April 26, 2026.
- 15 SQLite Consortium. (2026). SQLite documentation.

- 16 Basler AG. (2026). Vision system lighting: Finding the right illumination. Retrieved April 26, 2026.
- 17 Basler AG. (2026). Machine vision lenses.
- 18 Raspberry Pi Ltd. (2026). Camera documentation.
- 19 Davies, E. R. (2018). Computer vision: Principles, algorithms, applications, learning (5th ed.). Academic Press.
- 20 Hornberg, A. (Ed.). (2017). Handbook of machine and computer vision: The guide for developers and users (2nd ed.). Wiley-VCH.
- 21 Thomas, A. D. H., Rodd, M. G., Holt, J. D., & Neill, C. J. (1995). Real-time industrial visual inspection: A review. *Real-Time Imaging*, 1(2), 139–158.
- 22 Silva, R. L., Rudek, M., Szejka, A. L., & Canciglieri Junior, O. (2018). Machine vision systems for industrial quality control inspections. In *Product lifecycle management to support Industry 4.0 (IFIP Advances in Information and Communication Technology, Vol. 540)*, pp. 631–641.
- 23 Sioma, A. (2023). Vision system in product quality control systems. *Applied Sciences*, 13(2), 751.
- 24 Carvalho, P., Durupt, A., & Grandvalet, Y. (2023). A review of benchmarks for visual defect detection in the manufacturing industry. *arXiv*.
- 25 Akundi, A., & Reyna, M. (2021). A machine vision based automated quality control system for product dimensional analysis. *Procedia Computer Science*, 185, 127–134. doi: 10.1016/j.procs.2021.05.014.
- 26 Didych, I., Tymoshchuk, D., Karpinski, M., Mykytyshyn, A., & Stanko, A. (2025). AI-driven intelligent system for bottle cap design generation.
- 27 I. Didych, A. Stanko, A. Mykytyshyn, M. Mytnyk, «Application of machine learning methods to the prediction of NO₂ concentration in the air environment». In *4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP-2024)*, 2024.
- 28 A. Stanko, O. Duda, A. Mykytyshyn, O. Totosko, R. Koroliuk, «Artificial Intelligence of Things (AIoT): Integration Challenges, and Security Issues». In *CEUR Workshop Proceedings (BAIT-2024)*, 2024, pp. 92–105.

ДОДАТКИ

Структурна схема системи технічного зору



Функціональна схема взаємодії програмних і технічних модулів системи

Додаток В. Блок-схема алгоритму роботи системи контролю якості продукції

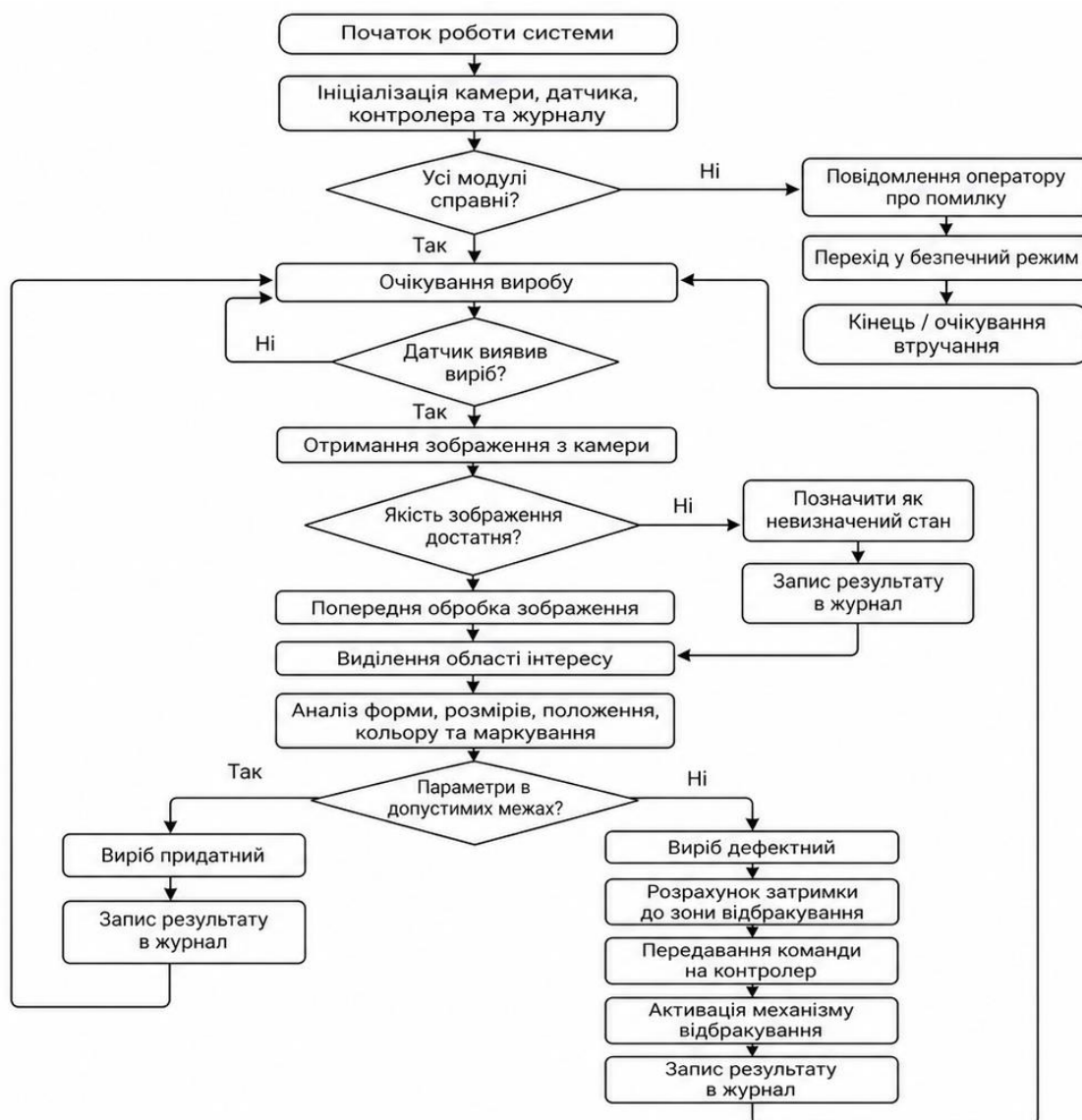
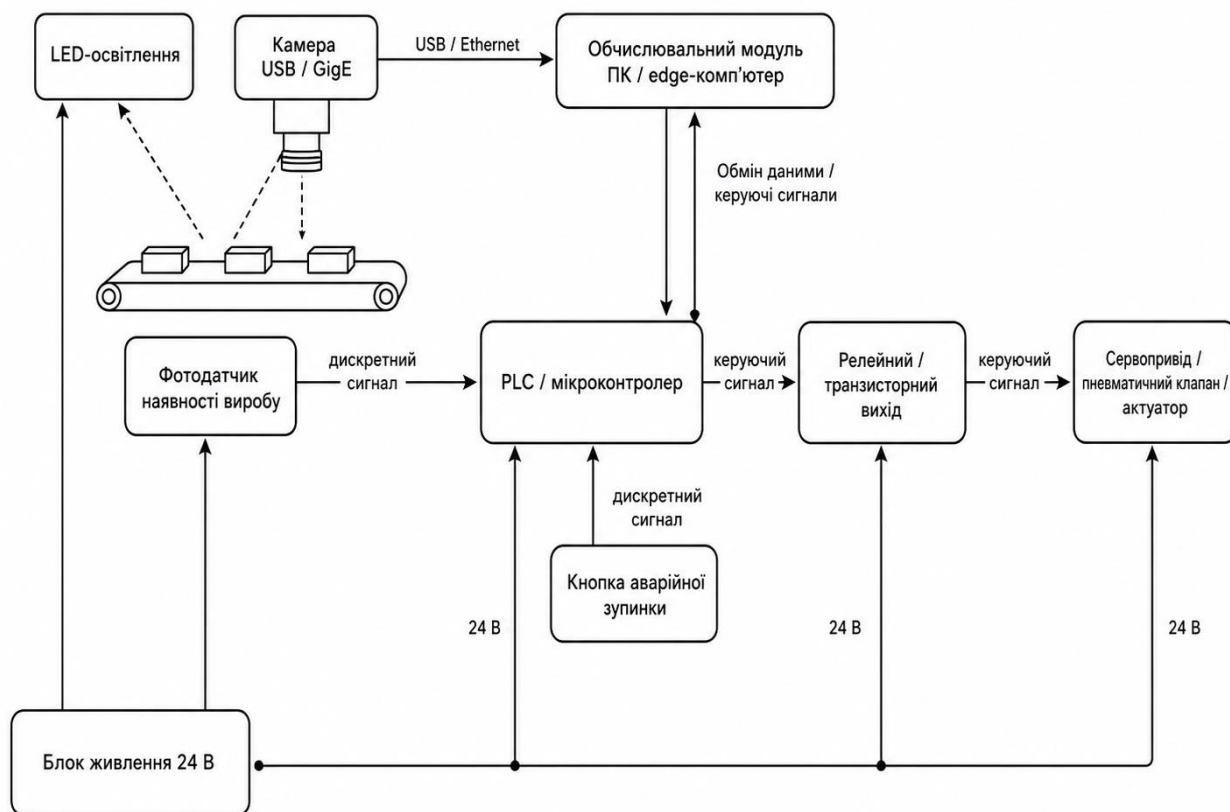


Схема підключення апаратних компонентів системи



Додаток Д. Фрагменти програмного коду програмного модуля обробки зображень

```
import cv2
import time

# Параметри контролю
MIN_AREA = 4500
MAX_AREA = 12000
MIN_RATIO = 0.7
MAX_RATIO = 1.4

# Ініціалізація камери
camera = cv2.VideoCapture(0)

if not camera.isOpened():
    raise RuntimeError("Камера недоступна")

def classify_product(frame):
    """
    Функція виконує базову обробку зображення
    та повертає результат класифікації виробу.
    """

    # Вибір області інтересу
    roi = frame[80:400, 120:520]

    # Перетворення у відтінки сірого
    gray = cv2.cvtColor(roi, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # Фільтрація шумів
    blur = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)

    # Бінаризація
    _, binary = cv2.threshold(
        blur,
        120,
        255,
        cv2.THRESH_BINARY_INV
    )

    # Пошук контурів
    contours, _ = cv2.findContours(
        binary,
        cv2.RETR_EXTERNAL,
        cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE
    )

    if not contours:
        return "UNDEFINED", {
            "reason": "Об'єкт не виявлено"
        }

    # Вибір найбільшого контуру
    contour = max(contours, key=cv2.contourArea)
    area = cv2.contourArea(contour)

    x, y, w, h = cv2.boundingRect(contour)
    ratio = w / h if h != 0 else 0

    # Перевірка критеріїв
```

```

if area < MIN_AREA or area > MAX_AREA:
    return "DEFECT", {
        "reason": "Площа виробу поза допустимими межами",
        "area": area,
        "ratio": ratio
    }

if ratio < MIN_RATIO or ratio > MAX_RATIO:
    return "DEFECT", {
        "reason": "Порушення геометричних пропорцій",
        "area": area,
        "ratio": ratio
    }

return "OK", {
    "reason": "Виріб відповідає критеріям",
    "area": area,
    "ratio": ratio
}

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

    if not ret:
        print("Помилка отримання кадру")
        continue

    start_time = time.time()
    result, details = classify_product(frame)
    processing_time = time.time() - start_time

    print("Результат:", result)
    print("Деталі:", details)
    print("Час обробки:", round(processing_time, 4), "с")

    if result == "DEFECT":
        print("Команда: активувати механізм відбракування")
        # Тут може бути передавання команди на контролер

    cv2.imshow("Frame", frame)

    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == 27:
        break

camera.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Фрагмент розрахунку затримки для механізму відбракування

```

def calculate_reject_delay(distance, conveyor_speed,
                           image_time,
                           processing_time,
                           control_time,
                           actuator_time):
    """

```

Розрахунок затримки перед активацією механізму відбракування.

```

distance — відстань між зоною контролю та зоною відбракування, м;
conveyor_speed — швидкість конвеєра, м/с;
image_time — час отримання зображення, с;
processing_time — час обробки зображення, с;
control_time — час передавання керуючого сигналу, с;
actuator_time — час спрацювання актуатора, с.
"""

```

```

travel_time = distance / conveyor_speed

```

```

delay = travel_time - (
    image_time + processing_time + control_time + actuator_time
)

if delay < 0:
    return 0, "Недостатньо часу для коректного відбракування"

return delay, "Затримку розраховано коректно"

```

Приклад розрахунку

```

delay, status = calculate_reject_delay(
    distance=0.6,
    conveyor_speed=0.25,
    image_time=0.03,
    processing_time=0.08,
    control_time=0.02,
    actuator_time=0.12
)

print("Затримка:", round(delay, 3), "с")
print("Статус:", status)

```

Приклад спрощеного коду для мікроконтролера

```

const int rejectPin = 8;
const int statusLed = 13;

void setup() {
    pinMode(rejectPin, OUTPUT);
    pinMode(statusLed, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);

    digitalWrite(rejectPin, LOW);
    digitalWrite(statusLed, LOW);
}

void loop() {
    if (Serial.available() > 0) {
        String command = Serial.readStringUntil('\n');
        command.trim();

        if (command == "REJECT") {
            digitalWrite(statusLed, HIGH);

            // Активація механізму відбракування
            digitalWrite(rejectPin, HIGH);
            delay(300);
            digitalWrite(rejectPin, LOW);

            digitalWrite(statusLed, LOW);

            Serial.println("REJECT_DONE");
        }
        if (command == "TEST") {
            digitalWrite(rejectPin, HIGH);
            delay(200);
            digitalWrite(rejectPin, LOW);
            Serial.println("TEST_DONE");
        }
    }
}

```

Додаток Е. Таблиці параметрів обладнання системи технічного зору

Таблиця Е.1 – Орієнтовні параметри камери технічного зору

Параметр	Орієнтовне значення	Обґрунтування
Тип камери	USB3 / GigE / якісна USB-камера	Забезпечення передавання зображення до обчислювального модуля
Роздільна здатність	1–5 Мп	Достатньо для контролю форми, положення та маркування
Частота кадрів	30–60 fps	Дає змогу працювати з рухомими виробами
Тип зображення	Кольорове або монохромне	Залежить від типу контрольованих дефектів
Режим встановлення	Фіксоване положення над конвеєром	Забезпечує стабільність контрольної зони
Інтерфейс	USB / Ethernet	Сумісність із ПК або edge-комп'ютером

Таблиця Е.2 – Орієнтовні параметри освітлення

Параметр	Орієнтовне значення	Обґрунтування
Тип освітлення	LED-лінійне або кільцеве	Стабільне освітлення контрольної зони
Напруга живлення	12 В або 24 В	Типові значення для промислових і навчальних систем
Розташування	Над або під кутом до виробу	Залежить від типу дефектів
Режим роботи	Постійний або імпульсний	Постійний режим простіший для навчальної системи
Захист від зовнішнього світла	Екранування зони контролю	Підвищення стабільності зображення

Таблиця Е.3 – Орієнтовні параметри датчика наявності продукції

Параметр	Орієнтовне значення	Обґрунтування
Тип датчика	Фотодатчик / оптичний бар'єр	Універсальний для різних типів продукції
Вихідний сигнал	Дискретний	Зручний для підключення до контролера
Напруга живлення	12/24 В	Типове промислове живлення
Час спрацювання	До кількох мілісекунд	Достатньо для синхронізації з конвеєром
Місце встановлення	Перед зоною зйомки	Дає час підготувати отримання кадру

Таблиця Е.4 – Орієнтовні параметри виконавчого механізму

Параметр	Орієнтовне значення	Обґрунтування
Тип механізму	Сервопривід / пневматичний штовхач / електромагнітний актуатор	Вибір залежить від маси виробу
Час спрацювання	0,1–0,5 с	Має бути врахований при синхронізації
Спосіб керування	Дискретний сигнал / PWM / клапан	Залежить від типу механізму
Початкове положення	Фіксоване, контрольоване	Потрібне для стабільної роботи
Підтвердження спрацювання	Кінцевий вимикач або датчик положення	Бажано для промислової реалізації

Таблиця Е.5 – Орієнтовні параметри обчислювального модуля

Параметр	Орієнтовне значення	Обґрунтування
Тип пристрою	ПК / мінікомп'ютер / edge-комп'ютер	Виконання обробки зображень
Програмне середовище	Python, OpenCV	Реалізація алгоритмів комп'ютерного зору
Оперативна пам'ять	Від 4 ГБ	Достатньо для базової обробки зображень
Накопичувач	SSD або microSD	Збереження журналу та зображень
Інтерфейси	USB, Ethernet, UART	Підключення камери, контролера та мережі

Додаток Ж. Приклади тестових сценаріїв і результатів перевірки системи

Таблиця Ж.1 – Тестові сценарії перевірки системи

№	Тестовий сценарій	Вхідний стан	Очікуваний результат
1	Придатний виріб	Форма, розмір, колір і положення відповідають нормі	Виріб пропускається основним потоком
2	Геометричний дефект	Порушено форму або контур виробу	Формується команда на відбракування
3	Невідповідність розміру	Площа або габарити поза допустимими межами	Виріб класифікується як дефектний
4	Неправильне положення	Виріб зміщений або повернутий	Відбракування або повторна перевірка
5	Зміна кольору	Виявлено пляму або невідповідний відтінок	Виріб класифікується як дефектний
6	Відсутнє маркування	У зоні маркування немає контрольного елемента	Формується команда на відбракування
7	Низька якість зображення	Кадр темний, засвічений або розмитий	Система формує невизначений стан
8	Помилкове спрацювання датчика	Датчик спрацював, але виробу в кадрі немає	Подія записується в журнал, актуатор не активується
9	Втрата зв'язку з контролером	Команда не може бути передана	Система переходить у безпечний режим
10	Перевірка актуатора	Оператор запускає тест механізму	Актуатор спрацьовує і повертається у початкове положення

Таблиця Ж.2 – Умовні результати тестування

№ сценарію	Кількість перевірок	Правильних рішень	Помилкових рішень	Результат
1	20	20	0	Коректно
2	20	19	1	Прийнятно
3	20	20	0	Коректно
4	20	18	2	Потребує уточнення порогів
5	20	19	1	Прийнятно
6	20	20	0	Коректно
7	10	10	0	Коректно визначено невизначений стан
8	10	10	0	Коректно
9	5	5	0	Безпечний режим активовано
10	5	5	0	Механізм працює коректно

Таблиця Ж.3 – Узагальнені показники ефективності системи

Показник	Орієнтовне значення	Коментар
Загальна кількість тестових перевірок	150	Включає нормальні та дефектні вироби
Кількість правильних рішень	146	Система переважно класифікує вироби правильно
Кількість помилкових рішень	4	Помилки пов'язані переважно з положенням і кольором
Орієнтовна точність класифікації	97,3 %	Прийнятний результат для навчального прототипу
Середній час обробки кадру	0,08–0,12 с	Достатньо для помірної швидкості конвеєра
Стабільність при нормальному освітленні	Висока	Алгоритм працює стабільно
Стійкість до зміни освітлення	Середня	Потребує стабільного LED-освітлення
Коректність відбракування	Залежить від синхронізації	Потрібне налаштування затримки актуатора