

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система контролю якості виготовлення
пластикових кришок*

Виконав: студент IV курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Гусак В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Тиш Є.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Луцик Н.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Стоянов Ю.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«25» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гусаку Вадиму Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система контролю якості виготовлення пластикових кришок

Керівник роботи Тиш Євгенія Володимирівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» квітня 2026 року № 4.9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Особливості виготовлення пластикових кришок, характеристики Raspberry PI 4, тип інфрачервоного датчика, бібліотека OpenCV, зумер, датчик освітлення

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз процесу та вимог до якості виготовлення пластикових кришок. 2. Проектування системи контролю якості виготовлення пластикових кришок. 3. Алгоритми та їх програмна реалізація при контролі якості виготовлення пластикових кришок 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Процес виготовлення пластикових кришок

2. Архітектура комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок

3. Схема підключення компонентів системи контролю якості виготовлення пластикових кришок

4. Алгоритм роботи системи контролю якості виготовлення пластикових кришок

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Сенчишин В.С., к.т.н., доц., каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз процесу та вимог до якості виготовлення пластикових кришок»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектування системи контролю якості виготовлення пластикових кришок»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Алгоритми та їх програмна реалізація при контролі якості виготовлення пластикових кришок»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>26.06.2026</i>	

Студент

_____ (підпис)

Гусак Вадим Олександрович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Тиш Євгенія Володимирівна

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гусак В.О. Комп'ютерна система контролю якості виготовлення пластикових кришок: робота на здобуття ступеня бакалавра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: комп'ютерна система, контроль якості, пластикові кришки, комп'ютерний зір, Raspberry Pi 4.

У кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютерну систему контролю якості виготовлення пластикових кришок. Система призначена для автоматизованого виявлення дефектів пластикових кришок на конвеєрній лінії за допомогою камери, вбудованого контролера, додаткових датчиків та алгоритмів комп'ютерного зору.

У роботі проаналізовано особливості процесу виготовлення пластикових кришок, типові дефекти продукції та методи контролю якості на конвеєрних лініях. Обґрунтовано доцільність використання автоматизованого контролю якості, який дозволяє зменшити вплив людського фактора та підвищити стабільність перевірки виробів.

Для реалізації системи обрано вбудований контролер Raspberry Pi 4 Model B, камеру Raspberry Pi Camera Module 3, інфрачервоний датчик перешкоди FC-51, датчик освітленості BH1750 та активний зумер. Розроблено структурну схему системи, схему підключення апаратних компонентів та загальний алгоритм роботи програмного забезпечення. Результати контролю зберігаються у базі даних SQLite.

ANNOTATION

Husak V.O. Computer system for quality control in the manufacturing of plastic caps: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: computer system, quality control, plastic caps, computer vision, Raspberry Pi 4.

The thesis develops a computer system for quality control in the production of plastic caps. The system is intended for automated detection of defects in plastic caps on a conveyor line using a camera, an embedded controller, additional sensors, and computer vision algorithms.

The thesis analyzes the features of the plastic cap manufacturing process, typical product defects, and quality control methods used on conveyor lines. The feasibility of using automated quality control is substantiated, as it reduces the influence of the human factor and improves the stability of product inspection.

To implement the system, the Raspberry Pi 4 Model B embedded controller, Raspberry Pi Camera Module 3, FC-51 infrared obstacle sensor, BH1750 light sensor, and active buzzer were selected. The structural diagram of the system, the connection diagram of the hardware components, and the general algorithm of the software operation were developed. The control results are stored in an SQLite database.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТА ВИМОГ ДО ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ КРИШОК.....	9
1.1 Аналіз особливостей процесу виготовлення пластикових кришок	9
1.2 Аналіз методів контролю якості продукції на конвеєрних лініях.....	14
1.3 Аналіз вимог технічного завдання щодо побудови системи	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ КРИШОК.....	19
2.1 Підсистеми та структурна схема системи контролю якості виготовлення пластикових кришок.....	19
2.2 Вбудований контролер системи контролю якості пластикових кришок....	24
2.3 Камера для отримання зображень пластикових кришок.....	27
2.4 Інфрачервоний датчик перешкоди.....	31
2.5 Датчик освітленості ВН1750	34
2.6 Підсистема звукового сповіщення оператора	36
2.7 Схема підключення апаратних компонентів	38
РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМИ ТА ЇХ ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИ КОНТРОЛІ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ КРИШОК	41
3.1 Проектування програмного забезпечення системи контролю якості виготовлення пластикових кришок	41

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерна система контролю якості виготовлення пластикових кришок	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Гусак В.О.						
Перевір.		Тиш Є.В.					6	
Реценз.		Стоянов Ю.М.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. Контр.		Луцик Н.С.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

3.2	Реалізація взаємодії між апаратними компонентами системи на програмному рівні	46
3.3	Отримання, попередня обробка та аналіз форми пластикової кришки	53
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		61
4.1	Менеджмент безпеки.....	61
4.2	Характеристика небезпечних зон обладнання та розробка заходів безпеки..	64
ВИСНОВКИ		67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		69
Додаток А Технічне завдання		

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Сьогодні на багатьох підприємствах широко використовуються автоматизовані виробничі лінії. Вони дають змогу швидко виготовляти велику кількість продукції, зменшувати ручну працю та підвищувати продуктивність виробництва. Проте разом із цим виникає потреба у якісному контролі готових виробів. Це пов'язано з тим, що навіть незначні дефекти можуть впливати на подальше використання продукції.

Одним із прикладів продукції масового виробництва є пластикові кришки. Вони використовуються для пляшок, контейнерів, упаковок та інших виробів. Пластикова кришка повинна мати правильну форму, не містити тріщин, пошкоджень, деформацій, а також повинна мати якісно сформовану різьбу. Якщо кришка має дефект, вона може погано закривати тару, пропускати рідину або взагалі бути непридатною для використання.

Під час виготовлення пластикових кришок на конвеєрі можуть виникати різні види браку, наприклад, тріщини, зміна форми, нерівні краї, пошкодження різьби або її відсутність. Причинами таких дефектів можуть бути збої у роботі обладнання, неправильні параметри технологічного процесу, проблеми з матеріалом або зношення окремих елементів виробничої лінії.

Контроль якості продукції може виконуватися вручну оператором. Однак цей спосіб не завжди є зручним і надійним. При великій швидкості конвеєра людині складно перевірити кожну кришку. Крім того, оператор може втомлюватися і пропускати дрібні дефекти. Тому актуальною задачею є розробка комп'ютеризованих систем, які можуть автоматично аналізувати продукцію та повідомляти про виявлений брак.

Актуальність теми обґрунтовується ще й тим, що автоматизований контроль якості дозволяє швидше виявляти дефектну продукцію, зменшити вплив людського фактора та підвищити надійність виробничого процесу. Такий підхід є корисним для підприємств, де виготовляється велика кількість однотипних виробів.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТА ВИМОГ ДО ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ КРИШОК

1.1 Аналіз особливостей процесу виготовлення пластикових кришок

Пластикові кришки є поширеними виробами, які використовуються для пакування різної продукції. Вони застосовуються для пляшок з водою, напоями, молочними продуктами, косметичними засобами, побутовою хімією та іншими товарами. Основне призначення кришки полягає в тому, щоб надійно закривати тару, захищати її вміст від витікання, забруднення або контакту із зовнішнім середовищем.

На перший погляд пластикова кришка є простим виробом. Проте під час її виготовлення необхідно дотримуватися певних вимог. Кришка повинна мати правильну форму, рівні краї, цілісну поверхню, однакову товщину стінок і якісно сформовану різьбу. Якщо хоча б один із цих параметрів порушений, виріб може бути непридатним для використання. Наприклад, пошкоджена різьба або деформована форма можуть призвести до того, що кришка не буде щільно закручуватися на пляшку чи контейнер.

Виготовлення пластикових кришок, зазвичай, здійснюється на автоматизованих виробничих лініях та конвеєрах. Як сировина найчастіше використовуються полімерні матеріали, зокрема, поліетилен або поліпропілен. Вибір матеріалу залежить від призначення виробу, умов його експлуатації, вимог до міцності, гнучкості та стійкості до зовнішніх впливів [1].

Загальний процес виготовлення пластикової кришки складається з кількох основних етапів. Спочатку полімерна сировина подається у виробниче обладнання. Далі матеріал нагрівається до потрібної температури і переходить у пластичний стан. Після цього він подається у спеціальну форму, де відбувається

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Гусак В.О.			<i>Аналіз процесу та вимог до якості виготовлення пластикових кришок</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Тиш Є.В.					9	
<i>Реценз.</i>		Стоянов Ю.М.				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

формування майбутньої кришки. Після охолодження виріб виймається з форми та переміщується на конвеєр для подальшої обробки, контролю або пакування.

Одним із поширених способів виготовлення пластикових кришок є лиття під тиском. У цьому випадку розігрітий полімер під тиском подається у прес-форму. У середині форми матеріал набуває потрібної геометрії. Після охолодження готова кришка виймається з форми та передається далі по виробничій лінії. Такий спосіб дозволяє виготовляти велику кількість однотипних виробів за короткий час. Типовий процес виготовлення пластикових кришок представлено на рис. 1.1.

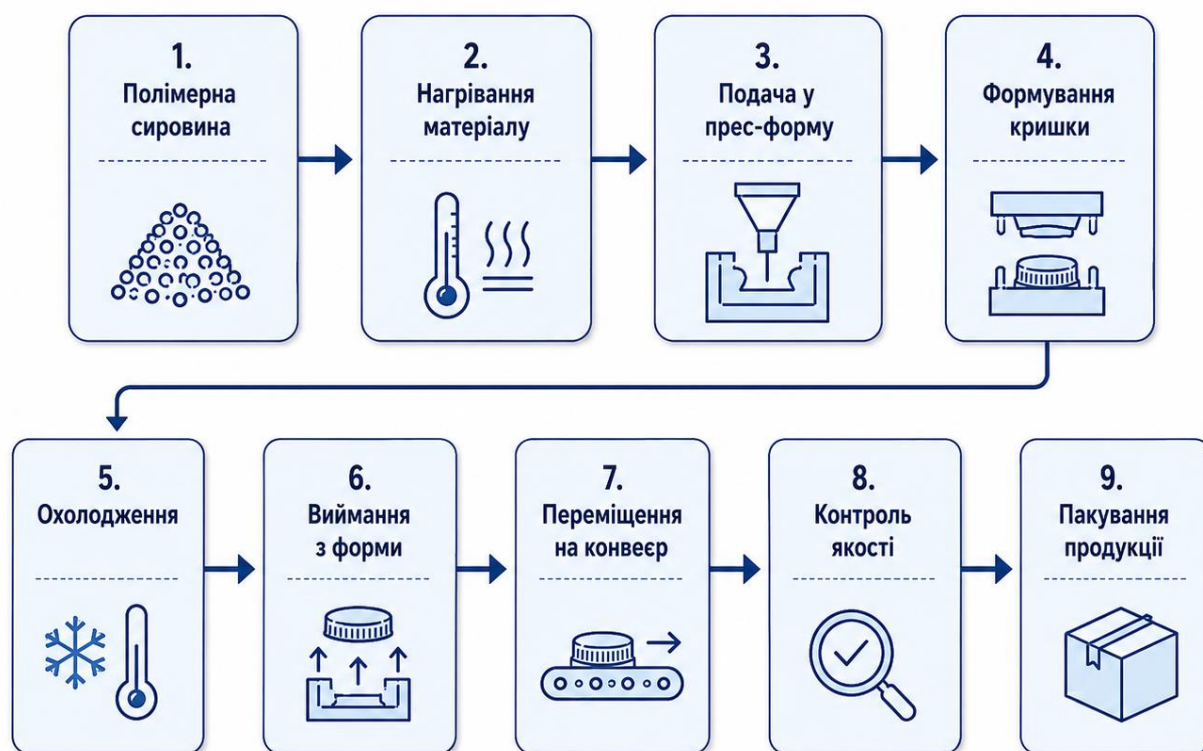


Рисунок 1.1 – Типовий процес виготовлення пластикових кришок

Після формування кришки можуть проходити додаткові етапи обробки. До них належать охолодження, видалення зайвих елементів, контроль розмірів, нанесення маркування та переміщення готових виробів до зони пакування. У сучасному виробництві більшість цих операцій виконується автоматично, що дозволяє зменшити участь людини та підвищити швидкість роботи лінії.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На конвеєрній лінії за короткий час може виготовлятися велика кількість виробів. Через це контроль якості повинен виконуватися швидко, без зупинки конвеєра і бажано для кожної окремої кришки. Якщо перевірка виконується повільно або вручну, частина дефектної продукції може залишитися непоміченою.

На якість готової пластикової кришки впливають як властивості матеріалу, так і режими роботи обладнання. Основні фактори впливу на кінцеву якість такого виду продукції наведено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Фактори впливу на якість пластикової кришки

Під час виробництва можуть виникати різні дефекти. Найбільш характерними є тріщини, деформація форми, неповне формування кришки, подряпини чи інші пошкодження поверхні. Частина таких дефектів може бути добре помітною, але деякі пошкодження мають невеликий розмір і можуть бути пропущені під час ручної перевірки [2].

Основні види дефектів пластикових кришок подано на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Типові дефекти пластикових кришок

Особливо важливим є контроль геометрії кришки. Вона повинна мати правильну круглу форму, рівномірний край та відповідати заданим розмірам. Окрім цього, важливим є стан внутрішньої частини кришки, зокрема різьби. Пошкоджена або неправильно сформована різьба може зробити виріб непридатним до використання [3].

Традиційно контроль якості таких виробів може виконуватися оператором. Проте при великій швидкості конвеєра людині складно перевірити кожну кришку, а її якість залежить від уважності оператора, його досвіду та втоми. Через це дрібні дефекти можуть залишатися непоміченими, особливо якщо вони мають невеликий розмір або знаходяться на внутрішній частині виробу.

Для підвищення надійності контролю необхідно впроваджувати комп'ютеризовані системи, які забезпечували б автоматично перевірку кришки під час їх руху на конвеєрі. Основним засобом отримання інформації про стан виробу в такій системі може виступати відеокамера. Вона фіксує зображення

пластикової кришки, після чого на програмному рівні виконується аналіз її форми, контурів, поверхні та різьбової частини.

Однак для стабільної роботи системи однієї камери недостатньо. Потрібно точно визначати момент, коли кришка перебуває у зоні контролю. Для цього може застосовуватися інфрачервоний датчик перешкоди, який здатен фіксувати появу кришки перед камерою. Після отримання відповідного сигналу, вбудований контролер запускає процес отримання зображення та його подальшої обробки [4].

Важливим також є контроль умов освітлення. Якість зображення значною мірою залежить від того, наскільки стабільним є освітлення в зоні зйомки. Якщо освітлення недостатнє або різко змінюється, система може неправильно визначати контури кришки чи не виявляти дрібні дефекти. Тому обґрунтованим є використання датчика освітленості, який забезпечить контроль умов при отриманні зображення.

У разі виявлення дефекту система повинна певним чином сповістити оператора. Для цього може використовуватися зумер, який подає звуковий сигнал при виявленні бракованої кришки. Крім того, інформацію про дефект варто зберігати у базі даних із даними про дату і час фіксації дефекту, результат контролю, тип виявленого дефекту та інші службові дані. Це дозволить не лише реагувати на окремі випадки браку, а й у подальшому аналізувати роботу виробничої лінії.

Процес виготовлення пластикових кришок є швидким і масовим, тому контроль якості повинен бути оперативним та автоматизованим. У зв'язку з цим актуальним завданням є створення комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок. Така система дозволить виявляти дефекти кришок за зображенням, синхронізувати перевірку з рухом конвеєра, контролювати умови зйомки, сповіщати оператора та зберігати результати контролю для подальшого аналізу.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Аналіз методів контролю якості продукції на конвеєрних лініях

У сучасному виробництві все частіше застосовуються автоматизовані системи контролю якості. Вони можуть працювати без постійної участі людини та виконувати перевірку продукції безпосередньо на конвеєрі. Такі системи використовують різні сенсори, камери, контролери та програмні алгоритми. Їх перевага полягає в тому, що вони можуть швидко реагувати на появу дефекту, подавати сигнал оператору та зберігати інформацію про результати перевірки.

Одним із найбільш зручних способів автоматизованого контролю є використання алгоритмів комп'ютерного зору. У цьому випадку камера отримує зображення виробу, а програмне забезпечення аналізує його. За допомогою такого підходу можна перевіряти форму кришки, стан її країв, наявність тріщин, пошкодження поверхні та дефекти різьби. Головна перевага комп'ютерного зору полягає в тому, що перевірка виконується без контакту з виробом і може проводитися під час руху продукції на конвеєрі [5].

Для роботи системи комп'ютерного зору важливо правильно організувати процес отримання зображень. Кришка повинна потрапляти в зону контролю у відповідний момент, а умови освітлення мають бути достатньо стабільними. Саме тому разом із камерою доцільно використовувати додаткові датчики. Наприклад, інфрачервоний датчик перешкоди може визначати момент появи кришки перед камерою, а датчик освітленості – контролювати умови зйомки. Це дозволяє зробити роботу системи більш стабільною [3].

Основні методи контролю якості продукції на конвеєрних лініях представлено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Методи контролю якості продукції на конвеєрних лініях

Метод контролю	Суть методу	Переваги	Недоліки
Ручний візуальний контроль	Оператор оглядає продукцію та виявляє дефекти	Простота, не потребує складного обладнання	Залежить від людського фактора, складно перевіряти кожен виріб

Метод контролю	Суть методу	Переваги	Недоліки
Вибірковий контроль	Перевіряється частина виробів із партії	Економія часу, простота організації	Не гарантує виявлення всіх дефектів
Механічний контроль	Використання шаблонів, калібрів або вимірювальних пристроїв	Можливість точного контролю розмірів	Обмежене виявлення поверхневих дефектів
Сенсорний контроль	Використання датчиків для фіксації параметрів виробу або процесу	Швидка реакція, можливість автоматизації	Не всі дефекти можна визначити лише датчиками
Контроль на основі комп'ютерного зору	Аналіз зображення виробу за допомогою камери та програмних алгоритмів	Безконтактність, можливість перевірки форми й поверхні	Потребує якісного освітлення та налаштування алгоритмів

Для кращого розуміння методи контролю якості можна згрупувати за рівнем автоматизації. Найпростішим є ручний контроль, де головну роль виконує оператор. Далі йде напівавтоматизований контроль, у якому можуть використовуватися окремі пристрої або датчики. Найбільш ефективним для швидких конвеєрних ліній є автоматизований контроль, коли система самостійно отримує дані, аналізує їх і повідомляє про дефект.

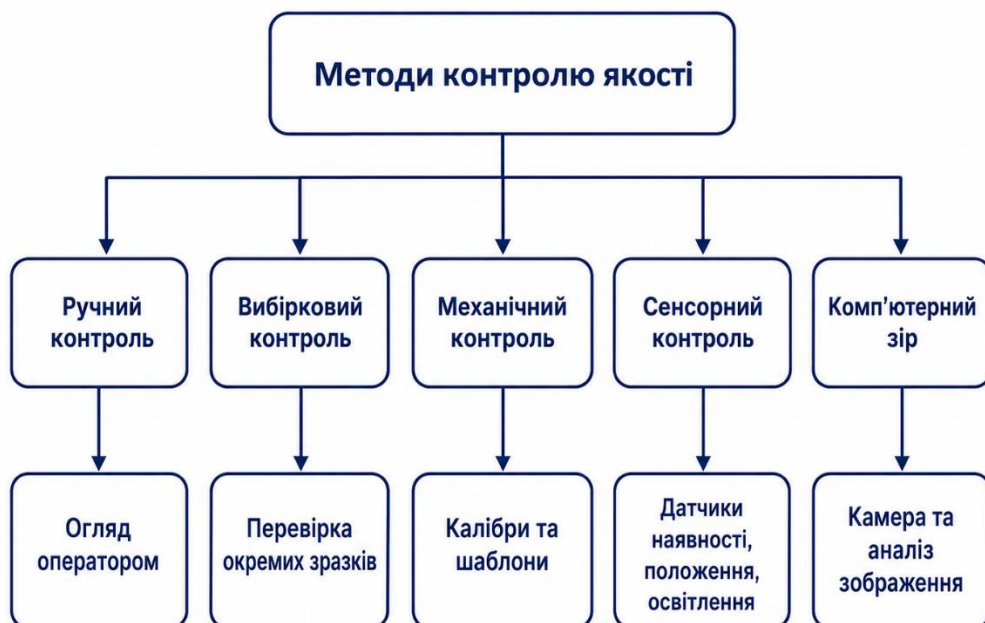


Рисунок 1.5 – Основні методи контролю якості продукції

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для контролю пластикових кришок найбільш доцільним є поєднання кількох підходів. Камера може використовуватися для аналізу зовнішнього вигляду, форми, поверхні та різьби. Інфрачервоний датчик може визначати наявність кришки у зоні контролю. Датчик освітленості може допомагати контролювати умови отримання зображення. Такий підхід дозволяє створити систему, яка не лише аналізує зображення, а й враховує особливості роботи конвеєрної лінії [2].

У даній роботі основна увага приділяється автоматизованому контролю якості з використанням камери, вбудованого контролера та додаткових датчиків. Це дозволяє підвищити надійність перевірки, зменшити вплив людського фактора та швидше реагувати на появу бракованої продукції.

1.3 Аналіз вимог технічного завдання щодо побудови системи

Під час розробки комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок важливо врахувати вимоги розробленого технічного завдання (додаток А). Вони визначають, які функції повинна виконувати система, з яких основних компонентів вона має складатися та за яких умов повинна працювати.

Основне призначення розроблюваної системи полягає в автоматизованому контролі якості пластикових кришок на конвеєрній лінії. Система повинна виявляти дефекти виробів за допомогою аналізу зображень, отриманих з камери. До таких дефектів належать дефекти, які раніше були показані на рис.1.3. Тому однією з основних вимог є наявність модуля комп'ютерного зору, який буде виконувати обробку зображення та визначати ознаки браку [5].

Важливою вимогою є робота системи в умовах конвеєрного виробництва. Для цього система повинна своєчасно визначати момент появи кришки в зоні контролю. З цією метою до складу системи доцільно включити інфрачервоний датчик перешкоди. Він фіксує наявність кришки перед камерою і передає сигнал

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на контролер. Після цього камера отримує зображення, а програмний модуль починає його обробку.

Ще однією вимогою є стабільність умов отримання зображення. Якість роботи алгоритмів комп'ютерного зору значною мірою залежить від освітлення. Якщо зображення буде занадто темним, засвіченим або нерівномірним, система може неправильно визначити контури виробу або пропустити дрібні дефекти.

До апаратних вимог належить вибір вбудованого контролера, який буде координувати роботу всіх компонентів. Для даної системи пропонується використати Raspberry Pi 4 або Raspberry Pi 5. Такий мікрокомп'ютер має достатню продуктивність для підключення камери, роботи з датчиками, виконання обробки зображень і збереження даних. Крім того, Raspberry Pi має підтримку операційної системи Linux, мови Python та бібліотеки OpenCV, що спрощує розробку програмного забезпечення [6].

Система також повинна мати засіб сповіщення оператора про виявлення браку. Для цього можна використати зумер. Якщо програмний модуль визначає, що кришка має дефект, контролер подає сигнал на зумер, і оператор отримує звукове повідомлення. Такий спосіб є простим, дешевим і зручним для прототипу системи. За потреби в подальшому його можна доповнити світловою індикацією або повідомленням на екрані оператора.

Окремою вимогою є збереження результатів контролю. Система повинна не лише виявляти дефект у поточний момент, а й фіксувати інформацію про нього. Для цього доцільно використати локальну базу даних SQLite. Це дозволяє накопичувати інформацію про роботу системи та аналізувати кількість виявлених дефектів за певний період [6].

Вимоги до програмного забезпечення системи пов'язані з обробкою зображень, аналізом стану виробу, роботою з датчиками та збереженням результатів. Програмний модуль повинен отримувати сигнал від інфрачервоного датчика, запускати камеру, виконувати попередню обробку зображення, виділяти область кришки, аналізувати її форму та поверхню, приймати рішення про якість виробу і записувати результат у базу даних. Для реалізації цих

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функцій доцільно використати мову програмування Python, оскільки вона добре підходить для роботи з Raspberry Pi та має зручні бібліотеки для обробки зображень.

Для реалізації програмного забезпечення системи запропоновано використати операційну систему Raspberry Pi OS, мову програмування Python, бібліотеку OpenCV для роботи із зображеннями, бібліотеки для роботи з GPIO-контактами та SQLite для збереження даних.

Таким чином, аналіз вимог технічного завдання показує, що розроблювана система повинна поєднувати апаратні та програмні засоби. Апаратна частина забезпечує отримання даних із камери та датчиків, а програмна частина виконує обробку зображень, прийняття рішення і збереження результатів.

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ КРИШОК

2.1 Підсистеми та структурна схема системи контролю якості виготовлення пластикових кришок

Комп'ютерна система контролю якості виготовлення пластикових кришок розглядається як апаратно-програмний комплекс, у якому окремі компоненти виконують різні функції, але працюють як єдина система. Її структура повинна забезпечувати, як зазначалось у першому розділі, отримання даних із зони контролю, їх обробку, прийняття рішення про якість виробу, сповіщення оператора та збереження результатів перевірки.

У запропонованій системі центральним елементом є вбудований контролер Raspberry Pi 4 або Raspberry Pi 5. Саме він координує роботу камери, датчиків, звукового сповіщення та програмного забезпечення. Такий підхід дозволяє об'єднати всі компоненти в одну локальну систему, яка може працювати без використання окремого персонального комп'ютера для кожної операції контролю [7].

Структурно систему можна поділити на кілька основних підсистем:

- підсистему виявлення наявності кришки у зоні контролю;
- підсистему отримання зображення;
- підсистему контролю умов освітлення;
- підсистему обробки та аналізу зображення;
- підсистему прийняття рішення;
- підсистему сповіщення оператора;
- підсистему збереження результатів контролю.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Гусак В.О.			<i>Проектування системи контролю якості виготовлення пластикових кришок</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Тиш Є.В.					19	
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

Такий поділ є зручним, оскільки дозволяє окремо розглядати призначення кожного модуля та його взаємодію з іншими частинами системи. Загальна структура комп'ютерної системи контролю якості пластикових кришок подана на рис. 2.1.

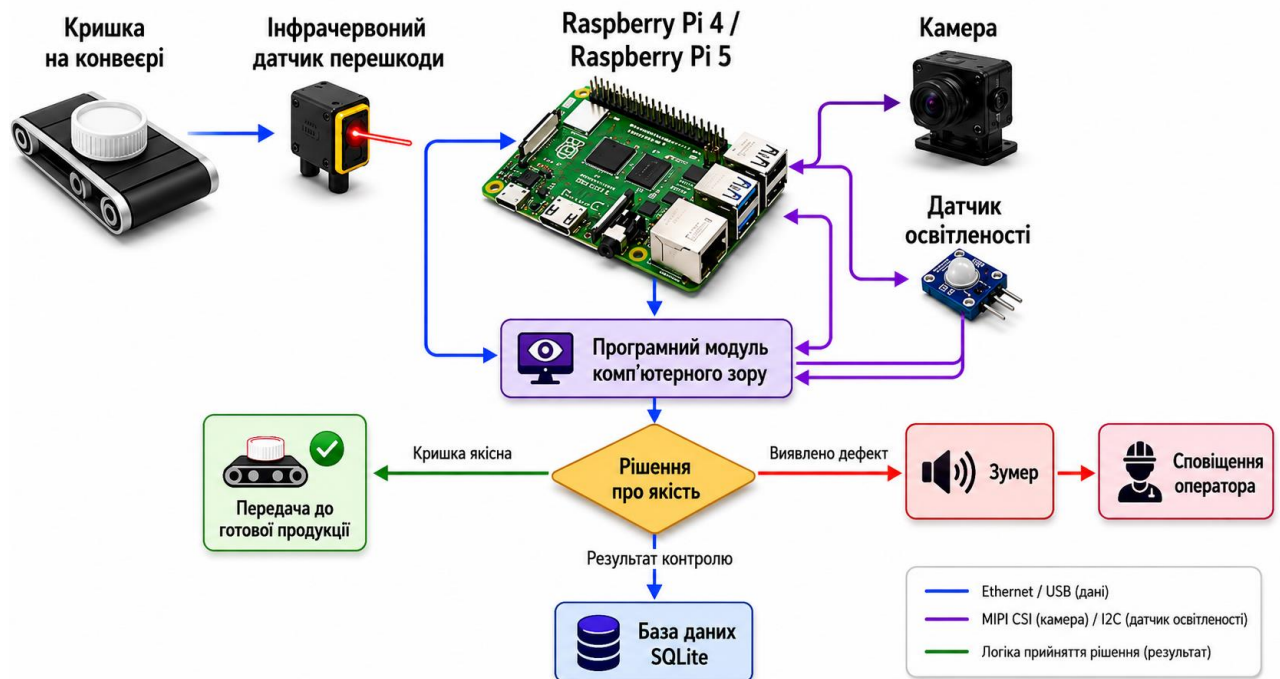


Рисунок 2.1 – Структура та логіка функціонування комп'ютерної системи виявлення та контролю якості пластикових кришок

Підсистема виявлення наявності кришки призначена для визначення моменту, коли виріб потрапляє у зону контролю. Для цього використовується інфрачервоний датчик перешкоди. Його сигнал є вхідною подією для всієї системи. Поки кришки перед камерою немає, програмне забезпечення не виконує повний цикл аналізу. Це зменшує зайве навантаження на контролер і дозволяє запускати перевірку лише тоді, коли вона дійсно потрібна [7-9].

Підсистема отримання зображення складається з камери, підключеної до Raspberry Pi. Камера повинна бути розміщена так, щоб у кадрі чітко відображалася зона, в якій знаходиться кришка. Після надходження сигналу від інфрачервоного датчика Raspberry Pi ініціює отримання кадру. Отримане

зображення передається до програмного модуля комп'ютерного зору для подальшої обробки.

Підсистема контролю освітлення використовується для оцінки умов зйомки. Датчик освітленості передає на Raspberry Pi числове значення рівня освітлення. Ця інформація може використовуватися для перевірки, чи відповідають умови зйомки допустимому діапазону. Якщо освітлення є занадто слабким або надмірним, система може зафіксувати це у журналі або повідомити оператора про необхідність корекції умов роботи [8].

Підсистема обробки зображення реалізується програмно. Вона отримує кадр із камери та виконує послідовність операцій, необхідних для аналізу кришки. До таких операцій можуть належати підготовка зображення, виділення області виробу, визначення контурів, аналіз геометричних параметрів і пошук ознак дефектів. Результатом роботи цієї підсистеми є набір ознак, на основі яких далі приймається рішення.

Підсистема прийняття рішення визначає, до якої категорії належить перевірена кришка. У найпростішому варіанті можливі два результати: «якісна кришка» або «дефектна кришка». Якщо система додатково визначає тип дефекту, результат може містити уточнення, наприклад: порушення форми, тріщина, нерівний край або дефект різьби. Такий результат використовується для подальшого сповіщення оператора і запису в базу даних.

Підсистема сповіщення оператора реалізується за допомогою зумера. Якщо програмний модуль виявляє дефект, Raspberry Pi подає сигнал на відповідний GPIO-контакт, до якого підключений зумер. У результаті формується звукове повідомлення. Такий спосіб сповіщення є простим, але достатнім для прототипу системи, оскільки оператор може швидко звернути увагу на появу браку [9].

Підсистема збереження результатів контролю відповідає за запис даних у базу SQLite. До бази можуть передаватися результат перевірки, дата і час аналізу, тип виявленого дефекту, значення освітленості та шлях до збереженого зображення. Це дозволяє не лише реагувати на окремий дефект, а й накопичувати дані про роботу системи за певний період.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою особливістю структури є те, що Raspberry Pi виконує одразу кілька ролей. Він працює як контролер периферійних пристроїв, обчислювальний модуль для аналізу зображень і локальний вузол для збереження результатів. Завдяки цьому кількість окремих пристроїв у системі зменшується, а сама структура стає простішою для реалізації та обслуговування.

Інформаційні потоки в системі можна поділити на три групи. До першої групи належать сигнали від датчиків, зокрема сигнал від інфрачервоного датчика та дані про рівень освітленості. До другої групи належать зображення, які надходять із камери до програмного модуля обробки. До третьої групи належать результати аналізу, які передаються до зумера та бази даних. Такий поділ дозволяє краще зрозуміти, як саме відбувається обмін даними між компонентами системи [10, 11].

Для роботи системи можна виділити два типи сигналів: керуючі та інформаційні. Керуючі сигнали використовуються для запуску певних дій, наприклад, отримання зображення або ввімкнення зумера. Інформаційні сигнали містять дані, які аналізуються програмним забезпеченням. До них належать зображення кришки, значення освітленості та результат перевірки.

Послідовність роботи системи на структурному рівні можна описати так. Спочатку інфрачервоний датчик фіксує появу кришки у зоні контролю. Після цього Raspberry Pi запускає отримання зображення з камери та зчитує значення освітленості. Далі програмний модуль виконує аналіз зображення і формує результат. Якщо дефект не виявлено, інформація про перевірку записується у базу даних, а кришка продовжує рухатися далі. Якщо дефект виявлено, додатково активується зумер для сповіщення оператора.

Для узагальнення функцій підсистем, основне їх призначення та базові пристрої, які їх виконують показані у табл. 2.1.

Запропонована структура має кілька переваг, зокрема, вона є достатньо простою при реалізації, у ній використовуються доступні компоненти, які можна підключити до Raspberry Pi та існує можливість функціонального розширення в майбутньому.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Характеристика компонентів системи контролю якості виготовлення пластикових кришок

Підсистема	Основний компонент	Призначення
Виявлення кришки	Інфрачервоний датчик перешкоди	Фіксація появи виробу у зоні контролю
Отримання зображення	Камера	Формування зображення пластикової кришки
Контроль освітлення	Датчик освітленості	Оцінка умов отримання зображення
Центральне керування	Raspberry Pi 4 / Raspberry Pi 5	Координація роботи компонентів системи
Аналіз зображення	Програмний модуль комп'ютерного зору	Виявлення ознак дефектів
Прийняття рішення	Програмна логіка	Визначення якості виробу
Сповіщення	Зумер	Подача звукового сигналу при виявленні браку
Збереження даних	SQLite	Запис результатів контролю

Ще однією перевагою є локальне виконання основних функцій. Усі ключові операції можуть виконуватися без передавання даних на віддалений сервер. Це зменшує залежність системи від мережевого з'єднання та дозволяє швидше реагувати на появу дефекту. Для виробничої лінії така особливість є важливою, оскільки затримка між виявленням браку та сповіщенням оператора повинна бути мінімальною [12].

Варто відмітити і той факт, що точність системи залежатиме від якості камери, умов освітлення, швидкості руху кришок і налаштування алгоритмів обробки зображень.

Отже, загальна структура комп'ютерної системи контролю якості пластикових кришок передбачає взаємодію камери, вбудованого контролера Raspberry Pi, інфрачервоного датчика перешкоди, датчика освітленості, зумера, програмного модуля комп'ютерного зору та бази даних SQLite. Така структура дозволяє організувати автоматизований контроль виробів на конвеєрі, забезпечити сповіщення оператора про дефекти та зберігати результати перевірки для подальшого аналізу.

2.2 Вбудований контролер системи контролю якості пластикових кришок

Після визначення загальної структури системи необхідно обрати пристрій, який буде виконувати роль основного керуючого та обчислювального елемента. У даній системі таким елементом є вбудований контролер. Саме він повинен об'єднати роботу камери, датчиків, зумера, програмного модуля аналізу зображень і бази даних.

Особливість цієї системи полягає в тому, що контролер має працювати не лише з простими сигналами, а й із зображеннями. Для звичайної системи автоматизації часто достатньо мікроконтролера, який приймає сигнал із датчика і вмикає виконавчий пристрій. У випадку контролю якості пластикових кришок задача є складнішою. Система повинна зафіксувати появу виробу, отримати його зображення, виконати обробку кадру, визначити можливі дефекти, подати сигнал оператору та записати результат перевірки.

Тому важливо обрати такий пристрій, який поєднує можливості контролера і невеликого комп'ютера. З одного боку, він повинен мати контакти для підключення датчиків і зумера. З іншого боку, він має підтримувати роботу з камерою, операційною системою, мовою програмування Python, бібліотекою OpenCV і базою даних SQLite [13].

Для розроблюваної системи обрано Raspberry Pi 4 Model B. Це одноплатний комп'ютер, який добре підходить для створення прототипу апаратно-програмної системи контролю якості. Його можна використовувати як локальний пристрій, що самостійно приймає дані, обробляє їх і формує результат без обов'язкового підключення до окремого персонального комп'ютера.

У цій системі Raspberry Pi 4 виконує роль координатора всього процесу контролю якості. Важливою перевагою Raspberry Pi 4 є те, що він не потребує окремого мікроконтролера для керування периферійними елементами. До його GPIO-контактів можна підключити інфрачервоний датчик перешкоди та зумер, а через інтерфейс I2C – датчик освітленості. Апаратну структуру Raspberry Pi 4 Model B подано на рис. 2.2.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

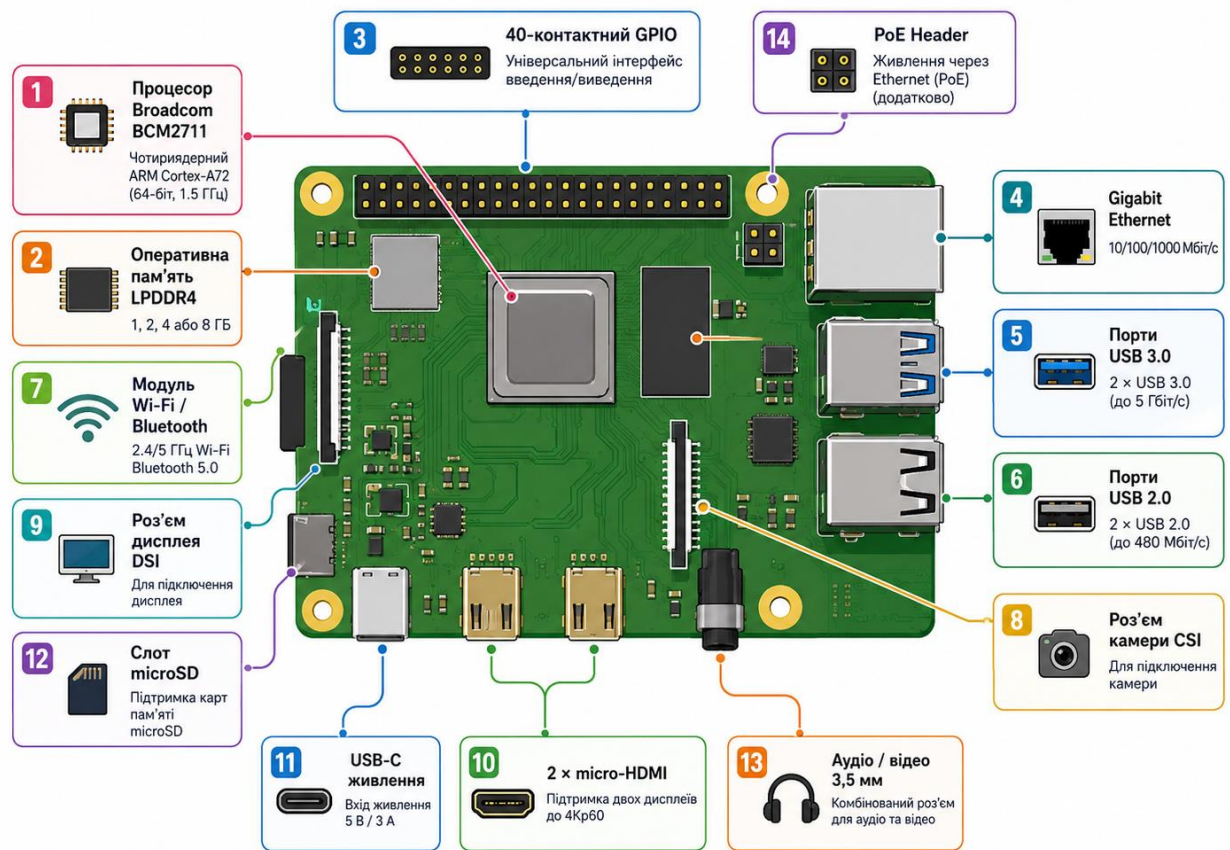


Рисунок 2.2 – Апаратна структура Raspberry Pi 4 Model B

На рис. 2.2 показано основні апаратні частини Raspberry Pi 4, які є важливими для даної системи. Для підключення камери може використовуватися CSI-роз'єм або USB-порт. Для роботи з датчиками та зумером використовується 40-контактний GPIO-роз'єм. Слот microSD застосовується для встановлення операційної системи та збереження програмних файлів. Мережеві інтерфейси можуть бути корисними для передавання результатів контролю на іншій пристрій або для віддаленого налаштування системи [13].

Окремо слід звернути увагу на підтримку операційної системи Raspberry Pi OS. Завдяки цьому Raspberry Pi 4 можна використовувати не як простий контролер із жорстко заданою логікою, а як невеликий комп'ютер, на якому запускається прикладна програма.

Під час вибору контролера були розглянуті й інші варіанти. Найпростішим рішенням міг би бути Arduino. Проте для цієї задачі він має суттєве обмеження:

його зручно використовувати для зчитування сигналів і керування простими пристроями, але він не призначений для повноцінної обробки зображень.

У системі контролю якості пластикових кришок основне навантаження припадає саме на аналіз кадру, тому Arduino може розглядатися лише як допоміжний елемент, але не як основа системи [14].

Іншим можливим варіантом є ESP32. Він має більше можливостей, ніж Arduino, зокрема підтримує бездротовий зв'язок і може використовуватися в IoT-пристроях. Однак його обчислювальні ресурси також обмежені для задачі стабільного аналізу зображень. ESP32 доцільний у випадках, коли потрібно збирати дані з датчиків або передавати їх мережею, але для локальної обробки зображень пластикових кришок краще використати продуктивніший пристрій.

Також можна було б застосувати спеціалізовану плату для комп'ютерного зору, наприклад NVIDIA Jetson Nano. Такий пристрій має значно більші можливості для запуску нейронних мереж і складних моделей штучного інтелекту [14].

Порівняння можливих пристроїв для реалізації центрального вузла системи наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняння пристроїв при виборі центрального вузла системи

Пристрій	Можлива роль у системі	Обмеження	Рішення
Arduino	Зчитування простих сигналів, керування зумером або індикаторами	Не забезпечує повноцінну роботу із зображеннями	Не підходить як основний пристрій системи
ESP32	Збір даних із датчиків, бездротове передавання інформації	Обмежені ресурси для стабільної обробки зображень	Може бути допоміжним модулем, але не основою системи
Raspberry Pi 4 Model B	Робота з камерою, датчиками, OpenCV, SQLite та GPIO	Потребує якісного живлення й охолодження при тривалому навантаженні	Найбільш доцільний варіант для даної роботи
NVIDIA Jetson Nano	Запуск складніших алгоритмів комп'ютерного зору та нейронних мереж	Вища вартість і складніше налаштування	Надмірний варіант

З табл. 2.1 видно, що Raspberry Pi 4 Model B є найбільш придатним варіантом для цієї системи. Він має достатньо ресурсів для обробки зображень, але водночас залишається доступним і відносно простим у використанні. На відміну від простих мікроконтролерів, він може працювати з камерою та програмними бібліотеками комп'ютерного зору.

Для збереження операційної системи, програмного коду, бази даних і зображень використовується карта microSD. В якості СКБД запропоновано обрати SQLite як локальну базу даних, яка не потребує окремого сервера.

2.3 Камера для отримання зображень пластикових кришок

У системі контролю якості пластикових кришок камера є основним джерелом інформації про стан виробу. Саме зображення, отримане з камери, використовується для подальшого аналізу якості виробу. Тому від правильного вибору камери залежить, наскільки точними будуть вхідні дані для програмного модуля комп'ютерного зору [15].

Для даної системи камера повинна забезпечувати достатню деталізацію зображення. Це важливо тому, що дефекти можуть мати різний розмір. Наприклад, сильна деформація або відсутність частини кришки помітні навіть на зображенні середньої якості. Натомість дрібні тріщини, подряпини або незначні пошкодження різьби потребують кращої роздільної здатності та правильно організованого освітлення.

Під час вибору камери потрібно враховувати не лише такі технічні характеристики як роздільна здатність чи кількість пікселів. Для системи контролю якості важливими є також сумісність із Raspberry Pi 4, спосіб підключення, можливість стабільної роботи, якість зображення, підтримка фокусування та зручність програмного доступу до кадрів. Камера повинна не просто передавати відео, а бути придатною для подальшої обробки зображень програмними засобами [15-17].

Для реалізації системи можна розглянути кілька варіантів камер. Найпростішим варіантом є звичайна USB-камера. Вона легко підключається до

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Raspberry Pi через USB-порт і не потребує спеціального шлейфа. Такий варіант зручний для швидкого тестування, однак якість зображення залежить від конкретної моделі камери. Крім того, дешеві USB-камери не завжди забезпечують стабільне фокусування та достатню різкість для виявлення дрібних дефектів.

Іншим варіантом є промислова камера. Вона може забезпечувати кращу якість зображення, стабільну роботу та вищу надійність у виробничих умовах. Проте такий варіант є занадто дорогим і складним. Промислові камери часто потребують додаткового програмного забезпечення, спеціальних інтерфейсів підключення або окремого налаштування.

Найбільш оптимальним варіантом для даної роботи є використання Raspberry Pi Camera Module 3 [17]. Ця камера призначена для роботи з платами Raspberry Pi та підключається через CSI-інтерфейс. Завдяки цьому вона добре узгоджується з вбудованим мікроконтролером і не займає USB-порти, які можуть знадобитися для інших пристроїв. Крім того, такий модуль має компактні розміри, що спрощує його встановлення біля зони контролю. Зовнішній вигляд камери показано на рис. 2.3.

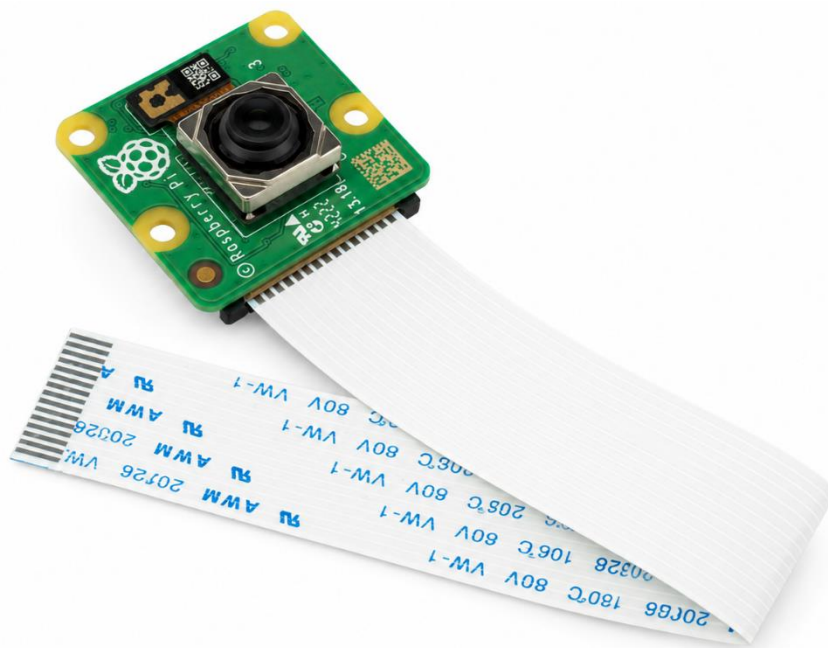


Рисунок 2.3 – Raspberry Pi Camera Module 3

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики камери (рис. 2.3) дозволяють отримувати достатньо деталізоване зображення для аналізу пластикової кришки.

Для задачі контролю якості важливою є наявність автофокусування. Якщо кришка розташована на невеликій відстані від камери, фокус має бути налаштований так, щоб контури виробу та дрібні елементи були чіткими. У випадку ручного фокусування це потребувало б додаткового налаштування. Підтримка автофокусу спрощує роботу з камерою та дозволяє легше адаптувати її до умов прототипу. Перевагою Raspberry Pi Camera Module 3 є також те, що вона має стандартний варіант з інфрачервоним фільтром. Для даної системи саме стандартний варіант є оптимальним, оскільки контроль пластикових кришок виконується у звичайних умовах освітлення.

NoIR-версія, яка не має інфрачервоного фільтра, більше підходить для задач нічного бачення або спеціального підсвічування, тому в цій роботі вона не є основним вибором.

Для контролю пластикових кришок потрібно розміщувати камеру над зоною, де кришка проходить по конвеєру. Таке розташування дозволяє отримувати зображення верхньої частини виробу та аналізувати його зовнішню форму. Якщо потрібно перевіряти різьбу з внутрішньої сторони, можливі два підходи: або використовувати окрему позицію для зйомки внутрішньої частини кришки, або розмістити камеру під таким кутом, щоб у кадрі було видно потрібну область. Важливо також, щоб камера була жорстко закріплена. Якщо під час роботи вона буде зміщуватися або вібрувати, зображення може ставати розмитим. Це ускладнить аналіз контурів і дрібних дефектів. Тому в конструкції системи потрібно передбачити фіксоване кріплення камери над конвеєром.

Для підвищення якості зображення необхідно забезпечити правильне освітлення. Навіть хороша камера може давати некоректні результати, якщо область зйомки затемнена або має відблиски. Пластикові кришки можуть мати блискучу поверхню, тому нерівномірне світло може створювати зайві плями на зображенні. Через це в системі передбачено використання датчика освітленості, який дозволяє контролювати умови отримання кадру. Порівняння можливих варіантів камер для системи наведено в таблиці 2.3.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Порівняння камер для системи контролю якості

Камера	Можливості для системи	Обмеження	Застосування
USB-камера	Просте підключення, доступність, можливість швидкого тестування	Якість залежить від моделі, можливі проблеми з різкістю та стабільністю зображення	Може використовуватися для початкових експериментів
Промислова камера	Висока якість зображення, надійність, придатність для виробничих умов	Вища вартість, складніше підключення та налаштування	Доцільна для промислової версії системи
Raspberry Pi Camera Module 3	Сумісність із Raspberry Pi 4, CSI-підключення, компактність, висока деталізація, автофокус	Потребує правильного монтажу та стабільного освітлення	Найбільш доцільний варіант для бакалаврського прототипу

З наведеного порівняння видно, що Raspberry Pi Camera Module 3 найкраще відповідає умовам даної роботи. Вона не ускладнює апаратну частину, добре підключається до Raspberry Pi 4 та забезпечує достатню якість зображення для базового аналізу дефектів. У розроблюваній системі камера виконує такі функції:

- отримує зображення пластикової кришки у зоні контролю;
- передає кадр на Raspberry Pi 4 для подальшої обробки;
- забезпечує вхідні дані для аналізу форми, поверхні та країв виробу;
- дає змогу виявляти візуальні ознаки дефектів;
- працює разом з інфрачервоним датчиком, який визначає момент появи кришки перед камерою.

Для правильної роботи камери потрібно врахувати її положення відносно кришки. Якщо камера розташована надто далеко – дрібні дефекти можуть бути погано помітними, в іншому випадку – у кадр може не потрапити вся кришка. Тому відстань потрібно підібрати так, щоб виріб повністю знаходився в кадрі, а його контур і поверхня були достатньо чіткими для аналізу. Також потрібно врахувати швидкість руху кришок. Якщо виріб рухається занадто швидко, кадр може вийти розмитим, тому потрібно правильно синхронізувати зйомку з інфрачервоним датчиком. Коли датчик фіксує появу кришки, система запускає отримання кадру саме в той момент, коли виріб знаходиться у контрольній зоні.

2.4 Інфрачервоний датчик перешкоди

У системі контролю якості пластикових кришок важливо не тільки отримати якісне зображення виробу, а й зробити це у правильний момент. Кришка рухається по конвеєру, тому камера не повинна постійно виконувати зйомку порожньої ділянки. Для запуску перевірки потрібно визначити момент, коли кришка потрапляє у зону контролю. Для цього в системі використовується інфрачервоний датчик перешкоди.

Інфрачервоний датчик перешкоди виконує роль елемента синхронізації. Він не аналізує якість кришки і не визначає тип дефекту, але повідомляє Raspberry Pi 4 про те, що перед камерою з'явився об'єкт. Після отримання такого сигналу система запускає процес зйомки та подальшої обробки зображення. Завдяки цьому перевірка виконується не постійно, а лише тоді, коли у контрольній зоні є виріб [18].

Принцип роботи інфрачервоного датчика базується на використанні інфрачервоного випромінювання. Зазвичай такий модуль має інфрачервоний світлодіод, який випромінює світло, та фотоприймач, який реагує на відбите випромінювання. Якщо перед датчиком з'являється об'єкт, інфрачервоне світло відбивається від його поверхні та потрапляє на приймач. Після цього на виході датчика формується сигнал, який може бути зчитаний контролером.

Для даної системи пропонується використати модуль інфрачервоного датчика перешкоди типу FC-51. Такий датчик має просту будову, невелику вартість і легко підключається до Raspberry Pi 4. Він може працювати на невеликій відстані від об'єкта, що підходить для задачі виявлення кришки на конвеєрі [18].

У системі контролю якості пластикових кришок інфрачервоний датчик доцільно розміщувати перед камерою або безпосередньо біля зони зйомки. Його положення потрібно підібрати так, щоб він реагував саме на появу кришки, а не на випадкові елементи конструкції конвеєра.

У загальному випадку робота інфрачервоного датчика у складі системи відбувається за таким алгоритмом. Кришка рухається по конвеєру та потрапляє

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в область дії датчика. Датчик фіксує наявність об'єкта і передає цифровий сигнал на GPIO-вхід Raspberry Pi 4. Програмне забезпечення отримує цей сигнал і запускає процедуру отримання кадру з камери. Після цього виконується аналіз зображення та прийняття рішення щодо якості виробу. Такий підхід дозволяє зменшити кількість зайвих операцій.

Без датчика система контролю якості виготовлення пластикових кришок могла б постійно обробляти відеопотік, навіть коли перед камерою немає виробу. Це збільшувало б навантаження на Raspberry Pi 4 і могло б ускладнювати роботу програмного забезпечення. Використання датчика дозволяє зробити перевірку подіє керованою: система реагує на появу виробу, а не працює в режимі безперервного аналізу порожнього кадру [18].

Інфрачервоний датчик також допомагає зробити процес контролю більш передбачуваним. Якщо кожна перевірка запускається після фіксації кришки, простіше організувати однакові умови отримання зображень. Це важливо для комп'ютерного зору, оскільки алгоритми краще працюють тоді, коли об'єкт у кадрі займає приблизно однакове положення.

Підключення інфрачервоного датчика до Raspberry Pi 4 є відносно простим. На рис. 2.4 показано інфрачервоний датчик FC-51.

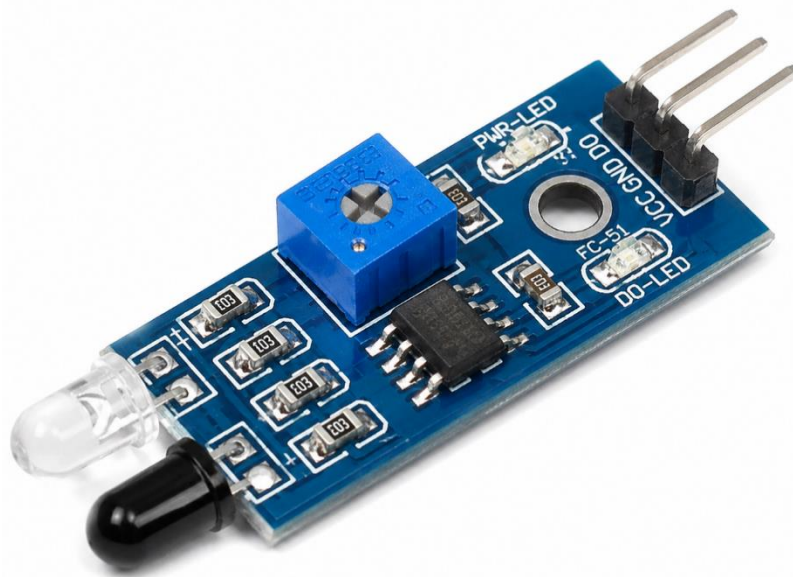


Рисунок 2.4 – Інфрачервоний датчик FC-51

Багато модулів інфрачервоних датчиків мають підлаштувальний резистор, за допомогою якого можна змінювати відстань спрацювання. Для даної системи відстань потрібно підібрати експериментально. Датчик повинен надійно розпізнавати пластикову кришку, але не повинен реагувати на зайві елементи, які не є об'єктом контролю.

Перевагою інфрачервоного датчика є простота його використання. Він не потребує складної обробки сигналу, швидко реагує на появу об'єкта і добре підходить для невеликих відстаней [19].

Разом із тим такий датчик має певні недоліки. Його робота може залежати від кольору, матеріалу та відбивної здатності поверхні об'єкта. Пластикові кришки можуть бути різного кольору, тому відбиття інфрачервоного випромінювання може відрізнитися. Також на роботу датчика можуть впливати зовнішнє освітлення або неправильне розташування відносно конвеєра. Тому під час налаштування системи потрібно перевірити стабільність спрацювання датчика для різних положень кришки.

Для підвищення надійності роботи датчика можна передбачити просту програмну фільтрацію сигналу. Наприклад, система може враховувати спрацювання лише тоді, коли сигнал утримується протягом короткого проміжку часу, а не виникає миттєво через випадкову перешкоду. Це дозволяє зменшити кількість помилкових запусків зйомки.

У межах розроблюваної системи інфрачервоний датчик не є самостійним засобом контролю якості, але він відіграє важливу організаційну роль. Завдяки цьому сенсору Raspberry Pi 4 отримує інформацію про появу кришки, а камера активується в потрібний момент. Це робить процес контролю більш впорядкованим і зменшує кількість зайвої обробки.

Отже, інфрачервоний датчик перешкоди є важливим допоміжним елементом системи контролю якості пластикових кришок. Він забезпечує виявлення виробу в зоні контролю, синхронізує момент отримання зображення та допомагає зменшити навантаження на Raspberry Pi 4.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Датчик освітленості ВН1750

Якість роботи комп'ютерної системи контролю пластикових кришок значною мірою залежить від умов, у яких камера отримує зображення. Навіть якщо камера має достатню роздільну здатність, результат аналізу може бути неточним при поганому або нестабільному освітленні. Саме тому в розроблюваній системі передбачено датчик освітленості, який дозволяє контролювати умови зйомки. Якщо зона контролю освітлена недостатньо, зображення може бути темним, а дрібні тріщини або нерівності можуть зливатися з основною поверхнею кришки. За умови надто сильного освітлення, на пластиковій поверхні можуть виникати відблиски, які програма може помилково сприймати як дефекти.

Особливо важливим є стабільне освітлення під час роботи з кришками різного кольору. Датчик освітленості не усуває ці проблеми повністю, але дає змогу системі контролювати, чи перебуває рівень освітлення в допустимих межах. [20]

У системі контролю якості виготовлення пластикових кришок датчик освітленості виконує допоміжну функцію. Його завдання полягає в тому, щоб передати Raspberry Pi 4 інформацію про рівень світла в зоні зйомки. На основі цього значення програма може оцінити, чи придатні поточні умови для отримання зображення.

Для реалізації цієї функції запропоновано використати цифровий датчик освітленості ВН1750. Він вимірює освітленість у люксах і передає дані на контролер через інтерфейс I2C. Такий спосіб підключення є зручним для Raspberry Pi 4, оскільки плата підтримує I2C і дозволяє підключати відповідні цифрові сенсори без складної схеми узгодження сигналів [20].

На відміну від простого фоторезистора, ВН1750 одразу формує цифрове значення освітленості. Це спрощує програмну обробку, оскільки Raspberry Pi 4 отримує не умовний аналоговий сигнал, а конкретне числове значення. Для системи контролю якості це зручно, оскільки можна встановити допустимий

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазон освітленості та перевіряти, чи відповідають умови зйомки цьому діапазону.

Простий фоторезисторний модуль також можна було б використати у такій системі, однак він має певні обмеження. Його покази є менш точними, а для отримання числового значення часто потрібне додаткове аналого-цифрове перетворення. Оскільки Raspberry Pi 4 не має вбудованих аналогових входів, використання фоторезистора потребувало б додаткового АЦП-модуля. Тому для даної роботи цифровий датчик BH1750 є зручнішим рішенням [20].

У системі контролю якості пластикових кришок датчик освітленості доцільно розміщувати біля зони, де камера отримує зображення. Він повинен вимірювати саме той рівень освітлення, який впливає на знімок кришки. Датчик BH1750 проілюстровано на рис. 2.5.

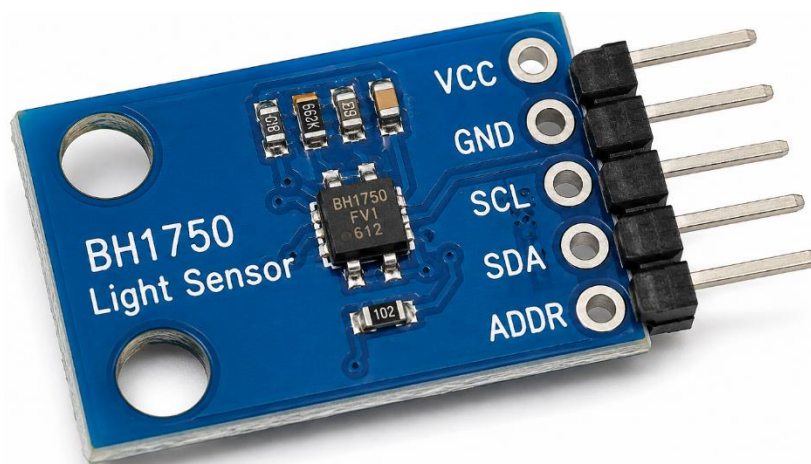


Рисунок 2.5 – Датчик BH1750

Датчик освітленості корисний під час налаштування системи. Перед початком роботи можна перевірити, при якому рівні освітлення камера формує найбільш якісне зображення. Після цього це значення використовувати як орієнтир для подальшої роботи системи. Такий підхід дозволяє не лише зібрати апаратну частину, а й зробити її роботу більш передбачуваною.

Перевагою використання BH1750 є його простота, компактність і цифровий спосіб передавання даних.

2.6 Підсистема звукового сповіщення оператора

У комп'ютерній системі контролю якості пластикових кришок важливо не лише виявити дефект, а й своєчасно повідомити про нього оператора. Якщо система просто записує результат перевірки у базу даних, оператор може не одразу помітити появу бракованої продукції. Тому до складу системи включено окрему підсистему сповіщення. Для цього найпростішим і достатньо ефективним способом оповіщення є використання зумера. Зумер – це невеликий звуковий елемент, який може подавати сигнал після отримання відповідної команди від Raspberry Pi 4. У даній системі він використовується для привернення уваги оператора в момент виявлення дефектної пластикової кришки.

На виробничій лінії оператор не завжди може постійно спостерігати за екраном або переглядати результати перевірки. Якщо система виявила брак, звуковий сигнал дозволяє швидко звернути увагу на проблему. Це особливо корисно тоді, коли контроль виконується автоматично, а оператор лише періодично наглядає за роботою обладнання.

Для такої системи доцільно використати активний зумер на 3,3–5 В. Активний зумер є зручним тим, що для його роботи достатньо подати керуючий сигнал живлення. Він уже має вбудований генератор звуку, тому не потребує складного формування частоти програмними засобами.

Існують також пасивні зумери. Вони відрізняються тим, що для формування звуку потрібно подавати сигнал певної частоти. Такий варіант дає більше можливостей для створення різних звукових тонів, але потребує складнішого програмного керування. Для даного прототипу достатньо простого звукового сигналу про дефект, тому активний зумер є більш практичним вибором.

Логіка роботи зумера у системі є простою. Після завершення аналізу зображення програмний модуль формує результат перевірки. Якщо дефект не виявлено, GPIO-контакт залишається неактивним. Якщо кришка має ознаки браку, програма на короткий час активує відповідний GPIO-контакт, і зумер

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подає звуковий сигнал. Тривалість сигналу задається програмно, наприклад 0,5–2 секунди [22]. На рис. 2.6 показано вигляд зумера, який застосовується у комп'ютерній системі контролю якості при виготовленні пластикових кришок.



Рисунок 2.6 – Зумер

У системі передбачено різні режими звукового сповіщення. Наприклад, один короткий сигнал може означати виявлення незначного дефекту, а кілька повторних сигналів – серйозний дефект або повторювану появу браку.

Для зручності оператора звуковий сигнал повинен бути достатньо помітним, але не надто тривалим. Якщо сигнал буде занадто коротким, його можна не почути в умовах шуму. Якщо він буде занадто довгим або різким, це може створювати дискомфорт. Тому тривалість і характер сповіщення доцільно налаштувати під час тестування прототипу.

Зумер також може використовуватися для перевірки працездатності системи [22]. Наприклад, під час запуску програми короткий сигнал може підтверджувати, що модуль сповіщення підключений і готовий до роботи. Однак основним його призначенням у межах даної роботи залишається подача сигналу при виявленні дефекту.

Отже, підсистема звукового сповіщення є важливим елементом комп'ютерної системи контролю якості пластикових кришок. Вона забезпечує швидке повідомлення оператора про виявлення дефекту та дозволяє оперативно реагувати на появу бракованої продукції. Для реалізації цієї підсистеми доцільно використати активний зумер, підключений до Raspberry Pi 4 через GPIO-контакт або транзисторний ключ.

2.7 Схема підключення апаратних компонентів

Після вибору основних елементів системи необхідно визначити, яким чином вони будуть з'єднані між собою. Для комп'ютерної системи контролю якості пластикових кришок схема підключення має важливе значення, оскільки саме вона забезпечує узгоджену роботу камери, датчиків, пристрою звукового сповіщення та обчислювального модуля. Центральним вузлом усіх з'єднань у даній системі є Raspberry Pi 4 Model B.

У запропонованій конфігурації до Raspberry Pi 4 підключаються такі основні компоненти:

- камера Raspberry Pi Camera Module 3;
- інфрачервоний датчик перешкоди;
- датчик освітленості BH1750;
- активний зумер;
- карта microSD.

Слід відразу зазначити, що не всі складові системи підключаються однаковим способом. Камера використовує спеціалізований інтерфейс CSI. Датчик освітленості працює через шину I2C. Інфрачервоний датчик і зумер підключаються до GPIO-контактів. Загальну схему підключення компонентів системи подано на рис. 2.7.

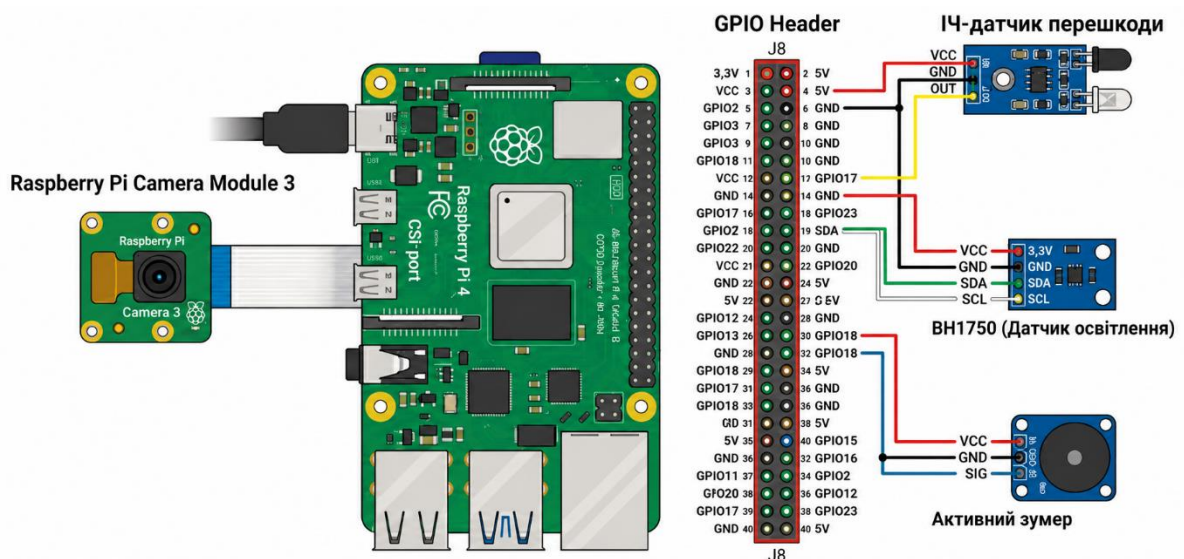


Рисунок 2.7 – Схема підключення компонентів системи до Raspberry Pi 4

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Як видно зі схеми (рис. 2.7), Raspberry Pi 4 виступає не просто як окремий компонент, а як основа всієї системи. Через нього проходять як сигнали від датчиків, так і дані від камери. Після їх обробки Raspberry Pi формує керуючий сигнал для зумера та виконує збереження результатів контролю у локальній базі даних.

Камера Raspberry Pi Camera Module 3 підключається до Raspberry Pi 4 через інтерфейс CSI. Для цього використовується плоский шлейф, який з одного боку з'єднується з камерою, а з іншого – із CSI-роз'ємом на платі Raspberry Pi.

Інфрачервоний датчик перешкоди використовується для виявлення моменту появи кришки у зоні контролю. Живлення датчика подається від Raspberry Pi, земля підключається до спільного контакту GND, а цифровий вихід з'єднується з одним із GPIO-входів. Через цей GPIO-контакт програма визначає, чи виявив датчик об'єкт перед камерою.

Під час вибору конкретного GPIO-контакту доцільно використовувати вільний цифровий вхід, наприклад GPIO17. Такий вибір не є жорстко обов'язковим, але є зручним для реалізації прототипу. Важливо також перевірити, який рівень сигналу формує датчик на виході. Якщо модуль працює з 5 В і формує 5-вольтовий сигнал, для безпечного підключення до Raspberry Pi потрібно застосувати узгодження рівнів.

Датчик освітленості BH1750 працює через інтерфейс I2C, тому його підключення відрізняється від підключення інфрачервоного датчика. На Raspberry Pi 4 шина I2C доступна через відповідні контакти GPIO. Для типової конфігурації використовуються:

- GPIO2 (SDA1) — лінія даних;
- GPIO3 (SCL1) — лінія такту.

Таким чином, датчик BH1750 підключається чотирма провідниками: живлення, земля, SDA та SCL. Це дозволяє Raspberry Pi періодично зчитувати числове значення освітленості в зоні контролю.

Активний зумер використовується для формування звукового сигналу при виявленні дефектної кришки. Його найпростіший варіант також має три або два основні контакти: живлення, земля, сигнальний вхід (для деяких модулів).

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У найпростішій конфігурації зумер може керуватися через один GPIO-вихід Raspberry Pi. У системі контролю якості виготовлення пластикових кришок використано GPIO18

Для зручності практичної реалізації доцільно зафіксувати один із можливих варіантів розподілу контактів Raspberry Pi 4. Такий розподіл наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Підключення компонентів до Raspberry Pi 4

Компонент	Контакти модуля	Підключення до Raspberry Pi 4	Призначення
Raspberry Pi Camera Module 3	CSI-шлейф	CSI-роз'єм	Отримання зображення
ПЧ-датчик перешкоди	VCC, GND, OUT	5V/3.3V, GND, GPIO17	Виявлення кришки
BH1750	VCC, GND, SDA, SCL	3.3V, GND, GPIO2, GPIO3	Вимірювання освітленості
Активний зумер	VCC, GND, SIG	5V/3.3V, GND, GPIO18	Звукове сповіщення

Під час складання системи потрібно враховувати електричну сумісність модулів з Raspberry Pi 4. Основні GPIO-контакти Raspberry Pi працюють із рівнем 3,3 В, тому подавання на них 5-вольтового сигналу є небажаним і може призвести до пошкодження плати.

Отже, схема підключення апаратних компонентів системи будується навколо Raspberry Pi 4 Model B, до якого через відповідні інтерфейси підключаються всі інші компоненти. Фізична схема з'єднань безпосередньо визначає послідовність роботи системи.

РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМИ ТА ЇХ ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИ КОНТРОЛІ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ КРИШОК

3.1 Проектування програмного забезпечення системи контролю якості виготовлення пластикових кришок

В основі функціонування комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок лежить програмне забезпечення, яке забезпечує керування всіма основними етапами перевірки виробу. Окрім цього на програмну складову системи покладено функції щодо коректної взаємодії з камерою та іншими апаратними компонентами, а також виконання обробки зображення і прийняття рішення щодо якості пластикової кришки.

Загальний алгоритм роботи системи будується за подієвим принципом. Це означає, що перевірка кришки запускається не постійно, а після появи відповідної події. Такою подією є сигнал від інфрачервоного датчика перешкоди, який фіксує появу кришки у зоні контролю [23].

Після запуску програми спочатку виконується підготовка системи до роботи. На цьому етапі ініціалізуються GPIO-контакти Raspberry Pi 4, перевіряється доступність камери, налаштовується датчик освітленості, відкривається або створюється база даних SQLite. Також програма створює потрібні папки для збереження зображень і перевіряє, чи доступні всі необхідні модулі.

Після ініціалізації система переходить у режим очікування. У цьому режимі програма постійно або періодично перевіряє стан інфрачервоного датчика. Якщо кришка ще не потрапила в зону контролю, жодних складних операцій не виконується, в іншому випадку – програма переходить до наступного етапу, який передбачає отримання зображення з камери.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Гусак В.О.			<i>Алгоритми та їх програмна реалізація при контролі якості виготовлення пластикових кришок</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів.</i>		Тиш Є.В.					41	
<i>Реценз.</i>		Стоянов Ю.М.				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

У момент спрацювання датчика програма захоплює кадр із відеопотоку. Важливо, щоб зображення було отримане тоді, коли кришка знаходиться в потрібному положенні відносно камери для зменшення кількості помилок під час подальшої обробки.

Перед аналізом зображення програмне забезпечення також зчитує значення з датчика освітленості ВН1750. Це значення використовується для контролю умов зйомки. Якщо освітлення є занадто слабким або надмірним, система фіксує це у базі даних як додаткову інформацію.

Після отримання кадру виконується його попередня обробка. На цьому етапі виконується підготовка до аналізу зображення. Препроцесинг включає в себе такі операції, як обрізання області контролю, переведення зображення у відтінки сірого, фільтрація шумів, підвищення контрастності та порогова обробка. Метою цього етапу є отримання такого зображення, з яким зручніше працювати алгоритмам виявлення дефектів.

Далі програмний модуль переходить до аналізу ознак кришки. Спочатку виконується перевірка загальної форми виробу. Для цього визначається контур кришки, оцінюється його круглість, рівномірність країв і відповідність очікуваним розмірам. Якщо форма значно відрізняється від нормальної, система фіксує наявність геометричного дефекту.

Наступним етапом є пошук поверхневих дефектів, зокрема, тріщини, подряпини, плями, вм'ятини або інші пошкодження. Для цього проводиться аналіз локальних змін яскравості, тонких ліній, різких переходів між ділянками зображення або інші нетипові ознаки [23].

Окремо виконується перевірка різьбової частини кришки. Для цього аналізується внутрішня область виробу, якщо вона потрапляє в кадр. Програма може перевіряти наявність характерних ліній, рівномірність внутрішнього контуру та можливі пропуски або пошкодження. Повноцінний контроль різьби залежить від положення кришки перед камерою.

Після аналізу всіх ознак програма формує результат аналізу. Якщо суттєвих відхилень не виявлено, кришка вважається якісною. Якщо ж було знайдено хоча б одну ознаку браку, система відносить виріб до дефектних. У

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результаті формується не лише загальний висновок, а й орієнтовний тип дефекту, наприклад деформація, тріщина, нерівний край або пошкодження різьби.

Якщо кришка визначена як дефектна, Raspberry Pi 4 активує зумер. Звуковий сигнал повідомляє оператора про виявлення браку. Якщо дефектів не виявлено, зумер не вмикається, а система переходить до збереження результату та очікування наступної кришки.

Незалежно від результату перевірки, програма записує дані у базу SQLite. У базі даних фіксується дата і час перевірки, результат контролю, тип дефекту, рівень освітленості та шлях до збереженого зображення. Це дозволяє вести журнал роботи системи та в подальшому аналізувати кількість якісних і дефектних виробів. Загальний алгоритм роботи програмного забезпечення системи контролю якості виготовлення пластикових кришок показано на рис. 3.1.

У наведеному алгоритмі видно, що програма працює циклічно. Після завершення перевірки однієї кришки система не завершує роботу, а повертається до режиму очікування наступного виробу. Це відповідає умовам конвеєрного процесу, де перевірка повинна повторюватися багато разів.

Важливою частиною алгоритму є перевірка доступності компонентів під час запуску. Якщо камера, датчики або база даних недоступні, програма повинна повідомити про помилку. Це дозволяє уникнути ситуації, коли система начебто працює, але фактично не може отримати зображення або записати результат перевірки.

Окрему увагу потрібно приділити часу виконання операцій. У реальних умовах конвеєр може рухатися досить швидко, тому програма повинна виконувати основні дії без значних затримок.

Для спрощення програмної реалізації алгоритм можна поділити на окремі модулі. Наприклад, один модуль може відповідати за роботу з камерою, другий – за взаємодію з датчиками, третій – за обробку зображення, четвертий – за базу даних, а п'ятий – за сповіщення. Такий підхід робить програму більш зрозумілою та зручною для подальшого розвитку.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

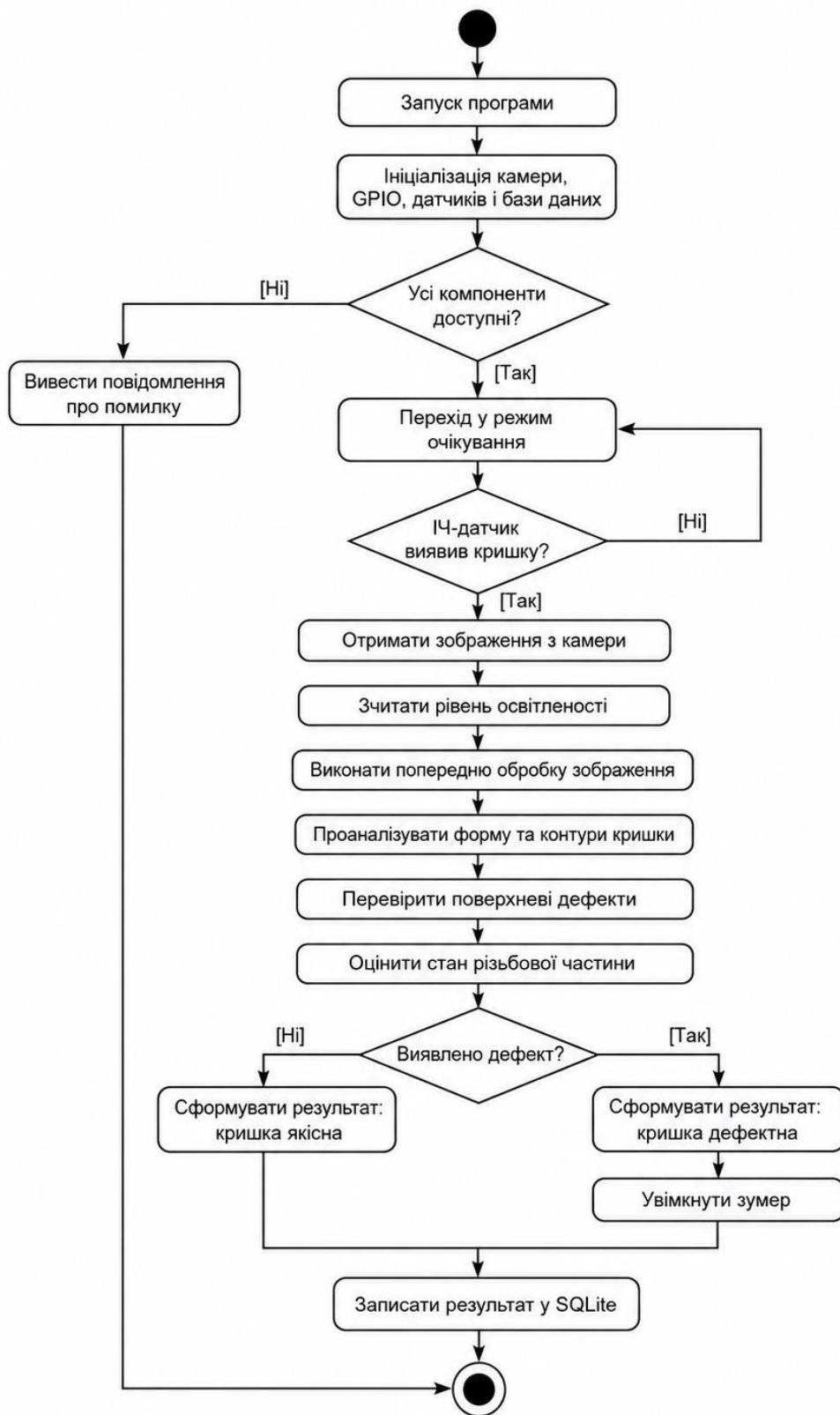


Рисунок 3.1 – Діаграма активностей алгоритму роботи системи контролю якості виготовлення пластикових кришок

Основні програмні модулі та їх призначення наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні програмні модулі системи

Програмний модуль	Основне призначення
Модуль роботи з камерою	Отримання зображення пластикової кришки
Модуль роботи з GPIO	Зчитування сигналу ІЧ-датчика та керування зумером
Модуль роботи з BH1750	Зчитування рівня освітленості
Модуль обробки зображення	Підготовка кадру та пошук ознак дефектів
Модуль прийняття рішення	Визначення якості кришки за результатами аналізу
Модуль бази даних	Запис результатів контролю у SQLite
Головний модуль програми	Координація роботи всіх частин системи

Перевагою декомпозиції на програмні модулі, представлені у табл. 3.1, є те, що кожен частину програми можна тестувати окремо. Наприклад, спочатку можна перевірити, чи правильно працює камера, потім коректність спрацювання інфрачервоного датчика, а далі виконати перевірку чи записуються дані у базу. Після цього всі частини об'єднуються в єдиний алгоритм.

У межах даної роботи програмне забезпечення доцільно реалізувати мовою Python. Вона зручна для роботи з Raspberry Pi 4, має готові бібліотеки для взаємодії з GPIO, камерою, датчиками та SQLite. Для обробки зображень можна використати OpenCV, оскільки ця бібліотека містить необхідні засоби для фільтрації, пошуку контурів і аналізу зображень.

Отже, загальний алгоритм роботи програмного забезпечення системи передбачає запуск і перевірку компонентів, очікування появи кришки, отримання зображення, зчитування освітленості, обробку кадру, виявлення можливих дефектів, прийняття рішення, сповіщення оператора та запис результату в базу даних. Така логіка дозволяє реалізувати автоматизований контроль якості пластикових кришок на базі Raspberry Pi 4.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Реалізація взаємодії між апаратними компонентами системи на програмному рівні

У розроблюваній системі програмне забезпечення орієнтоване на виконання наступних дій:

- програмне налаштування GPIO-контактів Raspberry Pi 4;
- зчитування сигналів з інфрачервоного датчика перешкоди;
- отримання зображення з камери Raspberry Pi Camera Module 3;
- зчитування рівня освітленості з датчика BH1750;
- управління активним зумером;
- створення бази даних SQLite;
- запис результатів перевірки у таблицю бази даних.

Для реалізації цих функцій використано такі програмні бібліотеки, які представлено на рис. 3.2.

```
import time
import sqlite3
from datetime import datetime

import cv2
import RPi.GPIO as GPIO
from picamera2 import Picamera2
import smbus2
```

Рисунок 3.2 – Імпорт необхідних бібліотек

Бібліотека RPi.GPIO використовується для роботи з GPIO-контактами Raspberry Pi. Бібліотека Picamera2 застосовується для отримання зображення з камери. Модуль smbus2 забезпечує обмін даними з датчиком освітленості BH1750 через інтерфейс I2C. Бібліотека sqlite3 використовується для створення та ведення локальної бази даних. Бібліотека cv2 потрібна для подальшої обробки зображень засобами OpenCV.

Для роботи системи спочатку потрібно визначити контакти Raspberry Pi 4, до яких підключені інфрачервоний датчик і зумер. Наприклад, для інфрачервоного датчика використано GPIO17, а для зумера – GPIO18 (рис. 3.3).

```
IR_SENSOR_PIN = 17
BUZZER_PIN = 18
```

Рисунок 3.3 – Програмне налаштування інфрачервоного датчика та зумера

Після цього виконується налаштування GPIO-контактів за допомогою функції, яка наведена на рис. 3.4.

```
def init_gpio():
    GPIO.setmode(GPIO.BCM)
    GPIO.setup(IR_SENSOR_PIN, GPIO.IN)
    GPIO.setup(BUZZER_PIN, GPIO.OUT)
    GPIO.output(BUZZER_PIN, GPIO.LOW)
```

Рисунок 3.4 – Функція налаштування контактів GPIO

У цьому фрагменті використовується нумерація контактів BCM. Контакт IR_SENSOR_PIN налаштовується як вхід, оскільки з нього програма зчитує сигнал від інфрачервоного датчика. Контакт BUZZER_PIN налаштовується як вихід, тому що через нього Raspberry Pi керує зумером.

Функція зчитування даних з інфрачервоного датчика має вигляд, як показано на рис. 3.5.

```
def is_cap_detected():
    sensor_state = GPIO.input(IR_SENSOR_PIN)
    return sensor_state == GPIO.LOW
```

Рисунок 3.5 – Функція зчитування даних з інфрачервоного датчика

У цьому прикладі вважається, що датчик формує низький рівень сигналу при виявленні об'єкта. У промисловій реалізації це потрібно перевірити експериментально, оскільки різні модулі можуть працювати по-різному. Якщо конкретний датчик формує високий рівень при появі кришки, умову потрібно змінити на `sensor_state == GPIO.HIGH`.

Для подачі звукового сигналу використовується окрема функція, яка показана на рис. 3.6.

```
def activate_buzzer(duration=1.0):  
    GPIO.output(BUZZER_PIN, GPIO.HIGH)  
    time.sleep(duration)  
    GPIO.output(BUZZER_PIN, GPIO.LOW)
```

Рисунок 3.6 – Функція активації зумера

Функція `activate_buzzer` вмикає зумер на заданий проміжок часу. У базовому варіанті достатньо одного короткого сигналу тривалістю приблизно одна секунда. Якщо потрібно, у подальшому можна реалізувати кілька коротких сигналів для різних типів дефектів. Для роботи з камерою Raspberry Pi Camera Module 3 використовується бібліотека `PiCamera2`. Ініціалізацію камери реалізовано так, як проілюстровано на рис. 3.7.

```
def init_camera():  
    camera = PiCamera2()  
    config = camera.create_still_configuration(  
        main={"size": (1280, 720)}  
    )  
    camera.configure(config)  
    camera.start()  
    time.sleep(1)  
    return camera
```

Рисунок 3.7 – Ініціалізація камери

Як видно з рис.3.7 камера налаштовується на отримання зображення з роздільною здатністю 1280×720 пікселів.

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Така роздільна здатність дозволяє бачити форму кришки, краї та частину поверхневих дефектів. Після запуску камери передбачена коротка затримка, щоб модуль встиг стабілізувати роботу. Отримання кадру з камери виконується окремою функцією, яка продемонстрована на рис. 3.8.

```
def capture_image(camera):  
    frame = camera.capture_array()  
    frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_RGB2BGR)  
    return frame
```

Рисунок 3.8 – Функція захоплення кадру з камери

Функція `capture_image()` отримує зображення у вигляді масиву. Далі виконується перетворення кольорової моделі з RGB у BGR, оскільки OpenCV зазвичай працює саме з форматом BGR.

Датчик освітленості BH1750 підключається до Raspberry Pi 4 через I2C. Для нього потрібно задати адресу та режим вимірювання, як показано на рис. 3.9.

```
BH1750_ADDRESS = 0x23  
BH1750_MODE = 0x10
```

Рисунок 3.9 – Встановлення адреси для режиму вимірювання для датчика освітленості

Зчитування рівня освітленості реалізовано, як показано на рис. 3.10.

```
def read_light_level():  
    bus = smbus2.SMBus(1)  
    data = bus.read_i2c_block_data(BH1750_ADDRESS, BH1750_MODE, 2)  
    bus.close()  
  
    raw_value = (data[0] << 8) + data[1]  
    light_level = raw_value / 1.2  
    return round(light_level, 2)
```

Рисунок 3.10 – Функція зчитування рівня освітленості

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У функції `read_light_level()` Raspberry Pi звертається до датчика BH1750 за адресою 0x23, зчитує два байти даних і перетворює їх у значення освітленості в люксах. Отримане значення може зберігатися разом із результатом перевірки у базі даних.

Для збереження результатів контролю створюється база даних SQLite. База даних складається з однієї таблиці, а безпосереднє її створення засобами мови Python представлено на рис. 3.11. У таблиці, будуть зберігатися результати перевірок.

```
def init_database(db_path="quality_control.db"):
    connection = sqlite3.connect(db_path)
    cursor = connection.cursor()

    cursor.execute("""
        CREATE TABLE IF NOT EXISTS inspections (
            id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
            check_time TEXT NOT NULL,
            result TEXT NOT NULL,
            defect_type TEXT,
            light_level REAL,
            image_path TEXT
        )
    """)

    connection.commit()
    connection.close()
```

Рисунок 3.11 – Створення бази даних SQLite для зберігання результатів контролю якості виготовлення пластикових кришок

У таблиці `inspections` зберігаються дата і час перевірки, результат контролю, тип дефекту, рівень освітленості і шлях до зображення. Така структура є достатньою для даної системи.

Запис результату в базу даних виконується функцією `save_result()`, яка показана на рис. 3.12.

```

def save_result(result, defect_type, light_level, image_path,
               db_path="quality_control.db"):
    connection = sqlite3.connect(db_path)
    cursor = connection.cursor()

    cursor.execute("""
        INSERT INTO inspections
        (check_time, result, defect_type, light_level, image_path)
        VALUES (?, ?, ?, ?, ?)
    """, (
        datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S"),
        result,
        defect_type,
        light_level,
        image_path
    ))

    connection.commit()
    connection.close()

```

Рисунок 3.12 – Функція запису даних у базу даних

Функція `save_result()` приймає готові дані після аналізу кришки та записує їх у базу. Якщо дефект не виявлено, у поле `defect_type` записується значення `None`.

Для забезпечення можливості збереження зображення кришки у файл програмно визначено окрему функцію, яка наведена на рис. 3.13.

```

def save_image(frame, result):
    timestamp = datetime.now().strftime("%Y%m%d_%H%M%S")
    image_path = f"images/{result}_{timestamp}.jpg"
    cv2.imwrite(image_path, frame)
    return image_path

```

Рисунок 3.13 – Функція зберігання зображення пластикової кришки

У назву файлу додається результат перевірки та поточний час. Це дозволяє зручно зберігати зображення і не перезаписувати попередні файли. Основний цикл роботи програми об'єднує всі попередні функції та наведений на рис. 3.14.

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

```

def main():
    init_gpio()
    init_database()
    camera = init_camera()

    try:
        while True:
            if is_cap_detected():
                frame = capture_image(camera)
                light_level = read_light_level()

                result, defect_type = analyze_cap(frame)

                image_path = save_image(frame, result)
                save_result(result, defect_type, light_level, image_path)

                if result == "defective":
                    activate_buzzer()

                time.sleep(0.5)

            time.sleep(0.05)

    except KeyboardInterrupt:
        print("Роботу програми завершено користувачем.")

    finally:
        camera.stop()
        GPIO.cleanup()

```

Рисунок 3.14 – Функція main()

У фрагменті, наведеному на рис. 3.14, функція `analyze_cap(frame)` відповідає за аналіз зображення пластикової кришки. Її детальна реалізація розглядається в наступних підпунктах, де описуються попередня обробка зображення, аналіз форми, пошук тріщин і прийняття рішення про якість виробу.

Загальну структуру програмної реалізації комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок можна подати у вигляді табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні функції програмної реалізації взаємодії апаратних КОМПОНЕНТІВ

Функція	Призначення
<code>init_gpio()</code>	Налаштування GPIO-контактів Raspberry Pi 4
<code>is_cap_detected()</code>	Перевірка сигналу від інфрачервоного датчика

Функція	Призначення
activate_buzzer()	Увімкнення зумера при виявленні дефекту
init_camera()	Ініціалізація камери
capture_image()	Отримання кадру з камери
read_light_level()	Зчитування освітленості з BH1750
init_database()	Створення таблиці результатів контролю
save_result()	Запис результату перевірки у SQLite
save_image()	Збереження зображення кришки у файл
analyze_cap()	Аналіз зображення та визначення якості виробу

Наведена реалізація показує, як окремі апаратні елементи об'єднуються в єдиний програмний цикл. Такий підхід дозволяє перевірити роботу всіх основних частин системи ще до повної реалізації алгоритмів виявлення дефектів. Кожна функція відповідає за окрему дію, що забезпечує модульність системи та зручність при її супроводі.

3.3 Отримання, попередня обробка та аналіз форми пластикової кришки

У розроблюваній системі аналіз форми пластикової кришки виконується за допомогою бібліотеки OpenCV. Основна ідея полягає в тому, щоб виділити кришку на зображенні, знайти її зовнішній контур, обчислити геометричні параметри та визначити, чи відповідає форма виробу очікуваній. Якщо кришка має значну овальність, перекіс, нерівні краї або порушення зовнішнього контуру, система може віднести її до дефектних. Першим етапом попередньої обробки зображення пластикової кришки є її отримання з камери. Це реалізується функцією `capture_image(camera)`, яка раніше була показана на рис. 3.8.

Далі необхідно виділити область зони контролю на конвеєрі, тобто частину зображення, у якій очікується поява пластикової кришки. Використання цієї області дозволяє не аналізувати весь кадр, а працювати лише з потрібною ділянкою. Для виділення області контролю у кадрі програмно реалізовано функцію, яка проілюстрована на рис. 3.15.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
def crop_roi(frame):
    height, width = frame.shape[:2]

    x1 = int(width * 0.20)
    x2 = int(width * 0.80)
    y1 = int(height * 0.15)
    y2 = int(height * 0.85)

    roi = frame[y1:y2, x1:x2]
    return roi
```

Рисунок 3.15 – Виділення області контролю на конвеєрі

Як видно з рис. 3.15, центральна частина кадру обрізається, оскільки камера закріплена нерухомо, а кришка потрапляє приблизно в центр зображення. У реальній ситуації межі області контролю можуть бути підібрані експериментально залежно від положення камери та конвеєра.

Після виділення області контролю зображення переводиться у відтінки сірого. Це спрощує подальшу обробку, оскільки у системі важливими є межі об'єкта, контраст і загальна геометрія, а не колір. Функція приведення до відтінків сірого показана на рис. 3.16.

```
def convert_to_gray(roi):
    gray = cv2.cvtColor(roi, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    return gray
```

Рисунок 3.16 – Функція приведення зображення до відтінків сірого

Наступним кроком є згладжування зображення. Воно потрібне для зменшення дрібних шумів, які можуть заважати пошуку контуру. Для цього застосовується Гаусове розмиття (рис. 3.17).

```
def blur_image(gray):
    blurred = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
    return blurred
```

Рисунок 3.17 – Функція згладжування зображення

Після цього виконується порогова обробка. Вона дозволяє відокремити об'єкт від фону за допомогою методу Отсу, який автоматично підбирає порогове значення для бінаризації зображення (рис. 3.18).

```
def threshold_image(blurred):
    _, binary = cv2.threshold(
        blurred,
        0,
        255,
        cv2.THRESH_BINARY + cv2.THRESH_OTSU
    )
    return binary
```

Рисунок 3.18 – Реалізація методу Отсу при пороговій обробці

Якщо після порогової обробки кришка відображається чорним кольором, а фон білим, зображення можна інвертувати. Це потрібно для того, щоб об'єкт був білим на чорному фоні, оскільки такий формат зручніший для пошуку контурів. Функція нормалізації зображення представлена на рис. 3.19.

```
def normalize_binary(binary):
    white_pixels = cv2.countNonZero(binary)
    total_pixels = binary.shape[0] * binary.shape[1]

    if white_pixels > total_pixels / 2:
        binary = cv2.bitwise_not(binary)

    return binary
```

Рисунок 3.19 – Інвертування кольорів зображення та фону

Після підготовки бінарного зображення виконується пошук контурів, що представляє межі об'єкта на зображенні. Для аналізу форми пластикової кришки потрібно знайти найбільший контур, оскільки саме він, як правило, відповідає основному об'єкту в області контролю. На рис. 3.20 проілюстровано функцію для знаходження контурів об'єкта (пластикової кришки).

```

def find_main_contour(binary):
    contours, _ = cv2.findContours(
        binary,
        cv2.RETR_EXTERNAL,
        cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE
    )

    if not contours:
        return None

    main_contour = max(contours, key=cv2.contourArea)
    return main_contour

```

Рисунок 3.20 – Функція пошуку контурів пластикової кришки

Після знаходження основного контуру потрібно обчислити його геометричні характеристики. Для цього визначаються площа, периметр, обмежувальний прямокутник і показник округлості. Округлість дозволяє оцінити, наскільки форма об'єкта близька до кола. Для ідеального кола це значення наближається до 1. Функція для обчислення геометричних параметрів кришки наведена на рис. 3.21.

```

def calculate_shape_features(contour):
    area = cv2.contourArea(contour)
    perimeter = cv2.arcLength(contour, True)

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

    if perimeter == 0:
        circularity = 0
    else:
        circularity = (4 * math.pi * area) / (perimeter ** 2)

    return {
        "area": area,
        "perimeter": perimeter,
        "width": w,
        "height": h,
        "aspect_ratio": aspect_ratio,
        "circularity": circularity
    }

```

Рисунок 3.21 – Функція обчислення геометричних параметрів кришки

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Показник `aspect_ratio` використовується для оцінки співвідношення ширини та висоти кришки. Якщо кришка має правильну круглу форму і розташована без значного перекосу, це значення повинно бути близьким до 1. Якщо воно суттєво відрізняється від 1, це може свідчити про овальність або деформацію.

Показник `circularity` використовується для оцінки рівномірності контуру. Якщо край кришки пошкоджений, має виступи, сколи або значні нерівності, округлість зменшується. Функція перевірки форми кришки представлена на рис. 3.22.

```
def check_cap_shape(features):  
    aspect_ratio = features["aspect_ratio"]  
    circularity = features["circularity"]  
    area = features["area"]  
  
    if area < 1000:  
        return "defective", "об'єкт не виявлено або площа занадто мала"  
  
    if aspect_ratio < 0.90 or aspect_ratio > 1.10:  
        return "defective", "деформація форми або овальність"  
  
    if circularity < 0.75:  
        return "defective", "нерівний або пошкоджений контур"  
  
    return "good", None
```

Рисунок 3.22 – Функція перевірки форми кришки

У наведеній на рис. 3.22 функції, використано орієнтовні порогові значення. Однак для практичного застосування їх потрібно налаштувати експериментально. Наприклад, якщо камера розташована під невеликим кутом, співвідношення ширини та висоти може трохи відрізнитися від 1 навіть для якісної кришки. Тому порогові значення мають підбиратися на основі тестових зображень.

Щоб об'єднати всі етапи в одну процедуру, створено функцію `analyze_cap_shape(frame)`. Вона отримує початковий кадр, виконує попередню обробку, знаходить контур і повертає результат аналізу форми.

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Послідовність обробки зображення пластикової кришки та аналізу її форми наведено на рис. 3.23.

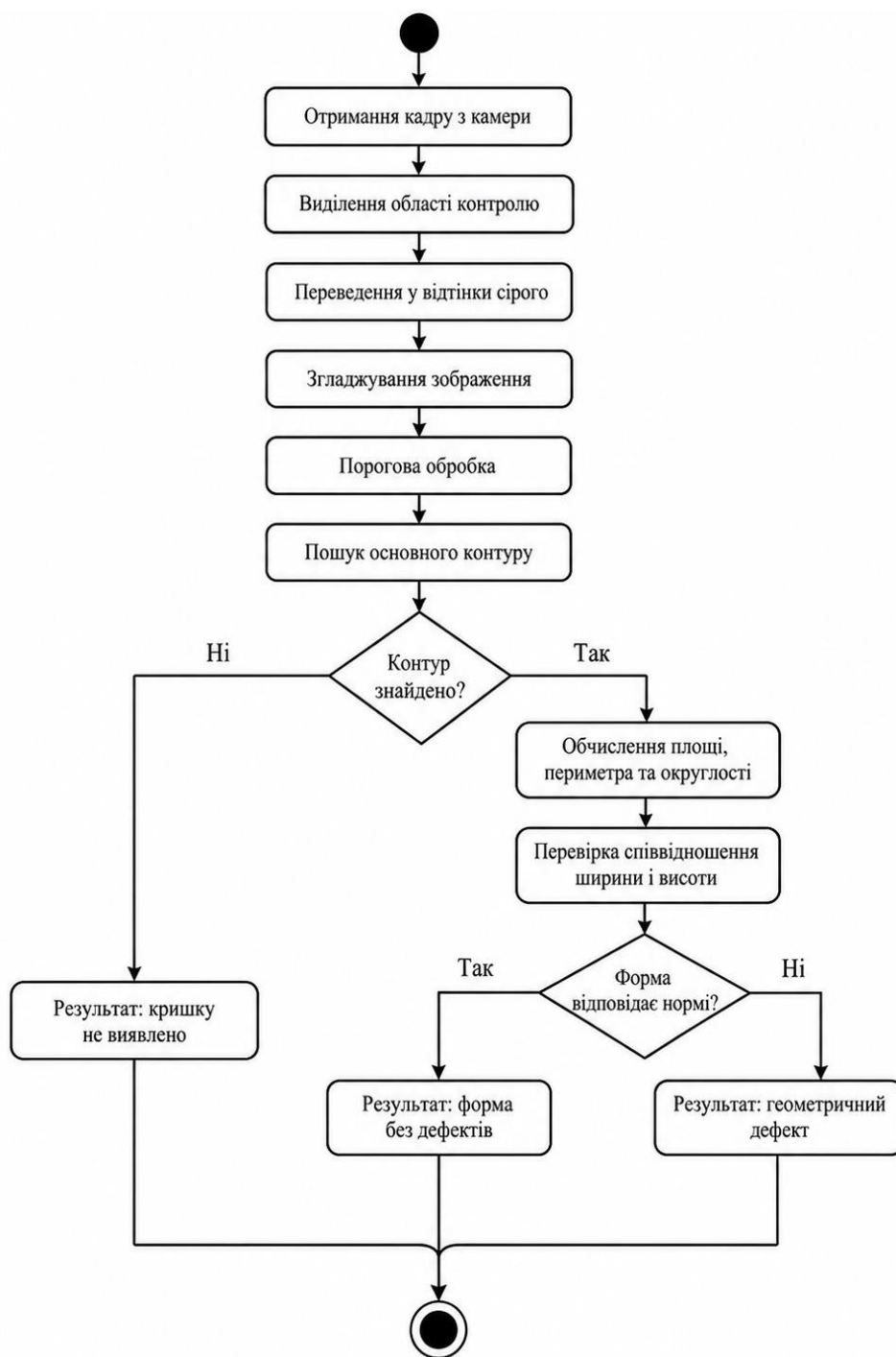


Рисунок 3.23 – Алгоритм попередньої обробки зображення та аналізу форми кришки

У табл. 3.3 представлено основні етапи обробки та аналізу зображення пластикової кришки, одержані з камери.

Таблиця 3.3 – Етапи попередньої обробки та аналізу форми кришки

Етап	Призначення
Отримання кадру	Формування початкового зображення пластикової кришки
Виділення області інтересу	Обмеження аналізу тільки потрібною частиною кадру
Переведення у відтінки сірого	Спрощення подальшої обробки зображення
Згладжування	Зменшення впливу шумів і дрібних випадкових деталей
Порогова обробка	Відокремлення кришки від фону
Пошук контуру	Визначення зовнішньої межі виробу
Обчислення параметрів	Отримання площі, периметра, округлості, ширини та висоти
Прийняття рішення	Визначення наявності деформації або порушення форми

Приклад оцінювання критеріїв якості пластикової кришки представлено на рис. 3.24.

	Початкове зображення	ROI	Відтінки сірого	Розмиття (GaussianBlur)	Порогова обробка (Otsu)	Контур	Результат
Нормальна кришка							форма в нормі
Дефектна кришка (овальність)							овальність або перекіс

Рисунок 3.24 – Процедура та результат виявлення дефектів пластикових кришок

У запропонованій реалізації основними критеріями оцінки форми є площа об'єкта, співвідношення ширини та висоти, а також округлість контуру.

Серед переваг такого підходу можна виділити простоту реалізації. Для аналізу форми не потрібно використовувати складні нейронні мережі або великі

навчальні набори даних. Достатньо отримати якісне зображення, виділити контур і порівняти геометричні параметри з допустимими межами.

Поряд з перевагами варто враховувати і недоліки системи. Точність визначення форми залежить від положення кришки, освітлення, фону та налаштування порогової обробки. Якщо фон за кольором близький до кришки, алгоритму буде складніше виділити її контур. Тому необхідно використовувати контрастний фон і стабільне освітлення контрольної зони.

Отже, програмна реалізація попередньої обробки та аналізу форми пластикової кришки враховує наведені вище критерії її якості і такий підхід дозволяє виявляти деформацію, овальність і нерівність зовнішнього контуру кришки.

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						60
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Менеджмент безпеки

Правове забезпечення безпеки життєдіяльності в Україні орієнтовано на державну політику щодо забезпечення життєдіяльності населення у техногеннобезпечному й екологічному чистому світі [24].

Екологічно чистий світ можливий лише при відсутності загрози з боку природних об'єктів чи при умові недопущення виникнення джерел техногенної безпеки. Із зазначених позицій основне місце посідає законодавство у галузі регулювання відносин з охорони здоров'я людини та навколишнього середовища, безпеки в надзвичайних та повсякденних ситуаціях, тобто безпеки життєдіяльності. Ці відносини регулюються нормативними актами різної юридичної сили: конституцією, законами, урядовими підзаконними актами, галузевими інструкціями вимог і правил безпеки життєдіяльності та відповідними актами місцевих органів влади [24].

Суспільство і держава відповідальні перед сучасним і майбутніми поколіннями за рівень здоров'я і збереження генофонду народу України, забезпечують пріоритетність охорони здоров'я в діяльності держави, поліпшення умов праці, навчання, побуту і відпочинку населення, розв'язання екологічних проблем, вдосконалення медичної допомоги і запровадження здорового способу життя.

Об'єктом управління БЖД є стан умов, параметрів і норм життєдіяльності на визначеній території або об'єкті. Головний напрямок у керуванні БЖД – створення безпечних умов життєдіяльності на всіх стадіях повного циклу функціонування системи "людина – навколишнє середовище".

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Гусак В.О.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив.</i>		Тиш Є.В.					61	
<i>Консульт.</i>		Сенчишин В.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

Ефективне виконання будь-яких завдань організації управління та нагляду за безпекою життєдіяльності базується на безумовному дотриманні відповідних принципів [24]:

- системності, що передбачає застосування єдиних взаємоузгоджених підходів до правового регулювання взаємовідносин у сфері компетенції Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, служби Цивільної оборони;
- плановості, який полягає виключно у плановому порядку створення нормативно-правових актів;
- спадкоємності, який передбачає повне використання раніше напрацьованих матеріалів з вітчизняного та зарубіжного досвіду;
- економічності, який передбачає обов'язкове економічне обґрунтування всіх нормативно-правових актів;
- ієрархічності, який передбачає одночасну узгоджену розробку пакета нормативно-правових актів на державному та місцевому рівнях.

Контроль за дотриманням законодавства щодо безпеки життєдіяльності в Україні здійснюють різні державні та громадські організації. Серед них державні органи загальної, спеціальної та галузевої компетенції. До першої групи органів належать Кабінет Міністрів, виконавчі комітети місцевих рад народних депутатів, місцеві адміністрації.

Управління, контроль та нагляд за безпечною життєдіяльністю в Україні здійснюють:

- Кабінет Міністрів України;
- Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення;
- Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки;
- Державна служба з надзвичайних ситуацій України;
- Державна інспекція ядерного регулювання України;
- Державний департамент пожежної безпеки;
- Заклади санітарно-епідеміологічної служби МОЗ.

Кабінет Міністрів України забезпечує:

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- реалізацію державної політики в галузі охорони праці;
- затверджує національну програму щодо поліпшення стану безпеки, гігієни праці і виробничого середовища;
- визначає функції міністерств, інших центральних органів державної виконавчої влади щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці та нагляду за охороною праці;
- визначає порядок створення і використання державного, галузевих і регіональних фондів охорони праці.

З метою координації діяльності органів державного управління безпекою громадян та охороною праці створюється Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення, яку очолює віце-прем'єр-міністр України.

Національна рада організовує свою діяльність на підставі Положення про національну раду з питань безпечної життєдіяльності населення, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України.

Запобігання виникнення небезпечних та несприятливих умов життєдіяльності передбачає підготовку і реалізацію комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і інших заходів, спрямованих на регулювання умов і параметрів норм життєдіяльності, проведення оцінки рівня ризику, своєчасне реагування на зміну умов життєдіяльності на основі даних моніторингу, експертизи, контролю і прогнозу і недопущення переростання цих змін у небезпечні та несприятливі умови.

Ліквідація негативних наслідків передбачає скоординовані дії всіх структурних органів системи управління БЖД по реалізації заздалегідь розроблених планів, уточнених в умовах конкретного характеру і рівня надзвичайної ситуації з метою виключення загрози здоров'ю і життю людей і надання невідкладної допомоги по-страждалим.

Основні завдання та функції державної системи управління:

- планування робіт;
- розробка, прийняття і відміна нормативних актів;
- професійний відбір;

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- реєстрація і облік;
- експертиза;
- ліцензування та сертифікація;
- управління фондами;
- узгодження і видача дозволів, наукове забезпечення, міжнародне співробітництво;
- забезпечення безпеки обладнання, будівель та споруд;
- забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці, санітарно-побутового обслуговування, лікувально-профілактичного і медичного обслуговування;
- розслідування та облік нещасних випадків, захворювань, аварій;
- пропаганда культури безпеки.

4.2 Характеристика небезпечних зон обладнання та розробка заходів безпеки

Процес експлуатації основного і допоміжного технологічного обладнання передбачає безпосередній тимчасовий або постійний контакт людини з органами контролю і управління обладнання. В цьому просторі людина може потрапляти під дію НШВФ. В техніці безпеки простір, в якому постійно або тимчасово діють небезпечні та шкідливі виробничі фактори, отримав назву небезпечних зон. Небезпечні зони поділяються на постійні і змінні. Постійні характеризуються незмінними розмірами у часі, змінні – змінюють розміри у часі. Засоби захисту небезпечних зон поділяються на колективні і індивідуальні [25].

Колективні засоби захисту небезпечних зон умовно розділяють на: огорожувальні, запобіжні, сигнальні, дистанційного управління.

Огорожувальні засоби бувають стаціонарними, знімними і переносними.

Стаціонарні – постійно закривають доступ до небезпечної зони і демонтуються при огляді, ремонті та обслуговуванні робочих органів обладнання. Це корпуси, кожухи, бар'єри, незнімні огороження тощо.

Знімні – устанавлюються в місцях періодичного доступу до небезпечних зон і знімаються для виконання допоміжних операції (завантаження –

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розвантаження сировини в машинах періодичної дії, зміни інструменту, зміна картриджу тощо). Вони обов'язково блокуються з приводом робочих органів і забезпечують їх зупинку при зміні положення знімного огороження. Блокувальні пристрої бувають механічними, електричними, фотоелектричними, електромеханічними тощо [25].

Переносні огороження встановлюються на час виконання монтажних, ремонтних, будівельних та інших робіт.

Запобіжні пристрої забезпечують захист обладнання у автоматичному режимі від аварій і поломок та пов'язаних з цим вірогідністю травматизму. Запобіжні пристрої в залежності від відновлення працездатності обладнання підрозділяються на:

- з автоматичним включенням (запобіжний клапан, термореле та інші);
- з ручним включенням (електромагнітний вимикач, тепловий захист тощо);
- зі зміною слабкої ланки (штифти, які зрізуються; плавкі вставки; запобіжні мембрани тощо).

Сигнальні пристрої інформують працівників про роботу обладнання і виникаючих при цьому небезпечних і шкідливих виробничих факторах. Інформація буває оперативною, попереджувальною та іншою [25]. Доводиться до працюючих світлом, кольором, знаками, звуком або їх комбінацією. Вони широко застосовуються для контролю різних параметрів: рівня продукту, тиску, температури і вологості середовища, хімічного складу, вібрації, шуму тощо.

Дистанційне управління дозволяє усунути дію на людину вібрації, шуму, теплових випромінювань та інших небезпечних і шкідливих факторів. Воно широко розповсюджено на підприємствах харчової промисловості і в значній мірі поліпшує умови праці людини.

Індивідуальні засоби захисту використовують в тих випадках, коли використання колективних засобів захисту недостатньо або при їх відсутності. До них відносяться: глушники шуму, діелектричні рукавички, окуляри, протигази, хімічний одяг, кольчужні рукавички, каски і широкий клас інших засобів захисту.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основне технологічне і допоміжне обладнання у виробничих приміщеннях розташовується і компонується у відповідності до галузевих норм технологічного проектування та галузевих правил з охорони праці.

Основні вимоги галузевих норм:

- послідовність розташування згідно технологічної схеми;
- максимальне забезпечення безпеки робіт;
- зручність налаштування, обслуговування, ремонту;
- забезпечення максимального значення коефіцієнта природного освітлення (КПО);
- забезпечення нормованих показників мікроклімату робочої зони і виробничих приміщень тощо.

Основні норми ширини проходів при розміщенні обладнання для магістральних (генеральних проходів) не менше 1,5 м; між обладнанням не менше 1,2 м; між стінами виробничих будівель і обладнанням не менше 1,0 м. Вони збільшуються на 0,75 м при однобічному розташуванні працюючих від проходів і не менш ніж на 1,5 м при двобічному розташуванні працюючих від проходів [25]. Ширина проїздів установлюється в залежності від виду транспорту, який використовується, з урахуванням радіуса його повороту. Для ремонту і обслуговування відстань від обладнання до стін повинна бути не менше 0,7 м.

Монтажні прорізи у перекриттях будівель повинні бути передбачені не менш ніж на 1 м більше габаритів змонтованого обладнання.

Основне технологічне та допоміжне обладнання повинно виготовлятися відповідно до наступних ергономічних вимог: антропометричних, психофізіологічних та естетичних. Відповідність антропометричним вимогам визначається економією рухів, виключенням незручних поз, вибором параметрів конструкції з урахуванням антропометричних особливостей людини.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено проектування комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок. Запропоноване рішення орієнтоване на умови конвеєрного виробництва, де важливо швидко виявляти браковані вироби без зупинки технологічного процесу. Основна увага в роботі приділена поєднанню апаратних засобів і програмних алгоритмів, які разом забезпечують автоматизовану перевірку пластикової кришки за її зображенням.

У процесі виконання роботи було встановлено, що пластикові кришки, незважаючи на просту форму, потребують контролю за кількома ознаками. До найбільш важливих належать правильність геометрії, цілісність країв, відсутність тріщин, пошкоджень поверхні та дефектів різьбової частини.

У роботі запропоновано структуру системи, у якій центральним елементом є Raspberry Pi 4 Model B. Цей мікрокомп'ютер обрано тому, що він може одночасно працювати з камерою, датчиками, GPIO-контактами, програмою обробки зображень і локальною базою даних.

Для отримання зображень пластикових кришок запропоновано використати Raspberry Pi Camera Module 3. Камера забезпечує вхідні дані для аналізу форми виробу, його країв і видимих дефектів. Для запуску зйомки у потрібний момент передбачено інфрачервоний датчик перешкоди FC-51. Його використання дозволяє запускати перевірку саме тоді, коли кришка потрапляє в зону контролю, а не обробляти порожній кадр.

Окремим елементом системи є датчик освітленості BH1750. Його включення до складу системи є важливим, оскільки якість зображення напряму залежить від умов освітлення.

Для оперативного повідомлення оператора про виявлення браку у системі передбачено активний зумер. Він забезпечує просту локальну реакцію на дефект без необхідності постійного спостереження за екраном. Такий спосіб сповіщення є достатнім для бакалаврського прототипу та може бути доповнений іншими засобами індикації у майбутньому.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для аналізу форми пластикової кришки розроблено послідовність обробки зображення, яка включає виділення області контролю, перетворення у відтінки сірого, згладжування, порогову обробку методом Отсу, пошук основного контуру та обчислення геометричних параметрів. Як критерії оцінювання використано площу, периметр, співвідношення ширини та висоти, а також округлість контуру.

У роботі також передбачено збереження результатів контролю у базі даних SQLite. До запису можуть входити дата і час перевірки, результат аналізу, тип дефекту, рівень освітленості та шлях до збереженого зображення. Це дає змогу не лише реагувати на окремий випадок браку, а й накопичувати інформацію для подальшого аналізу роботи системи.

Таким чином, у кваліфікаційній роботі розроблено та обґрунтовано структуру комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок та описано її програмну реалізацію. Запропоноване рішення відповідає поставленій меті, оскільки забезпечує автоматизоване отримання зображення виробу, базовий аналіз його форми, сповіщення про дефект і збереження результатів контролю для подальшого використання.

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						68
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
2. Романчук В. М. Вбудовані системи в реальному часі: навч. посіб. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2021. 172 с.
3. Internet of Things: Principles and Paradigms / R. Buyya, A. V. Dastjerdi. Morgan Kaufmann. 2016. 378 p.
4. Пархоменко А.В., Туленков А.В., Гладкова О.М., Залюбовський Я.І. Вбудовані біомедичні системи та бездротові сенсорні мережі : навч. посіб. Запоріжжя : Національний університет «Запорізька політехніка», 2021.
5. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. 4th ed. New York : Pearson, 2018. 1192 p.
6. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. Sebastopol : O'Reilly Media, 2008. 580 p.
7. Hulagadri A.V. Quality Classification of Defective Parts from Injection Moulding. arXiv, 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2008.02872> (дата звернення: 30.05.2026 р.).
8. OpenCV. Structural Analysis and Shape Descriptors. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d3/dc0/group__imgproc__shape.html (дата звернення: 30.05.2026 р.).
9. OpenCV. Finding contours in your image. URL: https://docs.opencv.org/4.x/df/d0d/tutorial_find_contours.html (дата звернення: 01.06.2026 р.).
10. OpenCV. Image Filtering. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d4/d86/group__imgproc__filter.html (дата звернення: 01.06.2026 р.).
11. Volodymyr Hutsaylyuk, Vladyslav Demchyk, Oleh Yasniy, Nadiia Lutsyk, Andrii Fiialka. The modelling of NiTi shape memory alloy functional properties by machine learning methods. Applied Computer Science. (ACS), Volume 21, Issue 4, 2025. P.127-135 https://doi.org/10.35784/acs_7986

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

12. Tysh Ie. Approach And Method Of Evaluation Of The General Reliability Indicator Of Computer Systems. International Scientific Journal Computer Systems And Information Technologies. Khmelnytskyi : Khmelnytskyi National University №3. 2021.P.74-80.

13. Тиш Є.В. Узагальнений алгоритм синтезу компонентів комп'ютерних систем на основі мікропрограмних автоматів. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Том 36 (75), № 1, 2025. С. 247-253.

14. Кондратюк Р., Тиш Є. Машинний зір: сутність технології, принципи роботи та сфери застосування. XIII науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопіль: ТНТУ. 2025. С.120.

15. Raspberry Pi Foundation. GPIO on Raspberry Pi. URL: <https://github.com/raspberrypi/documentation/blob/master/documentation/asciidoc/computers/raspberry-pi/gpio-on-raspberry-pi.adoc> (дата звернення: 07.06.2026 р.).

16. Rohm Semiconductor. BH1750FVI: Digital 16-bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC. Product Datasheet. URL: <https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/datasheet/ic/sensor/light/bh1750fvi-e.pdf> (дата звернення: 08.06.2026 р.).

17. Python Software Foundation. Python 3 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3/> (дата звернення: 08.06.2026 р.).

18. Python Software Foundation. sqlite3 — DB-API 2.0 interface for SQLite databases. URL: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html> (дата звернення: 10.06.2026 р.).

19. SQLite Consortium. SQLite Documentation. URL: <https://sqlite.org/docs.html> (дата звернення: 10.06.2026 р.).

20. SQLite Consortium. About SQLite. URL: <https://www.sqlite.org/about.html> (дата звернення: 10.06.2026 р.).

21. Introduction — smbus2 documentation. URL: <https://smbus2.readthedocs.io/en/latest/introduction.html> (дата звернення: 11.06.2026 р.).

22. Lutz M. Learning Python. 5th ed. Sebastopol : O'Reilly Media, 2013. 1648 p.

					КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для розроблені у відповідності з освітньою програмою «Комп'ютерна інженерія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 «Інформаційні технології». Тернопіль, ТНТУ. 2024. 39 с.

24. Катренко Л.А., Катренко А.В. Охорона праці в галузі комп'ютерингу. Львів: Магнолія-2006. 2012. 544 с.

25. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 20 с.

					<i>КС КРБ 123.158.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 02 ” лютого _____ 2026 р

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСТИКОВИХ КРИШОК

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 13 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

_____ к.т.н., доц. Тиш Є.В.

_____ Гусак В.О.

« 02 » лютого _____ 2026 р.

« 02 » лютого _____ 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система контролю якості виготовлення пластикових кришок».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.158.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Гусак Вадим Олександрович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/9-188 від 24.04.2026 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система контролю якості виготовлення пластикових кришок розробляється як апаратно-програмне рішення для автоматизованого виявлення дефектів пластикових кришок на конвеєрній лінії. Система призначена для отримання зображення виробу, його програмної обробки, аналізу форми кришки та формування повідомлення у разі виявлення браку.

Система повинна забезпечувати контроль якості пластикових кришок без постійної участі оператора. Основними дефектами, які можуть бути виявлені під час перевірки, є деформація форми, овальність, нерівні краї, тріщини, пошкодження поверхні та дефекти різьбової частини.

Для роботи системи передбачається використання камери, вбудованого контролера Raspberry Pi 4 Model B, інфрачервоного датчика перешкоди, датчика освітленості, зумера та бази даних SQLite. Камера отримує зображення пластикової кришки, датчик перешкоди визначає момент появи виробу у зоні контролю, датчик

освітленості контролює умови зйомки, а зумер повідомляє оператора про виявлення дефекту.

Система призначена для підвищення стабільності контролю якості та зменшення впливу людського фактора. Вона може використовуватися як навчальний прототип комп'ютеризованої системи технічного зору для контролю пластикових виробів.

2.2 Мета створення системи

Метою створення комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок є розроблення доступного апаратно-програмного рішення, яке забезпечує автоматизовану перевірку пластикових кришок за зображенням, виявлення ознак дефектів, сповіщення оператора та збереження результатів контролю.

Досягнення мети роботи можливе шляхом розв'язання таких задач:

- проведення аналізу процесу виготовлення пластикових кришок;
- визначення типових дефектів пластикових кришок;
- аналіз методів контролю якості продукції на конвеєрних лініях;
- формування вимог до комп'ютерної системи контролю якості;
- розроблення загальної структури системи;
- обґрунтування вибору Raspberry Pi 4 Model B як центрального контролера;
- вибір камери для отримання зображень пластикових кришок;
- обґрунтування використання інфрачервоного датчика перешкоди;
- обґрунтування використання датчика освітленості BH1750;
- розроблення схеми підключення апаратних компонентів;
- розроблення алгоритму роботи програмного забезпечення;
- реалізація взаємодії з камерою, датчиками, зумером і базою даних;
- реалізація попередньої обробки зображення та аналізу форми кришки;
- збереження результатів контролю у базі даних SQLite.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом проектування є комп'ютерна система контролю якості пластикових кришок, яка виконує автоматизовану перевірку виробів за допомогою камери, датчиків, вбудованого контролера та програмних алгоритмів обробки зображень.

Система складається з апаратної та програмної частин. Апаратна частина забезпечує отримання інформації із зони контролю та взаємодію з периферійними пристроями. Програмна частина виконує обробку зображення, аналіз геометричних параметрів кришки, формування результату перевірки та запис даних у базу.

До складу апаратної частини системи входять Raspberry Pi 4 Model B, Raspberry Pi Camera Module 3, інфрачервоний датчик перешкоди FC-51, датчик освітленості BH1750, активний зумер, карта microSD, джерело живлення та з'єднувальні провідники.

Raspberry Pi 4 Model B виконує роль центрального вузла системи. Він отримує сигнал від інфрачервоного датчика, запускає отримання зображення з камери, зчитує рівень освітленості, виконує програмну обробку кадру, керує зумером та записує результати у базу даних SQLite.

Камера використовується для отримання зображення пластикової кришки. Інфрачервоний датчик визначає момент появи виробу у зоні контролю. Датчик освітленості використовується для оцінки умов зйомки. Зумер подає звуковий сигнал у разі виявлення дефекту.

Програмна частина системи реалізується мовою Python із використанням бібліотек Picamera2, RPi.GPIO, smbus2, OpenCV та sqlite3.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Основними функціональними вимогами до системи є:

- автоматичне виявлення появи кришки у зоні контролю;
- отримання зображення пластикової кришки за допомогою камери;
- зчитування рівня освітленості;
- виконання попередньої обробки зображення;
- виділення області контролю;
- пошук основного контуру кришки;
- обчислення геометричних параметрів виробу;
- визначення ознак деформації або порушення форми;
- формування результату перевірки;
- подача звукового сигналу при виявленні браку;
- збереження результатів контролю у базі даних SQLite;
- збереження зображень пластикових кришок у файл.
- ініціалізацію GPIO-контактів Raspberry Pi 4;
- налаштування камери Raspberry Pi Camera Module 3;
- зчитування сигналу з інфрачервоного датчика;
- зчитування значення освітленості через I2C;
- отримання кадру з камери;
- обробку зображення засобами OpenCV;
- запис результатів у таблицю бази даних;
- коректне завершення роботи програми.
- система повинна мати зрозумілу модульну структуру;
- програмний код повинен бути придатним для тестування;
- компоненти системи повинні бути доступними для реалізації навчального прототипу;
- система повинна працювати локально без обов'язкового підключення до віддаленого сервера;
- результати контролю повинні зберігатися у структурованому вигляді;
- система повинна забезпечувати стабільну роботу за умови правильного освітлення та фіксованого положення камери.

3.1.1 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

У системі необхідно передбачити взаємодію між Raspberry Pi 4, камерою, інфрачервоним датчиком, датчиком освітленості, зумером і базою даних.

Основним пристроєм, який забезпечує обмін даними між компонентами, є Raspberry Pi 4 Model B. До нього підключаються всі апаратні модулі системи.

Взаємодія між компонентами повинна виконуватися такими способами:

- камера Raspberry Pi Camera Module 3 підключається через CSI-інтерфейс;
- інфрачервоний датчик перешкоди підключається до GPIO-входу Raspberry Pi;
- датчик освітленості BH1750 підключається через інтерфейс I2C;
- активний зумер підключається до GPIO-виходу;
- база даних SQLite зберігається у файловій системі на карті microSD.

Для інфрачервоного датчика може використовуватися GPIO17. Для керування зумером може використовуватися GPIO18. Для датчика BH1750 використовуються стандартні контакти I2C: GPIO2 для SDA та GPIO3 для SCL.

Під час підключення компонентів необхідно враховувати, що GPIO-контакти Raspberry Pi працюють із логічним рівнем 3,3 В. Подавання на них 5-вольтового сигналу без узгодження рівнів не допускається.

3.1.2 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностування системи повинно передбачати перевірку працездатності основних апаратних і програмних компонентів.

Під час запуску системи повинні перевірятися:

- доступність камери Raspberry Pi Camera Module 3;
- правильність налаштування GPIO-контактів;
- спрацювання інфрачервоного датчика;
- зчитування рівня освітленості з BH1750;
- можливість активації зумера;
- наявність каталогу для збереження зображень;
- можливість створення або відкриття бази даних SQLite;

– можливість запису результатів у таблицю бази даних.

У разі помилки система повинна виводити повідомлення, яке дозволяє визначити причину несправності. Наприклад, якщо камера недоступна, програма повинна повідомити про неможливість отримання зображення. Якщо датчик освітленості не відповідає на I2C-запит, система повинна повідомити про проблему з підключенням або адресою датчика.

До діагностичних заходів також належить перевірка фізичних з'єднань між Raspberry Pi 4 та периферійними модулями, зокрема ліній живлення, GND, GPIO, SDA та SCL.

3.1.3 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективи розвитку системи пов'язані з підвищенням точності контролю якості та розширенням її функціональних можливостей.

Одним із напрямів модернізації є додавання алгоритмів виявлення тріщин, подряпин, пошкоджень поверхні та дефектів різьбової частини. У базовому варіанті система орієнтована переважно на аналіз форми та зовнішнього контуру кришки, однак у майбутньому її можна доповнити складнішими методами аналізу зображень.

Іншим напрямом розвитку є використання додаткової камери для контролю внутрішньої частини кришки та різьби. Це дозволить отримувати більше інформації про стан виробу та підвищити точність виявлення дефектів.

Система також може бути доповнена механізмом автоматичного відбракування. У такому випадку після виявлення дефектної кришки система не лише подаватиме звуковий сигнал, а й активуватиме виконавчий механізм для відокремлення браку від якісної продукції.

Додатковим напрямом модернізації є створення вебінтерфейсу оператора для перегляду результатів контролю, статистики дефектів і збережених зображень.

3.1.4 Вимоги до надійності системи

Комп'ютерна система контролю якості пластикових кришок повинна забезпечувати стабільне виконання основних функцій під час багаторазової перевірки виробів.

Надійність системи повинна забезпечуватися як на апаратному, так і на програмному рівнях. Raspberry Pi 4 повинен мати стабільне джерело живлення. Для тривалої роботи доцільно передбачити охолодження плати, оскільки під час обробки зображень процесор може працювати з підвищеним навантаженням.

Програмне забезпечення повинно передбачати обробку помилок. Якщо камера недоступна, датчик не відповідає або база даних не відкривається, програма повинна повідомити про помилку.

Система повинна забезпечувати:

- стабільне отримання сигналу від інфрачервоного датчика;
- стабільне отримання зображення з камери;
- коректне зчитування рівня освітленості;
- правильне формування звукового сигналу;
- збереження результатів контролю у базі даних;
- захист GPIO-контактів від перевищення допустимого рівня напруги;
- можливість повторного запуску програми після помилки або зупинки.

3.1.5 Вимоги до функцій системи

Комп'ютерна система контролю якості пластикових кришок повинна забезпечувати повний цикл роботи: від появи виробу у зоні контролю до запису результату перевірки у базу даних.

До основних функцій системи належать:

- очікування появи пластикової кришки у зоні контролю;
- фіксація кришки інфрачервоним датчиком;
- запуск процесу отримання зображення;
- зчитування рівня освітленості;

- попередня обробка зображення;
- виділення області контролю;
- пошук контуру пластикової кришки;
- обчислення геометричних параметрів;
- визначення наявності ознак деформації;
- формування результату перевірки;
- подача звукового сигналу у разі виявлення браку;
- збереження результату у базі даних SQLite;
- збереження зображення кришки у файл.

Raspberry Pi 4 повинен виконувати такі задачі:

- отримувати сигнал від інфрачервоного датчика;
- керувати процесом зйомки;
- отримувати зображення з камери;
- зчитувати значення з датчика BH1750;
- виконувати програмну обробку зображення;
- керувати зумером;
- записувати результати в SQLite;
- забезпечувати циклічну роботу системи.

3.1.6 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення системи повинно бути доступним, сумісним між собою та достатнім для реалізації навчального прототипу.

Основними апаратними компонентами системи повинні бути:

- Raspberry Pi 4 Model B;
- Raspberry Pi Camera Module 3;
- інфрачервоний датчик перешкоди FC-51;
- датчик освітленості BH1750;
- активний зумер 3,3–5 В;
- карта microSD;

- джерело живлення для Raspberry Pi 4;
- з'єднувальні провідники;
- макетна плата або монтажна основа;
- кріплення для камери;
- джерело стабільного освітлення зони контролю.

Камера повинна забезпечувати чітке зображення пластикової кришки в зоні контролю. Датчики повинні бути розміщені так, щоб їхні покази відповідали реальним умовам роботи системи.

3.1.7 Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення системи повинно бути реалізоване мовою Python і мати модульну структуру. Для реалізації програмного забезпечення повинні використовуватися:

- Raspberry Pi OS як операційна система;
- Python як основна мова програмування;
- Picamera2 для роботи з камерою;
- RPi.GPIO для взаємодії з GPIO-контактами;
- smbus2 для роботи з I2C та датчиком BH1750;
- OpenCV для обробки зображень;
- sqlite3 для роботи з базою даних SQLite.

Програма повинна забезпечувати циклічну роботу системи. Після завершення перевірки одного виробу система повинна повертатися до режиму очікування наступної кришки.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;

– графічного матеріалу:

1 Процес виготовлення пластикових кришок.

2 Архітектура комп'ютерної системи контролю якості виготовлення пластикових кришок.

3 Схема підключення компонентів системи контролю якості виготовлення пластикових.

4 Алгоритм роботи системи контролю якості виготовлення пластикових кришок.

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Робота над першим розділом «Аналіз процесу та вимог до якості виготовлення пластикових кришок»	03.02 – 15.02
3	Робота над другим розділом «Проектування системи контролю якості виготовлення пластикових кришок»	20.04 – 25.04
4	Робота над третім розділом «Алгоритми та їх програмна реалізація при контролі якості виготовлення пластикових кришок»	26.04 – 05.05
5	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 7.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06 – 14.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	26.06.2026

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

