

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна система автоматизованого сортування товарів
на основі розпізнавання їх кольору*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Лігус Я.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тили Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Стоянов Ю.М.

(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)

«24» 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 Лігусу Ярославу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Керівник роботи Луцик Надія Степанівна, PhD, 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 Технічне завдання

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

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

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

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання системи

АНОТАЦІЯ

Лігус Я.О. Комп'ютерна система автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору : робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: IoT-технології, автоматизоване сортування, комп'ютерна система, розпізнавання кольору, мікроконтролер, сенсори кольору, вбудована система.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору з використанням IoT-технологій. Метою роботи є проєктування та реалізація апаратно-програмного комплексу, що забезпечує автоматичне сортування товарів і можливість дистанційного моніторингу результатів його роботи.

У першому розділі виконано аналіз технічного завдання, сформульовано основні вимоги до системи, а також проведено огляд існуючих аналогів автоматизованих систем сортування. На основі порівняльного аналізу визначено переваги та недоліки відомих рішень і обґрунтовано доцільність розробки власної системи.

Другий розділ присвячено проєктуванню апаратного забезпечення. Розроблено структурну схему системи та електричну принципову схему, а також виконано обґрунтування вибору елементної бази, зокрема мікроконтролера, сенсора кольору та виконавчих механізмів.

У третьому розділі розроблено алгоритм роботи системи та створено програмне забезпечення для мікроконтролера. Здійснено інтеграцію з IoT-платформою для передавання даних і моніторингу стану системи в режимі реального часу. Проведено тестування розробленої системи та проаналізовано отримані результати.

ANNOTATION

Lihus Y.O. Computer System for Automated Product Sorting Based on Color Recognition. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: IoT technologies, automated sorting, computer system, color recognition, microcontroller, color sensors, embedded system.

The qualification work is devoted to the development of a computer system for automated product sorting based on color recognition. The aim of the work is to design and implement a hardware and software complex that provides automatic sorting of products and enables remote monitoring of system operation.

In the first chapter, the technical task is analyzed, and the main requirements for the system are formulated. An overview of existing automated sorting systems is conducted, and their advantages and disadvantages are analyzed. Based on the comparative analysis, the feasibility of developing the proposed system is justified.

The second chapter focuses on the design of the hardware component. A structural diagram and an electrical schematic diagram of the system are developed. The selection of the element base, including the microcontroller, color sensor, and actuators, is substantiated.

The third chapter describes the development of the system algorithm and the implementation of the software for the microcontroller. Integration with an IoT platform is performed to ensure data transmission and real-time monitoring of the system status. Testing of the developed system is carried out, and the obtained results are analyzed.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору	10
1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору	11
1.3 Огляд існуючих засобів для автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору	13
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Структура комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору	19
2.2 Розроблення апаратного забезпечення системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору	21
2.2.1 Мікроконтролерний модуль NodeMCU	21
2.2.2 Давач кольору RGB TCS34725	24
2.2.3 Давач перешкоди YL-63	26
2.2.4 Сервопривід SG90	29
2.2.5 LCD дисплей.....	31
2.3 Електрична принципова схема системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору	33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	36
3.1 Алгоритм роботи системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору	36
3.2 Розроблення програмного забезпечення.....	39

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Лігус Я.О.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Луцик Н.С.</i>			5	76	
<i>Рецензент</i>		<i>Стоянов Ю.М.</i>			<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					
					<i>Комп'ютерна система автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору</i>		

3.2.1 Реалізація основного циклу обробки, ідентифікації кольору та IoT-взаємодії	39
3.2.2 Функція класифікації кольору об'єктів з розширеним набором ознак	40
3.2.3 Реалізація керування механізмом сортування об'єктів за кольором.....	42
3.2.4 Реалізація передачі статистичних даних на хмарну IoT-платформу ThingSpeak.....	44
3.2.5 Реалізація відображення результатів сортування на LCD-дисплеї.....	45
3.3 Налаштування хмарної IoT платформи ThingSpeak	46
3.4 Моделювання та тестування системи	48
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	52
4.1 Долікарська допомога при отруєннях	52
4.2 Вимоги до виробничого освітлення та його нормування	54
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

I2C – Inter-Integrated Circuit

IoT – Internet of Things

LCD – Liquid Crystal Display

RGB – Red Green Blue

АП – аналоговий порт

ДК – давач кольору

ІЧД – інфрачервоний давач

МКМ – мікроконтролерний модуль

САСТ – система автоматизованого сортування товарів

СП – сервопривід

ХП – хмарна платформа

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні виробничі процеси дедалі більше орієнтуються на автоматизацію, підвищення продуктивності та зменшення впливу людського фактора. Одним із важливих етапів у багатьох галузях промисловості є сортування товарів за визначеними ознаками, зокрема за кольором. Традиційні методи ручного або напівавтоматичного сортування характеризуються низькою швидкістю, обмеженою точністю та високими експлуатаційними витратами, що зумовлює потребу в застосуванні автоматизованих рішень.

Розвиток вбудованих систем, сенсорних технологій і мережевих рішень на основі Інтернету речей (ІоТ) створює передумови для побудови комп'ютерних систем сортування з можливістю дистанційного контролю, збору та аналізу даних у реальному часі. Використання ІоТ-технологій дає змогу не лише автоматизувати процес сортування товарів, але й підвищити гнучкість системи, її масштабованість та інтеграцію з сучасними інформаційними платформами. Актуальною є задача розроблення системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору з використанням ІоТ-технологій, яка поєднує апаратні засоби, програмне забезпечення та хмарні сервіси для забезпечення ефективної, надійної та керованої роботи.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів за кольором з використанням ІоТ-технологій, що забезпечує автоматичне прийняття рішень, керування виконавчими механізмами та можливість дистанційного моніторингу роботи системи.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати технічне завдання та сформулювати вимоги до комп'ютерної системи автоматизованого сортування;
- виконати огляд та аналіз існуючих аналогів систем сортування товарів;
- розробити структурну схему комп'ютерної системи;
- розробити електричну принципову схему та обґрунтувати вибір елементної бази;

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити алгоритм функціонування системи автоматизованого сортування;
- створити програмне забезпечення для мікроконтролера;
- виконати інтеграцію системи з IoT-платформою для передавання та візуалізації даних;
- провести тестування розробленої системи.

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання кольору знаходять широке застосування в різних галузях промисловості та сервісної діяльності, де важливими є швидкість обробки об'єктів, точність класифікації та мінімізація участі людини в технологічному процесі. Використання таких систем дає змогу автоматизувати рутинні операції, знизити виробничі витрати та підвищити ефективність функціонування підприємств.

Однією з основних сфер застосування комп'ютерних систем сортування є промислове виробництво. У харчовій, фармацевтичній, електронній та легкій промисловості сортування товарів за кольором використовується для контролю якості, класифікації продукції та підготовки її до пакування. Наприклад, у харчовій промисловості такі системи застосовуються для відбракування продукції з відхиленнями кольору, що може свідчити про порушення технологічного процесу або низьку якість сировини. У виробництві електронних компонентів сортування за кольором маркування дозволяє автоматизувати логістичні операції та зменшити ймовірність помилок.

Важливою сферою застосування є складська логістика та автоматизовані системи зберігання. У таких умовах сортування об'єктів за кольоровими мітками може використовуватися для ідентифікації типів продукції, напрямків транспортування або пріоритетів обробки. Комп'ютерні системи сортування, інтегровані з IoT-платформами, забезпечують централізований моніторинг стану обладнання, облік кількості оброблених товарів та аналіз ефективності логістичних процесів у реальному часі.

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Лігус Я.О.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					<i>10</i>	<i>9</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Стоянов Ю.М.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

Системи розпізнавання кольору також знаходять застосування в галузі переробки та сортування відходів. Автоматизоване сортування пластикових, скляних або інших товарів за кольором дає змогу підвищити якість вторинної сировини та оптимізувати процеси переробки. Застосування комп'ютерних систем у цій сфері сприяє зменшенню ручної праці, підвищенню безпеки персоналу та покращенню екологічних показників виробництва.

Окрему увагу слід приділити застосуванню таких систем у навчальних і дослідницьких цілях. Комп'ютерні системи автоматизованого сортування є ефективним засобом для вивчення принципів побудови вбудованих систем, алгоритмів обробки сенсорних даних, мікроконтролерного програмування та технологій Інтернету речей. Використання подібних систем у навчальних лабораторіях дозволяє студентам отримати практичні навички з проектування апаратно-програмних комплексів та інтеграції їх із хмарними сервісами.

У сфері малого і середнього бізнесу комп'ютерні системи сортування можуть застосовуватися як гнучкі та відносно недорогі рішення для автоматизації окремих етапів виробничого процесу. Завдяки використанню IoT-технологій такі системи можуть легко адаптуватися до змін виробничих умов, а також забезпечувати віддалений контроль та керування, що є особливо актуальним для розподілених або мобільних виробничих ліній.

Загалом, системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання кольору є універсальними та перспективними рішеннями. Їх впровадження сприяє підвищенню автоматизації, якості продукції та ефективності управління процесами. Це підтверджує доцільність розробки такої системи в межах даної кваліфікаційної роботи.

1.2 Аналіз вимог до комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Вимоги до комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору формуються на основі аналізу технічного завдання, умов експлуатації системи та особливостей об'єкта автоматизації.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передусім система повинна відповідати функціональним вимогам, які передбачають автоматичне виявлення товарів, визначення їх кольорових характеристик і виконання сортування без участі оператора. Процес розпізнавання кольору має бути стабільним і відтворюваним, що вимагає використання відповідних сенсорів та алгоритмів обробки даних. Система має забезпечувати коректну роботу в реальному часі та підтримувати задану продуктивність відповідно до швидкості переміщення товарів.

Важливою групою є вимоги до апаратного забезпечення. Мікроконтролер, що використовується в системі, повинен мати достатні обчислювальні ресурси для обробки даних від сенсорів, керування виконавчими механізмами та реалізації мережевої взаємодії. Апаратні компоненти мають бути сумісними між собою, енергоефективними та доступними для використання в навчальних або експериментальних умовах.

Окрему увагу слід приділити вимогам до ПЗ. Програмна частина системи повинна мати модульну структуру, що спрощує налагодження, тестування та подальшу модернізацію. Алгоритми керування мають бути оптимізованими для роботи на мікроконтролерних платформах та забезпечувати коректну обробку помилкових або нестандартних ситуацій.

Суттєвими є також вимоги до мережевої взаємодії та використання IoT-технологій. Система повинна забезпечувати надійне передавання даних на IoT-платформу за допомогою бездротового зв'язку, підтримувати віддалений моніторинг стану та візуалізацію результатів сортування. Це передбачає використання стандартних протоколів обміну даними та захисту інформації.

Крім того, до комп'ютерної системи висуваються вимоги щодо надійності та масштабованості. Система повинна стабільно функціонувати протягом тривалого часу, бути стійкою до збоїв і мати можливість розширення функціональних можливостей без істотної зміни базової архітектури. Сукупність проаналізованих вимог формує основу для подальшого проектування та реалізації комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Огляд існуючих засобів для автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Сучасний ринок автоматизованих систем сортування пропонує широкий спектр рішень, що застосовуються у промисловому виробництві, переробці сировини, харчовій промисловості, логістиці та інших галузях для розподілу об'єктів згідно з їх характеристиками. Багато з цих систем базуються на оптичному розпізнаванні кольору за допомогою камер та давачів, у поєднанні з алгоритмами аналізу зображення і виконавчими механізмами для автоматичного розподілу товарів. Серед промислових рішень варто виокремити великогабаритні оптичні сортувальники, AI-системи сортування на конвеєрі та інтегровані комплекси сортування для різних типів продуктів і матеріалів.

Промислові оптичні сортувальні машини, наприклад, представлені широким рядом обладнання від MSW Technology Group, що використовує високошвидкісні камери та AI-алгоритми для сортування сировини на конвеєрі з пропускною спроможністю до кількох тонн на годину та високою точністю (понад 99,5 %) обробки кольорових відмінностей [1]. Такі рішення орієнтовані на крупномасштабні процеси виробництва, де продукція подається безперервним потоком і потребує міні- та макросортування за спектральними критеріями, часто в поєднанні з іншими параметрами (рис. 1.1).

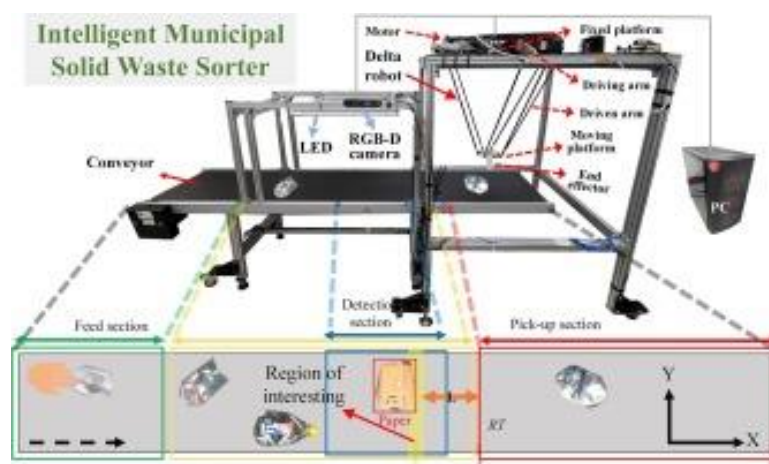


Рисунок 1.1 – Промислова оптична сортувальна машина побутових відходів для вторинної сировини

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також на ринку представлені оптичні фотосепаратори [2], зокрема моделі серій «КС» та «GLOBAL», які зазвичай застосовуються у переробці сільськогосподарської продукції (зерно, горіхи, бобові) та у сортуванні вторсировини за кольором і формою за допомогою CCD-камер і повітряних ежекторів (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Оптичний сепаратор для сортування горіха

Такі машини є продуктивними для великих підприємств, але їх використання обмежене сферою крупного сортування (сільське господарство, харчова промисловість). Існуючі оптичні системи зазвичай забезпечують високу пропускну здатність, але мають складну конструкцію, значну енергоспоживаність і потребують дорогого технічного обслуговування.

Для окремих сегментів також доступні ядра інтегрованих систем оптичного сортування (рис. 1.3), які включають більше спектральних технологій (наприклад, NIR-давачі разом із видимим світлом), що дає змогу розпізнавати дефекти, сторонні частки та навіть ступені дозрівання продуктів [3]. Проте такі системи часто мають обмежену гнучкість для налаштування під специфічні нестандартні вироби (нерегулярні форми, невеликі об'єкти), а також вимагають додаткової експертизи та ресурсів для інтеграції.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Оптична сортувальна машина Rainbow

Якщо розглядати промислові великі сортувальні комплекси, то вони зазвичай побудовані навколо складних ліній із численними відео/оптичними блоками, PLC-керуванням, роботизованими маніпуляторами та мережевим програмним забезпеченням. Такі рішення, як правило, значно складніші, орієнтовані на масштабні виробничі процеси, і не завжди є доступними чи виправданими для малих виробництв чи лабораторних застосувань, оскільки вимагають значних капіталовкладень у середовище автоматизації.

Крім того, існують ERP-інтегровані сортувальні комплекси, які працюють спільно з WMS/ERP-системами та оптимізують логістичні процеси шляхом автоматичного перенаправлення товарів між сегментами складу чи виробничої лінії, проте вони орієнтовані більше на ідентифікацію штрих-/QR-кодів, RFID-міток та інших цифрових ідентифікаторів, ніж на колірну класифікацію. Такі рішення значно розширюють сферу застосування автоматизації, але не вирішують безпосередніх задач розпізнавання кольору для сортування.

Аналіз існуючих засобів показує, що сучасні промислові системи сортування на основі розпізнавання кольору мають певні суттєві недоліки, що обмежують їх застосування в освітніх, дослідницьких чи малих виробничих проєктах. Перш за все, вони надмірно складні та дорогі, що робить їх недоступними для невеликих

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємств або лабораторних умов; більшість моделей вимагають значних витрат на впровадження, навчання персоналу та технічне обслуговування. Другий недолік – обмежена гнучкість для адаптації під специфічні, нестандартні задачі, де продукція має різні форми, розміри або кольорові спектри, що виходять за межі стандартних профілів. Крім того, багато систем потребують обмеженого спектрального діапазону або фіксованих алгоритмів розпізнавання, що знижує точність при складних або неоднорідних матеріалах.

Ще однією проблемою є обмежена інтегрованість з IoT-сервісами для віддаленого моніторингу та аналітики у реальному часі: хоча деякі сучасні комплекси пропонують мережеві інтерфейси, їх інтеграція здійснюється зазвичай через складні промислові протоколи та програмні платформи, що потребує спеціальних навичок. Крім того, надлишкова продуктивність і швидкість сортування для малих задач може призводити до зниження точності класифікації дрібних або швидкоплинних об'єктів та високих енергетичних витрат.

Загалом, огляд сучасних засобів автоматичного сортування за кольором підтверджує наявність потужних і ефективних рішень у масштабних промислових застосуваннях, але одночасно виявляє значні обмеження цих рішень щодо доступності, гнучкості, легкості інтеграції із IoT-середовищем та точності у задачах меншої складності – що обґрунтовує потребу в розробці доступної, адаптованої та IoT-сумісної системи для автоматизованого сортування товарів у межах даної кваліфікаційної роботи.

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Розв'язання задачі автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору може бути реалізоване з використанням різних технічних підходів, які відрізняються рівнем складності, вартістю, гнучкістю та можливостями подальшої модернізації. Вибір оптимального рішення повинен базуватися на вимогах технічного завдання, умовах експлуатації системи та доцільності застосування певних апаратно-програмних засобів.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із можливих рішень є використання промислових систем оптичного сортування, що базуються на високошвидкісних камерах і спеціалізованих контролерах. Такі системи забезпечують високу точність і продуктивність, проте їх застосування є доцільним переважно у великомасштабних виробничих процесах. Основними недоліками цього підходу є висока вартість обладнання, складність налаштування та обмежена адаптивність до нестандартних умов або малих обсягів виробництва. Крім того, інтеграція промислових рішень із хмарними IoT-платформами часто потребує використання спеціалізованого ПЗ.

Іншим підходом є застосування систем машинного зору на базі персональних комп'ютерів або одноплатних комп'ютерів, таких як Raspberry Pi, у поєднанні з цифровими камерами. У цьому випадку розпізнавання кольору виконується шляхом обробки зображень із використанням бібліотек комп'ютерного зору. Перевагами такого рішення є гнучкість алгоритмів і можливість розширення функціоналу. Водночас даний підхід має підвищені вимоги до обчислювальних ресурсів, енергоспоживання та складності програмної реалізації, що може бути недоцільним для простих задач сортування за обмеженою кількістю кольорів.

Доступнішим і енергоефективнішим варіантом є використання мікроконтролерних платформ у поєднанні з сенсорами кольору. Такі рішення дозволяють реалізувати компактну систему з мінімальними витратами, достатню для сортування товарів за заздалегідь визначеними кольоровими категоріями. Основними перевагами цього підходу є простота апаратної реалізації, низьке енергоспоживання та можливість інтеграції бездротових модулів для реалізації IoT-функцій. Обмеженням є менша гнучкість у порівнянні з повноцінними системами машинного зору, однак для поставленого завдання такі можливості є достатніми.

Окрему увагу слід приділити способам інтеграції системи з IoT-платформами. Можливими рішеннями є використання відкритих хмарних сервісів, що забезпечують зберігання даних, візуалізацію та віддалений доступ до параметрів системи. Такий підхід дозволяє реалізувати моніторинг роботи системи

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в реальному часі та підвищити зручність експлуатації. Водночас необхідно враховувати вимоги до стабільності мережевого з'єднання та безпеки передавання даних.

Отже, для реалізації поставленого завдання найоптимальнішим є підхід, який базується на використанні мікроконтролера з сенсором кольору та бездротовим модулем зв'язку. Такий варіант забезпечує баланс між функціональністю, складністю реалізації та вартістю, а також відповідає вимогам до масштабованості та інтеграції з IoT-технологіями.

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>18</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Структура комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Структурна схема проєктованої системи наведена на рисунку 2.1. До складу системи входять такі основні блоки: мікроконтролерний модуль, давач кольору, інфрачервоний давач перешкоди, виконавчі механізми (сервоприводи), модуль відображення інформації та хмарна IoT-платформа.

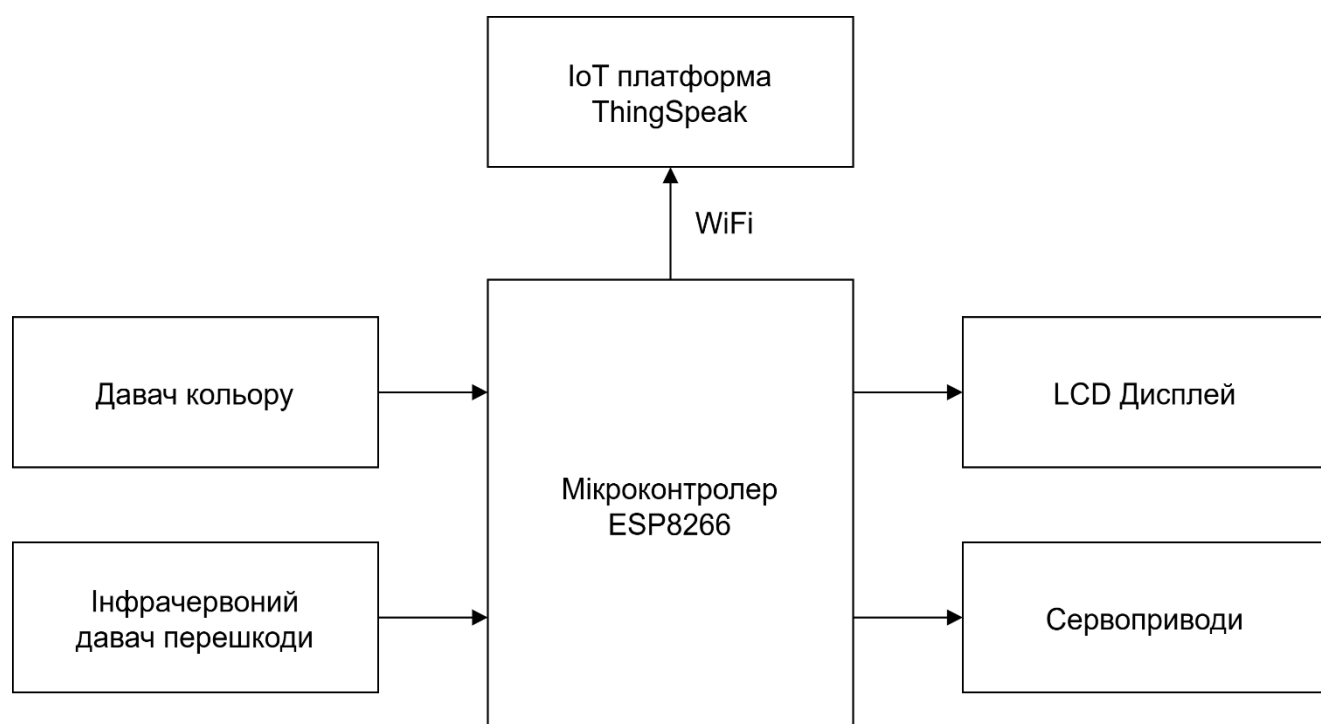


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Центральним елементом системи є мікроконтролерний модуль, який виконує функції обробки даних, керування периферійними пристроями та організації обміну інформацією з хмарним середовищем. До його входів

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Лігус Я.О.</i>			<i>Проектна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					19	17
<i>Рецензент</i>		<i>Стоянов Ю.М.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осунівська Г.М.</i>						

підключені давач кольору та інфрачервоний давач перешкоди. Давач кольору забезпечує вимірювання інтенсивності складових кольору об'єкта, що проходить через зону контролю, та передає ці дані до мікроконтролера для подальшої обробки. Інфрачервоний давач перешкоди використовується для фіксації наявності об'єкта в робочій зоні, що дозволяє синхронізувати процес вимірювання кольору та запуск алгоритму сортування.

У якості виконавчих елементів у системі використовуються сервоприводи, які забезпечують фізичне переміщення або перенаправлення об'єктів у відповідні приймальні зони. Використання двох сервоприводів дозволяє реалізувати гнучкішу схему сортування, наприклад, шляхом поетапного відхилення об'єктів або розподілу їх між кількома каналами.

Для локального відображення стану системи передбачено модуль індикації, який підключається до мікроконтролера та використовується для виведення основної інформації, зокрема поточного визначеного кольору, режиму роботи системи, кількості оброблених об'єктів та службових повідомлень. Це забезпечує зручність налагодження та експлуатації системи без необхідності постійного звернення до віддаленого інтерфейсу.

Окремим функціональним блоком є хмарна IoT-платформа, з якою мікроконтролер взаємодіє через бездротову мережу. Передача даних у хмарне середовище дозволяє здійснювати віддалений моніторинг роботи системи, накопичення статистичної інформації, аналіз ефективності сортування та виявлення можливих відхилень у роботі. До платформи передаються такі параметри, як результати розпізнавання кольору, кількість відсортованих об'єктів за категоріями, а також службові дані про стан системи.

Ця структурна схема відображає логічну організацію системи, у якій мікроконтролер виступає центральною ланкою, що об'єднує сенсорні, виконавчі та інформаційні компоненти в єдиний функціональний комплекс. Запропонована структура забезпечує автоматизацію процесу сортування товарів за кольором, підвищує точність і швидкодію системи, а також розширює її функціональні можливості за рахунок інтеграції з IoT-технологіями.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розроблення апаратного забезпечення системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

2.2.1 Мікроконтролерний модуль NodeMCU

Мікроконтролерний модуль NodeMCU є однією з найпоширеніших апаратних платформ для реалізації IoT-систем завдяки високому рівню інтеграції, наявності бездротового інтерфейсу та достатнім обчислювальним ресурсам. Даний модуль побудований на базі мікроконтролера, який поєднує в одному кристалі процесор, пам'ять, периферійні інтерфейси та Wi-Fi трансивер, що суттєво спрощує розробку вбудованих систем із підтримкою мережевої взаємодії (рис. 2.2).

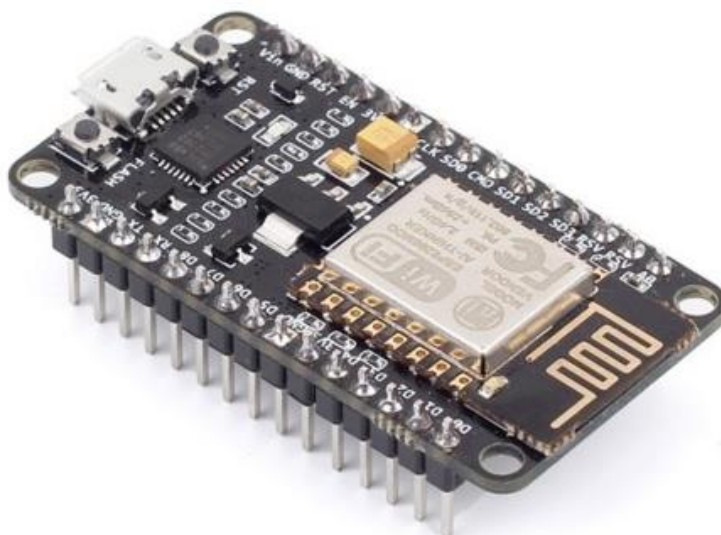


Рисунок 2.2 – Мікроконтролерний модуль NodeMCU

Конструктивно плата NodeMCU являє собою завершений відлагоджувальний модуль, який включає безпосередньо Wi-Fi SoC ESP8266, зовнішню пам'ять, стабілізатор напруги 3,3 В, USB-UART перетворювач, а також допоміжні елементи обв'язки, такі як кнопки Reset і Flash. Завдяки цьому модуль може підключатися безпосередньо до ПК через USB-інтерфейс без використання додаткових програматорів. Виводи мікроконтролера виведені на стандартні контакти, що дозволяє інтегрувати модуль у макетні плати або готові пристрої.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Важливою особливістю NodeMCU є наявність достатнього обсягу пам'яті для реалізації складних алгоритмів та роботи з мережевими протоколами. Модуль оснащений близько 4 МБ флеш-пам'яті для зберігання програмного коду та даних, а також оперативною пам'яттю, достатньою для обробки інформації. Це дозволяє реалізовувати обробку даних сенсорів, формування HTTP-запитів, передачу JSON-структур та інші типові задачі IoT-систем. Характеристики мікроконтролерного модуля NodeMCU наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики модуля NodeMCU

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ESP8266 (Tensilica Xtensa LX106)
Розрядність	32 біти
Тактова частота	80–160 МГц
Оперативна пам'ять	~80–128 КБ
Флеш-пам'ять	4 МБ
Бездротовий інтерфейс	Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n
Робоча частота Wi-Fi	2,4 ГГц
Кількість GPIO	до 11–17
Інтерфейси	UART, SPI, I2C (програмний), I2S
АЦП	10-бітний (1 канал)
Напруга живлення	3,3 В (через USB 5 В)
Режими роботи Wi-Fi	STA, AP, STA+AP
Споживання струму	до ~200 мА (передача)

Аналізуючи можливості даного модуля, можна обґрунтувати його доцільність використання у проєктованій комп'ютерній системі автоматизованого сортування товарів за кольором. По-перше, інтегрований Wi-Fi модуль забезпечує безпосереднє підключення до хмарної IoT-платформи без додаткових апаратних засобів, що спрощує структуру системи та зменшує її вартість. По-друге, достатня кількість GPIO-виводів дозволяє підключити всі необхідні периферійні пристрої,

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зокрема давач кольору, інфрачервоний сенсор, сервоприводи та модуль відображення інформації.

По-третє, обчислювальні ресурси ESP8266 є достатніми для реалізації алгоритмів розпізнавання кольору, обробки сигналів та керування виконавчими механізмами у реальному часі. Крім того, підтримка сучасних мережевих протоколів дозволяє організувати ефективну передачу даних на IoT-платформу для подальшого моніторингу та аналізу.

2.2.2 Давач кольору RGB TCS34725

Давач кольору RGB на основі мікросхеми TCS34725 є сучасним високоточним сенсорним модулем, призначеним для визначення кольору об'єктів шляхом аналізу відбитого світла. Завдяки високій чутливості, широкому динамічному діапазону та наявності вбудованої цифрової обробки сигналу, даний сенсор широко використовується в системах автоматизації, робототехніці та IoT-рішеннях, зокрема для задач сортування об'єктів за кольором (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Давач кольору RGB TCS34725

Конструктивно модуль TCS34725 складається з інтегральної мікросхеми TCS34725FN, яка включає масив фотодіодів, оптичні фільтри, АЦП та цифрову логіку обробки сигналів. Фотодіоди розділені на чотири канали: червоний (R),

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зелений (G), синій (B) та додатковий “чистий” канал (Clear), що вимірює загальну інтенсивність світла. Для підвищення точності вимірювання в сенсорі реалізовано інфрачервоний (IR) фільтр, який відсікає інфрачервону складову спектра та мінімізує вплив стороннього освітлення.

Модуль також містить вбудоване підсвічування у вигляді білого світлодіода, що забезпечує стабільні умови освітлення об’єкта незалежно від зовнішнього середовища. Це особливо важливо для систем автоматизованого сортування, де необхідно отримувати повторювані та достовірні результати вимірювань. Крім того, на платі передбачено перетворювач рівнів сигналів, що забезпечує сумісність із мікроконтролерами, які працюють як на 3,3 В, так і на 5 В. Технічні характеристики давача кольору TCS34725 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики давача кольору TCS34725

Характеристика	Значення
Тип сенсора	RGB + Clear (RGBC)
Мікросхема	TCS34725FN
Інтерфейс зв’язку	I2C
Розрядність АЦП	16 біт на канал
Кількість каналів	4 (R, G, B, Clear)
Робоча напруга	3,3–5 В
Спектральний фільтр	ІЧ-фільтр
Динамічний діапазон	до 3 800 000:1
Інтегроване підсвічування	білий світлодіод
Програмоване підсилення	так
Час інтеграції	програмований

Принцип роботи давача базується на вимірюванні інтенсивності світла, відбитого від поверхні об’єкта. Вбудований світлодіод освітлює об’єкт, після чого відбитий світловий потік потрапляє на фотодіоди сенсора. Кожен канал (R, G, B) реєструє відповідну спектральну складову, після чого аналогові сигнали

перетворюються у цифрову форму за допомогою 16-бітного АЦП. Отримані значення передаються до мікроконтролера через інтерфейс I2C, де виконуються подальші обчислення для визначення кольору.

Важливою особливістю TCS34725 є наявність програмованого коефіцієнта підсилення та часу інтеграції, що дозволяє адаптувати сенсор до різних умов освітлення та типів поверхонь. Також підтримується генерація апаратного переривання при досягненні заданих порогів освітленості, що може використовуватися для оптимізації роботи системи. Завдяки високому динамічному діапазону (до кількох мільйонів до одного) сенсор здатний працювати як при слабкому, так і при інтенсивному освітленні.

Обґрунтування вибору даного датчика для реалізації комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів є цілком логічним та технічно доцільним. По-перше, сенсор забезпечує високу точність визначення кольору завдяки використанню чотиріканальної структури та цифрової обробки сигналів, що значно перевищує можливості простіших аналогових або частотних сенсорів. По-друге, наявність інтерфейсу I2C дозволяє підключити пристрій до мікроконтролера з мінімальною кількістю виводів, що є важливим при обмежених апаратних ресурсах. По-третє, інтегроване підсвічування та ІЧ-фільтр забезпечують стабільність вимірювань незалежно від зовнішніх умов освітлення, що критично для задач сортування. Крім того, підтримка гнучкого налаштування параметрів роботи дозволяє адаптувати сенсор до умов експлуатації і типів товарів.

2.2.3 Датчик перешкоди YL-63

Інфрачервоний датчик перешкоди YL-63 є простим та ефективним сенсорним модулем, призначеним для виявлення наявності об'єктів у зоні контролю. Завдяки низькій вартості, простоті підключення та достатній надійності він широко застосовується в робототехнічних і автоматизованих системах, зокрема для задач фіксації появи об'єкта перед сенсором, що є важливим для синхронізації процесів у системах сортування (рис. 2.5).

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

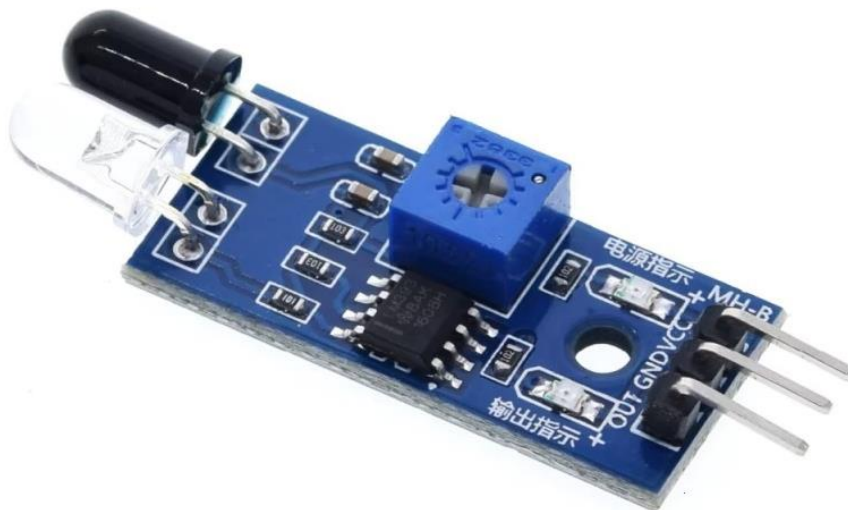


Рисунок 2.5 – Давач перешкоди YL-63

Конструктивно модуль YL-63 складається з інфрачервоного світлодіода (випромінювача), фотоприймача (фотодіода), компаратора напруги та допоміжних елементів обв'язки. Інфрачервоний світлодіод генерує випромінювання у невидимому діапазоні спектра, яке спрямовується у зону контролю. Фотоприймач розташований поруч із випромінювачем і призначений для реєстрації відбитого від об'єкта сигналу. Наявність компаратора дозволяє перетворювати аналоговий сигнал у чіткий цифровий рівень, придатний для безпосереднього зчитування мікроконтролером.

Принцип роботи давача базується на явищі відбиття інфрачервоного випромінювання. У нормальному стані, коли перед сенсором відсутній об'єкт, випромінюване світло не повертається до приймача або його інтенсивність є недостатньою для спрацювання. При появі об'єкта в зоні дії випромінювання ІЧ-промені відбиваються від його поверхні та потрапляють на фотоприймач, у результаті чого формується електричний сигнал. Цей сигнал надходить на компаратор, який порівнює його з опорним рівнем і формує цифровий вихід (логічний "0" або "1"), що сигналізує про наявність або відсутність перешкоди.

Важливою особливістю модуля є наявність цифрового виходу, що значно спрощує його інтеграцію у мікроконтролерні системи. На відміну від аналогових сенсорів, які потребують додаткової обробки сигналу, YL-63 забезпечує вже

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підготовлений логічний сигнал, що дозволяє зменшити обчислювальне навантаження на мікроконтролер. Дальність виявлення об'єктів зазвичай становить від 2 до 30 см, хоча на практиці вона може залежати від кольору, матеріалу та кута поверхні об'єкта, а також від умов освітлення. Характеристики інфрачервоного датчика перешкоди YL-63 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики датчика перешкоди YL-63

Характеристика	Значення
Тип сенсора	Інфрачервоний
Діапазон виявлення	2–30 см
Робоча напруга	3,3–5 В
Тип виходу	Цифровий
Активний рівень	Низький (LOW при виявленні)
Компаратор	LM393
Спектральний діапазон	ІЧ (~700 нм)
Кількість виводів	3 (VCC, GND, OUT)
Споживання струму	до ~20–40 мА

Вибір датчика YL-63 для реалізації комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів є цілком логічним і технічно обґрунтованим. У даній системі цей сенсор виконує функцію детекції наявності об'єкта перед датчиком кольору, що дозволяє запускати процес вимірювання лише у потрібний момент часу. Це забезпечує синхронізацію роботи системи, зменшує кількість помилкових вимірювань та підвищує загальну ефективність алгоритму сортування.

Крім того, використання YL-63 дозволяє реалізувати просту та надійну логіку керування, оскільки мікроконтролер отримує вже сформований цифровий сигнал без необхідності складної обробки. Низька вартість модуля робить його економічно вигідним рішенням, а сумісність із рівнями напруги 3,3–5 В забезпечує легку інтеграцію з мікроконтролером ESP8266.

2.2.4 Сервопривід SG90

SG90 є компактним мікросервоприводом, який широко застосовується у вбудованих та робототехнічних системах для точного позиціонування механічних елементів. Завдяки малим габаритам, низькому енергоспоживанню та простоті керування цей привід є одним із найпопулярніших рішень для навчальних і прикладних IoT-проектів, зокрема у системах автоматизованого сортування товарів (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Сервопривід SG90

Конструктивно сервопривід SG90 складається з кількох основних вузлів: електродвигуна постійного струму, пластикового редуктора, потенціометра зворотного зв'язку, електронної плати керування та вихідного валу. Електродвигун забезпечує обертання, яке через систему зубчастих передач (редуктор) перетворюється у повільний і більш потужний рух вихідного валу. Потенціометр, жорстко з'єднаний з валом, виконує функцію давача положення і передає інформацію про кут повороту на плату керування, яка реалізує замкнену систему регулювання.

Принцип роботи сервоприводу SG90 базується на використанні ШІМ. Керуючий сигнал подається з мікроконтролера і має фіксовану частоту (зазвичай

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

близько 50 Гц) та змінну тривалість імпульсу. Залежно від ширини імпульсу (приблизно від 1 до 2 мс) сервопривід встановлює вал у відповідне положення в межах кута повороту, як правило, від 0° до 180°. Внутрішня електроніка постійно порівнює бажане положення (задане сигналом ШІМ) із фактичним (за даними потенціометра) і коригує обертання двигуна до досягнення заданого кута.

Важливою особливістю SG90 є його здатність утримувати задане положення навіть під дією невеликих зовнішніх навантажень. Це досягається завдяки постійному контролю положення та підживленню двигуна у випадку відхилення. Така властивість є критичною для систем автоматизованого сортування, де необхідно точно позиціонувати механічні елементи, наприклад, заслінки або напрямні для розподілу товарів. Характеристики сервоприводу SG90 наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики сервоприводу SG90

Характеристика	Значення
Тип приводу	Мікросервопривід
Кут повороту	0° – 180°
Робоча напруга	4,8 – 6 В
Керуючий сигнал	PWM (≈50 Гц)
Ширина імпульсу	~1–2 мс
Крутний момент	~1,8 кг·см (при 4,8 В)
Швидкість обертання	~0,1 с/60°
Тип редуктора	Пластиковий
Тип підшипника	Втулка
Споживаний струм	до ~500–700 мА (піковий)

Вибір сервоприводу SG90 для реалізації комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів базується на кількох ключових факторах. По-перше, цей сервопривід забезпечує достатню точність позиціонування для керування механізмами сортування, такими як поворотні заслінки або напрямні.

По-друге, його простий інтерфейс керування (ШІМ) дозволяє інтегрувати його з мікроконтролером ESP8266 без необхідності використання складних драйверів або додаткових схем.

Малі габарити та вага дозволяють використовувати його у компактних конструкціях, що є важливим для побудови мобільних установок сортування. Хоча сервопривід має обмежений крутний момент і не призначений для роботи з великими навантаженнями, його характеристик цілком достатньо для переміщення легких об'єктів, які зазвичай використовуються у подібних системах.

2.2.5 LCD дисплей

LCD дисплей з I2C модулем є одним з найпоширеніших засобів локальної візуалізації інформації у вбудованих системах та IoT-проектах. Він призначений для відображення текстових даних у вигляді двох рядків по 16 символів кожен і широко використовується завдяки простоті підключення, надійності та низькій вартості. У поєднанні з мікроконтролером ESP8266 такий дисплей забезпечує ефективний інтерфейс для взаємодії з користувачем (рис. 2.7).

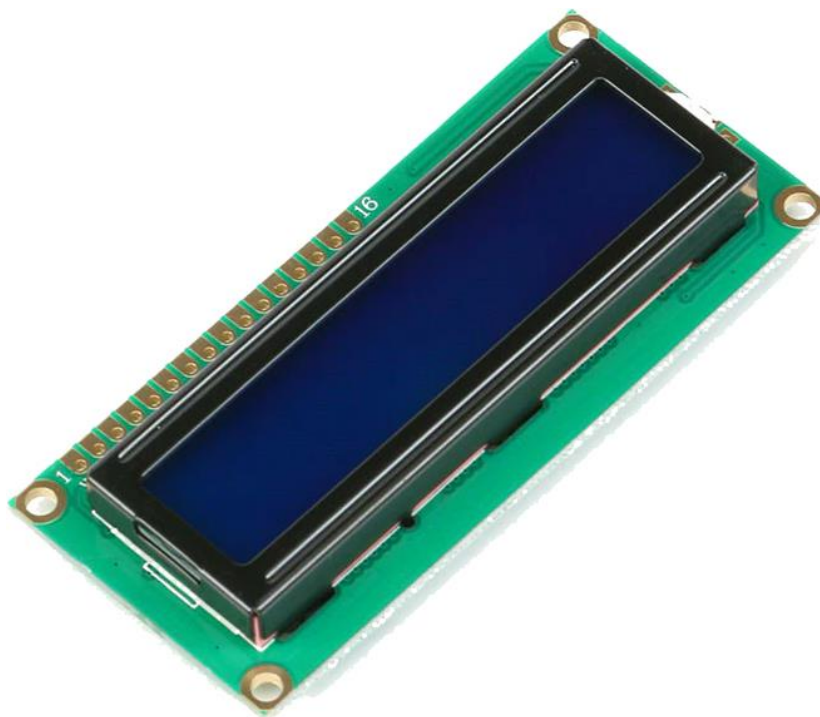


Рисунок 2.7 – LCD дисплей

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Конструктивно LCD складається з рідкокристалічної матриці, контролера відображення HD44780, LED підсвічування, а також друкованої плати з контактами підключення. Додатково на зворотній стороні дисплея встановлюється I2C-модуль (так званий «backpack»), який зазвичай базується на мікросхемі розширювача портів PCF8574. Цей модуль перетворює паралельний інтерфейс дисплея у послідовний I2C, що дозволяє значно скоротити кількість необхідних з'єднань із мікроконтролером — лише до двох сигнальних ліній (SDA і SCL) плюс живлення. Характеристики LCD дисплея з I2C модулем наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики сервоприводу SG90

Характеристика	Значення
Тип дисплея	Символьний рідкокристалічний
Роздільна здатність	16×2 символи
Контролер	Сумісний з HD44780
Інтерфейс	I2C (через PCF8574)
Кількість контактів	4 (VCC, GND, SDA, SCL)
Робоча напруга	5 В
Споживаний струм	~20–30 мА (з підсвічуванням)
Адреса I2C	0x27 або 0x3F (типово)
Підсвічування	LED (синє з білими символами)

Принцип роботи дисплея базується на зміні оптичних властивостей рідких кристалів під впливом електричного поля. Контролер дисплея керує окремими сегментами матриці, формуючи символи відповідно до ASCII-коду або користувацьких шаблонів. Передача даних від мікроконтролера здійснюється через інтерфейс I2C, де NodeMCU виступає в ролі ведучого пристрою (master), а I2C-модуль дисплея — веденого (slave). Кожен символ, що відображається, передається у вигляді байтів, які інтерпретуються контролером дисплея та виводяться у відповідну позицію на екрані.

Важливою складовою є наявність потенціометра на I2C-модулі, який дозволяє регулювати контрастність відображення символів, а також транзисторного керування підсвічуванням, що дає змогу вмикати або вимикати підсвітку програмно. Це підвищує гнучкість використання дисплея в різних умовах освітлення.

Обґрунтування вибору LCD дисплея для даної системи автоматизованого сортування товарів полягає у його функціональній достатності для відображення ключових параметрів системи в режимі реального часу. Дисплей дозволяє виводити інформацію про поточний стан системи (наприклад, виявлений колір виробу, режим роботи, кількість відсортованих об'єктів), що є важливим для локального контролю та налагодження.

Використання I2C інтерфейсу є особливо доцільним у даному проєкті, оскільки мікроконтролер ESP8266 має обмежену кількість GPIO-виводів. Завдяки I2C підключенню зменшується кількість зайнятих пінів, що дозволяє ефективніше інтегрувати інші компоненти системи, такі як датчики та сервоприводи.

Хоча LCD дисплей має обмежену кількість символів і не підходить для відображення великого обсягу даних або складної графіки, він повністю задовольняє вимоги до локальної індикації. Основний обсяг аналітичної інформації доцільно передавати на хмарну IoT-платформу ThingSpeak, де забезпечується зручна візуалізація, збереження та обробка даних.

2.3 Електрична принципова схема системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

На рисунку 2.8 наведено електричну схему системи, яка об'єднує мікроконтролерний модуль, датчик кольору TCS34725, інфрачервоний датчик перешкоди YL-63, два сервоприводи SG90, LCD дисплей з I2C інтерфейсом.

Центральним елементом схеми є мікроконтролерний модуль NodeMCU, який виконує функції збору, обробки та передавання даних.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позиціонування) підключається сигнальним проводом до порту D6 (GPIO12), другий (сервопривід відсікання/сортування) — до порту D7 (GPIO13). Сигнальні входи сервоприводів керуються ШІМ-сигналами з відповідних GPIO мікроконтролера.

Аналіз електричної принципової схеми показує, що всі компоненти системи інтегровані з урахуванням їхніх електричних характеристик та інтерфейсів обміну даними. Використання I2C для підключення датчика кольору та дисплея дозволило оптимізувати використання виводів мікроконтролера. Обрана конфігурація є технічно обґрунтованою для реалізації автоматизованого сортування товарів за кольором.

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>35</i>

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Алгоритм роботи системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Алгоритм роботи системи автоматизованого сортування товарів за кольором визначає послідовність дій від моменту подачі живлення до виконання операцій сортування та передавання даних. На початковому етапі після подачі живлення відбувається ініціалізація апаратних та програмних ресурсів мікроконтролера. Налаштовуються GPIO-порти для підключених пристроїв, ініціалізується інтерфейс I2C для взаємодії з давачем кольору та LCD дисплеєм, а також встановлюється з'єднання з мережею Wi-Fi. Після успішного підключення до мережі виконується ініціалізація обміну даними з платформою ThingSpeak шляхом встановлення параметрів каналу та API-ключа. Одночасно проводиться ініціалізація сервоприводів із встановленням їх у початкове положення, яке відповідає нейтральному стану системи (відсутність сортування).

Після завершення ініціалізації система переходить у режим очікування. У цьому режимі постійно здійснюється опитування інфрачервоного давача перешкоди, який виконує функцію детектування наявності виробу в зоні аналізу. При відсутності об'єкта система перебуває у стані спокою, періодично оновлюючи інформацію на LCD дисплеї (рис. 3.1).

У момент, коли давач перешкоди фіксує появу об'єкта, алгоритм переходить до етапу ідентифікації кольору. Для цього активується давач кольору, який виконує вимірювання інтенсивностей компонентів червоного (R), зеленого (G), синього (B) та прозорого (Clear) каналів. Отримані значення піддаються попередній обробці, що включає нормалізацію, фільтрацію шумів та усереднення для підвищення точності вимірювання.

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Лігус Я.О.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					36	16
<i>Рецензент</i>		<i>Стоянов Ю.М.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осужівська Г.М.</i>						

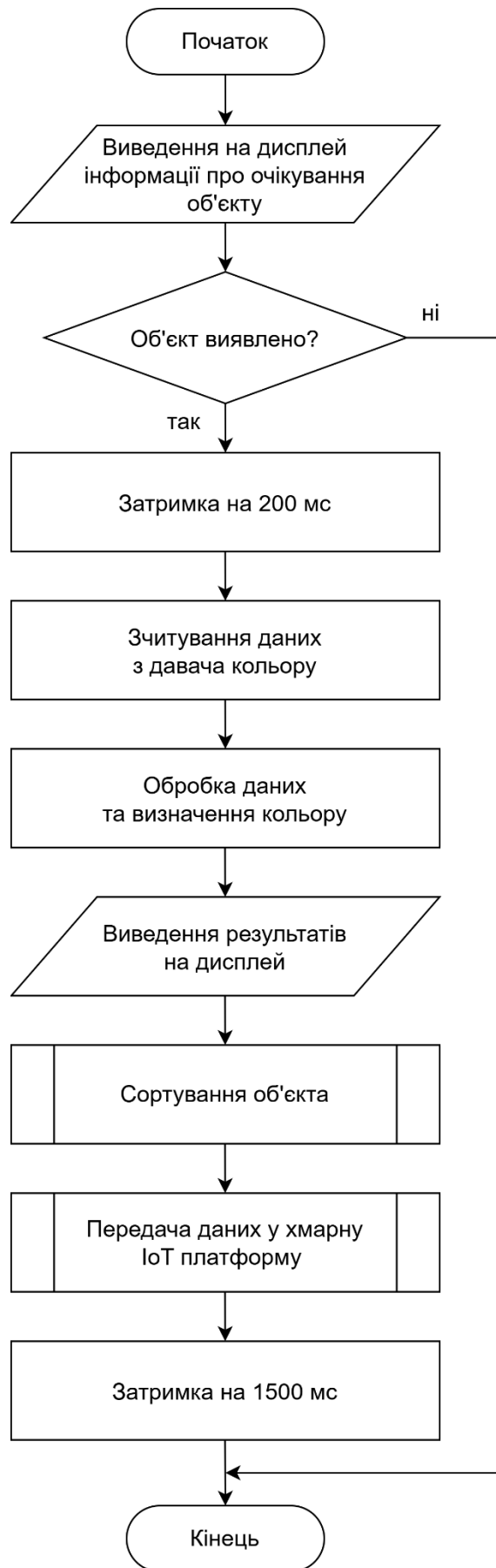


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму основної процедури loop у системі автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

На основі оброблених даних виконується визначення кольору виробу шляхом порівняння отриманих значень із заздалегідь встановленими порогами або за допомогою алгоритму класифікації. Наприклад, якщо домінує червона складова, об'єкт класифікується як «червоний», якщо зелена — як «зелений» тощо. Результат класифікації передається до наступного етапу — керування виконавчими механізмами.

Після визначення кольору активуються сервоприводи SG90, які здійснюють фізичне сортування виробу. Перший сервопривід використовується для позиціонування або подачі об'єкта до зони сортування, тоді як другий виконує безпосереднє перенаправлення виробу у відповідний контейнер залежно від визначеного кольору. Керування сервоприводами здійснюється за допомогою ШІМ-сигналів, що формуються мікроконтролером, із відповідними кутами повороту для кожного типу товарів. Після завершення операції сортування сервоприводи повертаються у вихідне положення.

Паралельно з процесом сортування відбувається оновлення інформації на LCD дисплеї. Виводяться дані про визначений колір об'єкта, поточний стан системи, а також статистична інформація, зокрема кількість відсортованих товарів кожного типу. Це забезпечує зручний локальний моніторинг роботи системи без необхідності підключення до зовнішніх пристроїв.

На завершальному етапі кожного циклу обробки дані про результат сортування передаються на платформу ThingSpeak через Wi-Fi. Формується HTTP-запит, який містить значення відповідних параметрів, що дозволяє здійснювати віддалений моніторинг, аналіз ефективності роботи системи та збереження історичних даних.

Після передавання даних система повертається у режим очікування та готова до обробки наступного виробу. Таким чином, алгоритм роботи системи реалізує безперервний цикл «виявлення – аналіз – сортування – індикація – передавання даних», забезпечуючи повністю автоматизований процес сортування товарів за кольором із можливістю віддаленого контролю та інтеграції в IoT-середовище.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розроблення програмного забезпечення

3.2.1 Реалізація основного циклу обробки, ідентифікації кольору та IoT-взаємодії

Підпрограма `loop()` реалізує безперервний цикл функціонування комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів, забезпечуючи послідовне виконання операцій виявлення об'єкта, зчитування даних, їх обробки, відображення результатів, фізичного сортування та передачі інформації на хмарну IoT-платформу ThingSpeak. Завдяки циклічному виконанню ця підпрограма гарантує постійну готовність системи до роботи (рис. 3.2).

```
void loop() {  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Waiting object ");  
    // Очікування об'єкта  
    if (digitalRead(IR_SENSOR) == LOW) {  
        delay(200);  
        uint16_t r, g, b, c;  
        tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);  
        String color = detectColor(r, g, b);  
        displayData(color);  
        sortObject(color);  
        sendToThingSpeak();  
        delay(1500);  
    }  
}
```

Рисунок 3.2 – Код процедури `loop()`

На початку кожної ітерації циклу здійснюється виведення повідомлення «Waiting object» на LCD-дисплей. Це інформує користувача про те, що система перебуває у стані очікування надходження нового об'єкта для сортування.

Далі виконується перевірка стану інфрачервоного датчика перешкоди YL-63. Якщо датчик фіксує наявність об'єкта (логічний рівень LOW), система переходить до активної фази обробки. Перед початком вимірювань реалізовано коротку затримку, яка дозволяє стабілізувати сигнал від датчика, зменшуючи ймовірність хибних спрацювань.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Після цього відбувається зчитування сирих даних із давача кольору TCS34725. Отримуються значення інтенсивності червоного, зеленого, синього каналів, а також загальної освітленості. Ці дані передаються у підпрограму `detectColor()`, де виконується їх обробка та визначення кольору об'єкта відповідно до заданого алгоритму класифікації.

Наступним етапом є відображення результатів роботи системи. Виклик підпрограми `displayData()` забезпечує виведення визначеного кольору об'єкта та статистичної інформації щодо кількості відсортованих товарів на LCD-дисплей. Такий підхід дозволяє оператору отримувати актуальну інформацію про роботу системи безпосередньо під час її функціонування.

Далі виконується сортування об'єкта за допомогою виклику підпрограми `sortObject()`, яка формує керуючі сигнали для сервоприводів SG90. Залежно від визначеного кольору об'єкт спрямовується у відповідний контейнер, а відповідний лічильник інкрементується. Після завершення механічного сортування здійснюється передача накопичених статистичних даних на хмарну IoT-платформу ThingSpeak за допомогою підпрограми `sendToThingSpeak()`. Це дозволяє реалізувати віддалений моніторинг роботи системи, аналіз продуктивності та збереження історії обробки товарів.

Завершальним етапом ітерації є затримка `delay()`, яка забезпечує стабільність роботи системи та запобігає надто частому повторному зчитуванню даних. Таким чином, підпрограма `loop()` інтегрує всі функціональні компоненти системи в єдиний узгоджений алгоритм, що забезпечує ефективне та надійне автоматизоване сортування товарів за кольором із підтримкою IoT-технологій.

3.2.2 Функція класифікації кольору об'єктів з розширеним набором ознак

Функція `detectColor()` реалізує алгоритм визначення кольору об'єкта на основі даних, отриманих із давача кольору TCS34725. Вона приймає на вхід значення інтенсивностей трьох базових компонентів кольору і повертає рядок із назвою визначеного кольору. Дана реалізація орієнтована на підвищення точності розпізнавання за рахунок використання нормалізованих значень та розширеного набору кольорових класів (рис. 3.3).

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

String detectColor(uint16_t r, uint16_t g, uint16_t b) {
    float sum = r + g + b;
    if (sum == 0) return "UNKNOWN";
    float rn = r / sum;
    float gn = g / sum;
    float bn = b / sum;
    // RED
    if (rn > 0.45 && rn > gn && rn > bn) return "RED";
    // GREEN
    if (gn > 0.40 && gn > rn && gn > bn) return "GREEN";
    // YELLOW (R + G)
    if (rn > 0.35 && gn > 0.35 && bn < 0.2) return "YELLOW";
    // ORANGE (R > G, G середній)
    if (rn > 0.45 && gn > 0.25 && gn < 0.4 && bn < 0.2) return "ORANGE";
    return "UNKNOWN";
}

```

Рисунок 3.3 – Код функції detectColor()

На початковому етапі виконується обчислення сумарної інтенсивності сигналу ($sum = r + g + b$). Це дозволяє врахувати загальний рівень освітленості об'єкта. У випадку, якщо сума дорівнює нулю, функція негайно повертає значення "UNKNOWN", що запобігає виникненню помилки ділення на нуль та сигналізує про некоректні або відсутні дані з сенсора.

Далі виконується нормалізація кольорових компонентів шляхом ділення кожного значення на загальну суму. У результаті отримуються відносні величини rn , gn та bn , які характеризують частку відповідного кольору у загальному спектрі. Такий підхід дозволяє мінімізувати вплив змін освітлення та підвищує стійкість алгоритму до зовнішніх факторів.

На наступному етапі реалізується послідовна перевірка умов для класифікації кольору. Для визначення червоного кольору використовується умова домінування червоного компонента ($rn > 0,45$) над іншими каналами. Аналогічно, зелений колір визначається за умови домінування зеленого каналу ($gn > 0,4$).

Для більш складних кольорів застосовується комбінований аналіз компонентів. Жовтий колір визначається як поєднання значних часток червоного та зеленого каналів при низькому рівні синього ($bn < 0,2$). Помаранчевий колір ідентифікується за умовою переважання червоного компонента при середньому

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівні зеленого та незначній частці синього. Такий підхід дозволяє розширити функціональні можливості системи та забезпечити гнучкіше сортування товарів.

Якщо жодна з умов не виконується, підпрограма повертає значення "UNKNOWN". Це рішення є важливим з точки зору надійності системи, оскільки дозволяє виявляти товари з невизначеним або нестандартним кольором. У подальшому такі товари можуть бути віднесені до категорії браку або оброблені окремо.

3.2.3 Реалізація керування механізмом сортування об'єктів за кольором

Підпрограма `sortObject()` призначена для реалізації фізичного процесу сортування об'єктів на основі визначеного кольору. Вона приймає вхідний параметр `color`, що містить результат класифікації, отриманий із підпрограми визначення кольору, і формує відповідні керуючі сигнали для сервоприводу SG90, який виконує функцію направлення об'єкта у відповідний контейнер (рис. 3.4).

```
void sortObject(String color) {
    if (color == "RED") {
        servo2.write(20);
        redCount++;
    }
    else if (color == "GREEN") {
        servo2.write(70);
        greenCount++;
    }
    else if (color == "YELLOW") {
        servo2.write(120);
        yellowCount++;
    }
    else if (color == "ORANGE") {
        servo2.write(160);
        orangeCount++;
    }
    else {
        servo2.write(90); // брак
    }
    delay(1000);
    servo2.write(90);
}
```

Рисунок 3.4 – Код процедури `sortObject()`

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Алгоритм роботи підпрограми побудований на послідовній перевірці значення змінної `color`. У випадку, якщо визначено червоний колір ("RED"), сервопривід встановлюється у положення 20° , що відповідає напрямку подачі об'єкта до контейнера для червоних товарів. Одночасно відбувається інкрементація лічильника `redCount`, який використовується для накопичення статистичних даних. Аналогічно, для зеленого кольору ("GREEN") задається кут 70° і збільшується лічильник `greenCount`.

Для розширених кольорів система також формує відповідні керуючі дії. У випадку жовтого кольору ("YELLOW") сервопривід переміщується у положення 120° , а змінна `yellowCount` збільшується на одиницю. Для помаранчевого кольору ("ORANGE") встановлюється кут 160° , що забезпечує направлення об'єкта у відповідний сектор сортування, при цьому інкрементується лічильник `orangeCount`. Така градація кутів дозволяє реалізувати багатопозиційне сортування за допомогою одного сервоприводу.

У випадку, якщо колір об'єкта не визначено або не належить до жодної з передбачених категорій, виконується гілка `else`, у якій сервопривід встановлюється у нейтральне положення (90°). Це положення інтерпретується як зона відбракування або пропуску об'єкта, що дозволяє реалізувати базову функцію контролю якості та обробки невизначених товарів.

Після встановлення відповідного положення сервоприводу виконується затримка тривалістю 1000 мс, яка забезпечує достатній час для механічного переміщення об'єкта до відповідного контейнера. По завершенні цього процесу сервопривід повертається у початкове нейтральне положення (90°), що гарантує готовність системи до обробки наступного об'єкта та унеможливорює накопичення помилок позиціонування.

Отже, підпрограма `sortObject()` забезпечує точне та надійне керування виконавчим механізмом системи, синхронізуючи логічні результати класифікації кольору з фізичними діями сортування, а також веденням статистики для подальшого аналізу та передачі на IoT-платформу.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.4 Реалізація передачі статистичних даних на хмарну IoT-платформу ThingSpeak

Процедура `sendToThingSpeak()` призначена для передачі накопичених статистичних даних про результати сортування об'єктів на хмарну IoT-платформу ThingSpeak. Її використання забезпечує можливість віддаленого моніторингу роботи системи, збереження історії обробки товарів та подальшого аналізу отриманої інформації (рис. 3.5).

```
void sendToThingSpeak() {
    if (client.connect(server, 80)) {
        String url = "/update?api_key=" + apiKey;
        url += "&field1=" + String(redCount);
        url += "&field2=" + String(greenCount);
        url += "&field3=" + String(yellowCount);
        url += "&field4=" + String(orangeCount);
        client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
            "Host: " + server + "\r\n" +
            "Connection: close\r\n\r\n");
        delay(100);
        client.stop();
    }
}
```

Рисунок 3.5 – Код процедури `sendToThingSpeak()`

На початку виконання підпрограми здійснюється спроба встановлення з'єднання із сервером за допомогою функції `client.connect()`. У випадку успішного підключення формується рядок запиту, який містить шлях до ресурсу `/update` та параметр `api_key`, що ідентифікує канал користувача на платформі ThingSpeak. Це забезпечує коректну маршрутизацію даних до відповідного облікового запису.

Далі до сформованого URL-запиту послідовно додаються параметри `field1–field4`, які відповідають кількості відсортованих об'єктів кожного кольору. Зокрема, `field1` містить значення лічильника червоних об'єктів, `field2` — зелених, `field3` — жовтих, а `field4` — помаранчевих. Така структура дозволяє організувати багатоканальне зберігання даних та їх подальшу візуалізацію у вигляді графіків безпосередньо у середовищі ThingSpeak.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Передача даних на сервер здійснюється шляхом формування HTTP GET-запиту, який надсилається за допомогою функції `client.print()`. Після відправлення запиту виконується коротка затримка, яка необхідна для коректного завершення передачі даних. Після цього з'єднання закривається викликом функції `client.stop()`, що звільняє мережеві ресурси та готує систему до наступної передачі інформації.

3.2.5 Реалізація відображення результатів сортування на LCD-дисплеї

Процедура `displayData()` призначена для візуалізації результатів роботи системи автоматизованого сортування на символічному LCD-дисплеї. Вона забезпечує відображення як поточного визначеного кольору об'єкта, так і статистичних даних щодо кількості відсортованих товарів за кожною категорією. Враховуючи обмеження дисплея типу LCD, у підпрограмі реалізовано механізм посторінкового виведення інформації (рис. 3.6).

```
void displayData(String color) {  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("C:" + color);  
    // Сторінка 1  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("R:");  
    lcd.print(redCount);  
    lcd.print(" G:");  
    lcd.print(greenCount);  
    delay(1500);  
    // Сторінка 2  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Y:");  
    lcd.print(yellowCount);  
    lcd.print(" O:");  
    lcd.print(orangeCount);  
}
```

Рисунок 3.6 – Код процедури `displayData()`

На початку виконання підпрограми виконується очищення дисплея за допомогою функції `lcd.clear()`, що дозволяє уникнути накладання нових даних на попередні. Далі встановлюється позиція курсора у першому рядку, після чого

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виводиться інформація про визначений колір об'єкта. Це забезпечує оперативне інформування користувача про результат класифікації.

У другому рядку першої сторінки виводяться значення лічильників для червоного та зеленого кольорів. Формат виведення реалізовано у компактному вигляді («R:значення G:значення»), що дозволяє ефективно використати обмежений простір дисплея. Після цього виконується затримка тривалістю 1500 мс, яка забезпечує достатній час для сприйняття інформації користувачем.

Наступним етапом є відображення другої сторінки даних. Для цього дисплей повторно очищується, після чого у першому рядку виводяться значення лічильників для жовтого та помаранчевого кольорів у форматі «Y:значення O:значення». Такий підхід дозволяє розширити обсяг відображеної інформації без необхідності використання складних або дорогих засобів індикації.

3.3 Налаштування хмарної IoT платформи ThingSpeak

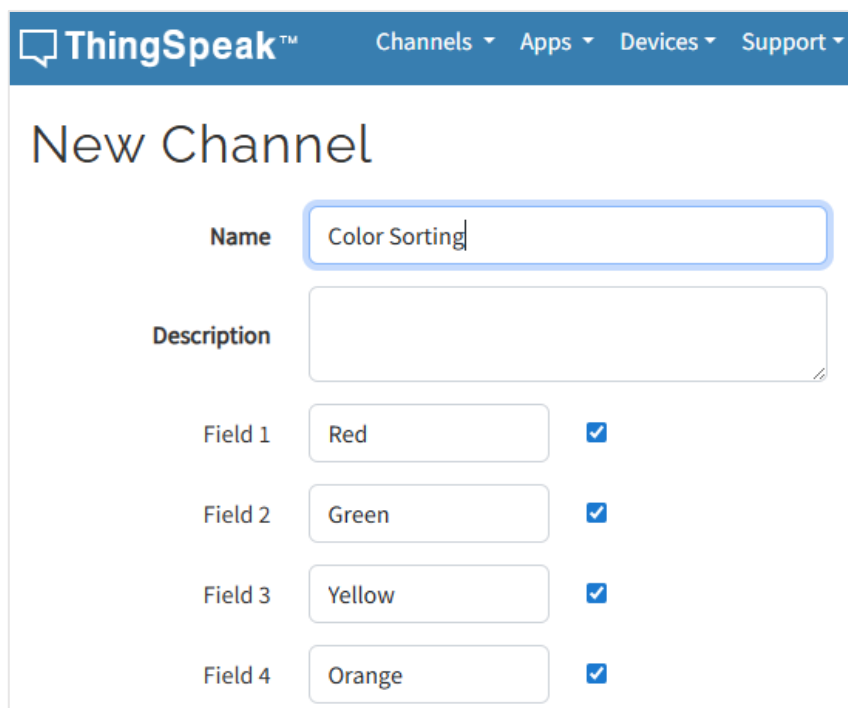
У межах реалізації комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів було виконано налаштування хмарної IoT-платформи ThingSpeak для забезпечення збору, збереження та візуалізації даних. Основною метою використання даної платформи було створення віддаленого інтерфейсу моніторингу, який дозволяє відстежувати результати роботи системи, зокрема кількість відсортованих товарів за кольорами та загальний стан процесу.

Після входу до облікового запису було створено новий канал (Channel), який виступає логічним контейнером для зберігання даних від мікроконтролера. У налаштуваннях каналу було задано його назву, короткий опис та активовано поля для прийому даних. Зокрема, було використано три основні поля: Field 1 — для зберігання кількості товарів червоного кольору, Field 2 — для зеленого, Field 3 — для жовтого, Field 4 — для помаранчевого (рис. 3.7).

Наступним етапом було налаштування ключів доступу (API Keys), які забезпечують автентифікацію при передачі даних. У розділі «API Keys» було згенеровано унікальний Write API Key, який використовується мікроконтролером

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

для запису даних у канал. Даний ключ було інтегровано у програмний код системи, у вигляді параметра HTTP-запиту.



The screenshot shows the 'New Channel' page in the ThingSpeak web interface. At the top, there is a blue navigation bar with the ThingSpeak logo and menu items: 'Channels', 'Apps', 'Devices', and 'Support'. The main heading is 'New Channel'. Below this, there is a form with the following fields:

- Name:** A text input field containing 'Color Sorting'.
- Description:** A larger text area that is currently empty.
- Field 1:** A dropdown menu set to 'Red' with a checked checkbox to its right.
- Field 2:** A dropdown menu set to 'Green' with a checked checkbox to its right.
- Field 3:** A dropdown menu set to 'Yellow' with a checked checkbox to its right.
- Field 4:** A dropdown menu set to 'Orange' with a checked checkbox to its right.

Рисунок 3.7 – Процес створення каналу в ThingSpeak

Для забезпечення візуалізації даних у зручному вигляді було налаштовано графічне відображення (Charts) у межах каналу. Для кожного поля було активовано відповідні графіки, що дозволило відстежувати динаміку зміни кількості відсортованих товарів. Було обрано часовий інтервал відображення та лінійний тип графіків, що є найбільш інформативним для аналізу процесу сортування. Це дало змогу оцінювати продуктивність системи та виявляти можливі відхилення у її роботі.

Передача даних від мікроконтролера до платформи ThingSpeak була реалізована за допомогою HTTP GET-запитів через вбудований Wi-Fi модуль ESP8266. У структурі запиту використовувався Write API Key та параметри полів (field1, field2, field3, field4), які містили актуальні значення лічильників відсортованих товарів. Було враховано обмеження платформи щодо мінімального інтервалу між запитами (15 секунд), що забезпечило стабільність роботи та уникнення втрати даних.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі налагодження було проведено тестування передачі даних шляхом ручного формування HTTP-запитів через веб-браузер, що дозволило перевірити коректність налаштувань каналу та API-ключів. Після цього було виконано інтеграцію з програмним кодом мікроконтролера та перевірено відображення даних під час роботи системи.

У результаті проведеного налаштування платформи ThingSpeak було створено повноцінну IoT-інфраструктуру для віддаленого моніторингу системи сортування товарів за кольором. Це забезпечило надійне збереження даних, зручну візуалізацію результатів та можливість подальшого аналізу ефективності роботи системи.

3.4 Моделювання та тестування системи

На першому етапі тестування було виконано розробку моделі системи у середовищі Circuit Designer, що дозволило здійснити попередню перевірку коректності електричних з'єднань, логіки роботи та взаємодії між компонентами без необхідності негайної реалізації фізичного прототипу.

У процесі моделювання було створено електричну схему, яка включала мікроконтролерний модуль NodeMCU, давач кольору TCS34725, інфрачервоний давач перешкоди YL-63, два сервоприводи SG90 та LCD дисплей з I2C інтерфейсом. У середовищі Circuit Designer було перевірено відсутність конфліктів адрес на шині I2C, а також коректність підключення GPIO-виводів мікроконтролера (рис. 3.8).

Наступним етапом стало тестування логічної моделі роботи системи. Було змодельовано подачу сигналу від інфрачервоного давача перешкоди, що імітує появу об'єкта в зоні сортування. У відповідь система ініціювала процес зчитування даних із давача кольору TCS34725. У результаті моделювання підтверджено правильність реалізації логіки визначення кольору та відповідного керування сервоприводами.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

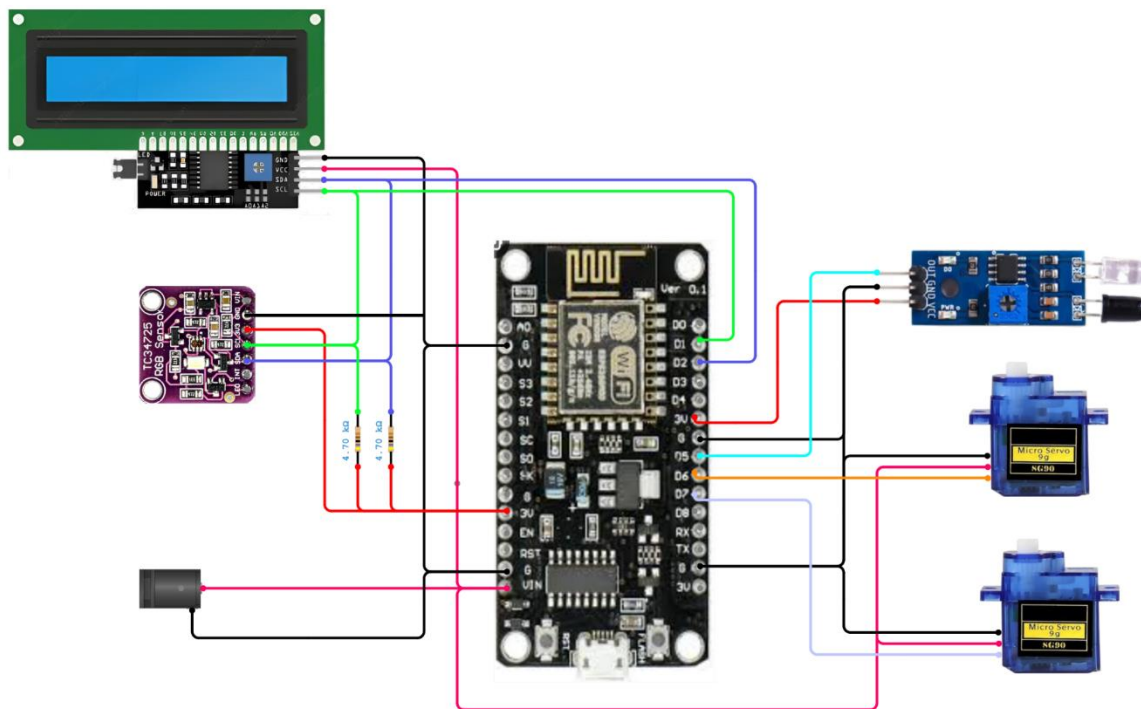


Рисунок 3.8 – Модель системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору

Окремо було перевірено роботу виконавчих механізмів. У моделі відслідковувалася зміна керуючих сигналів ШІМ для сервоприводів SG90 залежно від визначеного кольору. Було встановлено, що задані кути повороту відповідають різним категоріям товарів, а також забезпечують повернення механізмів у вихідне положення після завершення циклу сортування. Таким чином, результати моделювання підтвердили коректність побудови електричної схеми та базового алгоритму роботи системи.

Після завершення етапу моделювання було реалізовано фізичний прототип системи на основі реальних компонентів. На початковому етапі було виконано монтаж системи відповідно до розробленої електричної принципової схеми. Далі було проведено поетапне тестування окремих модулів системи. Спочатку перевірено роботу мікроконтролера ESP8266 та стабільність підключення до WiFi мережі. Після цього протестовано LCD дисплей, на якому було виведено службову інформацію, що підтвердило коректність роботи інтерфейсу I2C. Наступним етапом стало тестування датчика кольору TCS34725, під час якого проводилося вимірювання значень RGB для об'єктів різного кольору.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Важливим етапом було калібрування давача кольору. У процесі експериментів визначено оптимальні порогові значення для класифікації кольорів залежно від умов освітлення. Було встановлено, що стабільність вимірювань залежить від інтенсивності зовнішнього освітлення, тому для підвищення точності використовувалося усереднення кількох вимірів та нормалізація значень RGB.

Після калібрування сенсорів було проведено тестування інтегрованої системи. У ході експериментів у зону дії давача перешкоди подавалися товари різних кольорів, що ініціювало повний цикл роботи системи: виявлення об'єкта, визначення кольору, керування сервоприводами та сортування. Результати показали, що система коректно розпізнає основні кольори із високою точністю за умови стабільного освітлення.

Паралельно здійснювалася перевірка роботи IoT-підсистеми. Було протестовано передачу даних на платформу ThingSpeak, де відображалися значення лічильників відсортованих товарів. Під час тестування підтверджено стабільність передачі даних та відповідність отриманих значень фактичним результатам роботи системи (рис. 3.9).

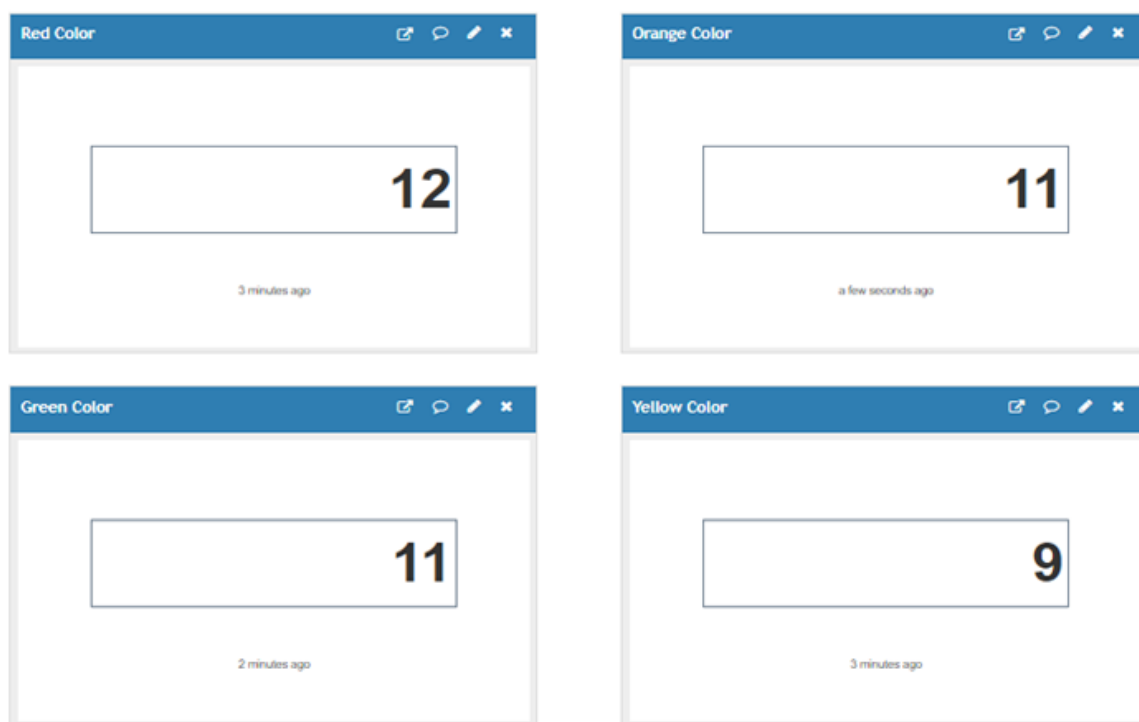


Рисунок 3.9 – Відображення результатів сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору на платформі ThingSpeak

У завершальному етапі тестування було проведено серію експериментів із багаторазовим повторенням циклів сортування. Було оцінено надійність роботи системи, швидкодію та стійкість до зовнішніх впливів. За результатами випробувань встановлено, що система функціонує стабільно, забезпечує коректне сортування товарів та ефективну передачу даних у хмарне середовище.

Результати моделювання та експериментального тестування підтвердили працездатність розробленої системи, правильність прийнятих технічних рішень та доцільність використання IoT-технологій для реалізації задач автоматизованого сортування товарів за кольором.

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						51
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при отруєннях

Отруєння – це група захворювань, викликаних впливом на організм отрути різного походження. Знання симптомів і алгоритмів надання першої допомоги при отруєннях є особливо важливим, оскільки під час щоденних справ людина може контактувати з побутовою хімією, засобами для очищення, ветеринарними препаратами або кормами, які при порушенні умов зберігання стають потенційно небезпечними.

При отруєнні, особливо невідомою токсичною речовиною, необхідно негайно викликати лікаря. До прибуття лікаря необхідно припинити контакт потерпілого з отруйною речовиною та видалити її з організму. Оскільки отрути можуть потрапляти в організм трьома шляхами – через шлунково-кишковий тракт, через органи дихання та через шкіру або слизисті оболонки, то цим визначається характер першої допомоги.

Якщо отрута (за винятком кислот чи лугів) потрапила у шлунково-кишковий тракт, потерпілому негайно кілька разів промивають шлунок до появи чистих промивних вод. Для цього його примушують випити 1,5–2,0 л води ледь підфарбованої марганцевокислим калієм або води з питною содою (1 чайна ложка на 1 склянку води), а потім викликають блювання подразненням кореня язика. Після цього дають суспензію активованого вугілля, яка має хороші адсорбційні властивості. Кишечник очищається за допомогою сольового проносного – 20 г гіркої солі на 0,5 склянки води. Потім потерпілого зігрівають, дають йому багато чаю або кави, але не їжу.

У разі потрапляння отруйних газів або випарів у дихальні шляхи потерпілому необхідно забезпечити приплив свіжого повітря, вивільнити його від

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Лігус Я.О.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Луцук Н.С.</i>					52	6
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осунівська Г.М.</i>						

одягу, який утруднює дихання. При запамороченні чи непритомності дати понюхати нашатирний спирт, при зупинці дихання – проводити штучне дихання.

При потрапленні отруйних речовин на шкіру необхідно принаймні вимити ділянку тіла водою з милом. Якщо ці речовини мають до того ж агресивну дію, необхідно діяти, як зазначено при хімічних опіках.

Отруєння харчовими продуктами. Причина – вживання неякісних, несвіжих або заражених хвороботворними бактеріями продуктів. Захворювання, як правило, починається через 2–3 години після вживання неякісних продуктів, інколи – через 20–26 годин [33].

Ознаками такого отруєння є загальне нездужання, нудота, неодноразове блювання, біль у животі, головний біль, частий пронос, блідість, спрага, підвищення температури тіла до 38–40 °С, частий слабкий пульс, судоми. Блювання і діарея зневоднюють організм, сприяють втраті солей. При отруєнні харчовими продуктами потрібно діяти, як при потрапленні отрути у шлунково-кишковий тракт.

З метою запобігання харчовим отруєнням не слід допускати вживання недоброякісних та не зовсім свіжих продуктів. Особливо обережно слід вживати консерви і в разі появи підозри на їх низьку якість (здуття кришки, банки, поганий запах, незвичайний колір) не вживати їх. З метою запобігання отруєнням фальшивими спиртними напоями не слід купувати напої сумнівного виробництва [33].

Отруєння ліками, алкогольними та наркотичними речовинами. Особливість першої допомоги полягає в тому, що потерпілого ні в якому разі не можна залишати самого, оскільки в нього можуть спостерігатися порушення роботи центральної нервової системи – гальмування або збудження її, параліч дихання, непритомність, клінічна смерть.

Отруєння кислотами та лугами – найбільше поширені серед ненавмисних отруєнь хімічними речовинами, які потрапили в організм через стравохід, особливо в побуті, у дітей. Ознаки – різкі болі в ротовій порожнині, стравоході та в шлунку, опік (набряк) слизистих, блювання з домішкою крові, труднощі під час

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ковтання. Іноді характерний запах з рота. Потерпілі часто збуджені, можливий набряк гортані з розвитком асфіксії, непритомність.

Для надання долікарської допомоги потрібно негайно видалити слину та слиз з рота потерпілого, загорнувши чайну ложку в марлю, серветку чи хустинку, протерти ротову порожнину. Промивати шлунок водою не можна, оскільки це може викликати блювання і призвести до потрапляння отрути у дихальні шляхи. Можна лише дати потерпілому 2–3 склянки води, щоб розбавити кислоту чи луг і зменшити тим самим їх агресивну дію. Не можна також нейтралізувати кислоту, що потрапила у шлунок, лугом і навпаки, оскільки при цьому утворюється велика кількість вуглекислого газу, що призводить до розтягування шлунка, посилення болю та кровотечі. Якщо виникли ознаки задухи, проводять штучне дихання – краще способом «з рота в ніс», оскільки слизова оболонка рота потерпілого обпечена [33].

Причиною отруєння оксидом вуглецю є вдихання чадного газу, генераторного газу, продуктів горіння, диму. В крові блокується зв'язок гемоглобіну з киснем і обмежуються умови для його перенесення кров'ю від легень до тканин.

Ознаки при легкому отруєнні – шкіра яскраво-рожева, запаморочення, шум у вухах, загальна слабкість, нудота, блювання, слабкий пульс, короткочасна непритомність; при тяжкому отруєнні – нерухомість, судоми, порушення зору, дихання, роботи серця, непритомність протягом годин і навіть діб, клінічна смерть. Для надання допомоги слід діяти, як при потраплянні отрути у дихальні шляхи.

Працівники, які використовуватимуть комп'ютерну систему автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору, повинні дотримуватися правил надання долікарської допомоги при отруєннях.

4.2 Вимоги до виробничого освітлення та його нормування

Приміщення для роботи з ВДТ повинні бути обладнані природним і штучним освітленням, відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 [34]. Природне освітлення

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинно здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 % для захисту зору та зниження навантаження. Віконні прорізи приміщень для роботи з ВДТ повинні бути обладнані регульованими пристроями, такими як жалюзі, штори, зовнішні козирки.

Штучне освітлення приміщення з робочими місцями, обладнаними ВДТ ЕОМ загального та персонального користування, має бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. У виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях, де переважають роботи з документами, допускається використовувати систему комбінованого освітлення (додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

Загальне освітлення має бути виконане у вигляді суцільних або переривчатих ліній світильників, що розміщуються збоку від робочих місць (переважно зліва) паралельно лінії зору працівників. Допускається застосовувати світильники таких класів світлорозподілу: світильники прямого світла – П; переважно прямого світла – Н; переважно відбитого світла – В. При розташуванні ВДТ за периметром приміщення лінії світильників штучного освітлення повинні розміщуватися локально над робочими місцями. Для загального освітлення необхідно застосовувати світильники із розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або віддзеркалювачами, укомплектовані високочастотними пускорегульовальними апаратами (ВЧ ПРА). Застосування світильників без розсіювачів та екранних сіток забороняється [35].

Як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися люмінесцентні лампи типу ЛБ. При обладнанні відбивного освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях можуть застосовуватися металогалогенні лампи потужністю до 250 Вт. Допускається у світильниках місцевого освітлення застосовувати лампи розжарювання.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складати не більше 200 кд/м^2 , а захисний кут світильників повинен бути не більшим за 40° . Коефіцієнт запасу відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 для освітлювальної установки загального освітлення потрібно приймати рівним 1,4 [34]. Коефіцієнт пульсації повинен не перевищувати 5 % і забезпечуватися застосуванням газорозрядних ламп у світильниках загального і місцевого освітлення. За відсутності світильників з ВЧ ПРА лампи багатолампових світильників або розташовані поруч світильники загального освітлення необхідно підключати до різних фаз трифазної мережі.

Рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300...500 лк. У разі неможливості забезпечити даний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрану та збільшення освітленості екрану більше ніж до 300 лк. Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла з захисним кутом не меншим за 40° .

Необхідно передбачити обмеження прямої близькості від джерела природного та штучного освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і перебувають у полі зору, повинна бути не більшою за 200 кд/м^2 . Необхідно обмежувати відбиту блискість шляхом правильного вибору типів світильників та розміщенням робочих місць відносно джерел природного та штучного освітлення. При цьому яскравість відблисків на екрані відеотерміналу не повинна перевищувати 40 кд/м^2 , яскравість стелі при застосуванні системи відбивного освітлення не повинна перевищувати 200 кд/м^2 [35].

Необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, обладнання) – 5:1.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення.

Для забезпечення нормованих значень освітлення в приміщеннях з відеотерміналами ЕОМ загального та персонального користування необхідно очищати віконне скло та світильники не рідше ніж 2 рази на рік, та своєчасно проводити заміну ламп, що перегоріли.

Працівники, які експлуатуватимуть комп'ютерну систему система автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору, повинні знати та дотримуватися вимог і норм виробничого освітлення.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Внаслідок виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети та вирішено основні завдання, пов'язані з розробленням комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів за кольором із використанням IoT-технологій.

Проведено аналіз предметної області та обґрунтовано вибір апаратної платформи і компонентів системи, зокрема мікроконтролера, датчиків та виконавчих пристроїв, що забезпечило технічну доцільність і ефективність реалізації системи.

Створено електричну принципову схему системи, яка забезпечує коректну інтеграцію всіх апаратних компонентів, включаючи датчик кольору, інфрачервоний датчик перешкоди, сервоприводи та засоби відображення інформації.

Сформовано алгоритм роботи системи, що реалізує повний цикл обробки: виявлення об'єкта, визначення його кольору, сортування та передачу даних у хмарне середовище, що забезпечило автоматизацію процесу без участі оператора.

Розроблено ПЗ для мікроконтролера, яке реалізує обробку сигналів із сенсорів, керування виконавчими механізмами, взаємодію з користувачем через дисплей та передачу даних на IoT-платформу.

Виконано налаштування хмарної платформи ThingSpeak, що дозволило реалізувати функції віддаленого моніторингу, збереження та візуалізації даних про роботу системи.

У процесі моделювання та експериментального тестування підтверджено працездатність системи, її стабільність та достатню точність розпізнавання кольору товарів, а також коректність функціонування всіх підсистем.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lin Y.H., Mao W.L., Fathurrahman H.I.K. Development of intelligent Municipal Solid waste Sorter for recyclables. *Waste Management*, 2024. 174, P. 597-604.
2. Jivani S., Dubey V., Bharamal M., Parmar C., Nahar T. Advancements and challenges in optical sorting technology in real time: A review. In 2024 Parul International Conference on Engineering and Technology (PICET). 2024. P. 1-6).
3. Оптична сортувальна машина Raynbow. URL: <https://tolsma.com.ua/optychne-sortuvannya/optychne-sortuvannya-raynbow/> (дата звернення: 07.04.2026).
4. Chowdhury R., Sultana R. The Role Of ERP-Integrated Decision Support Systems In Enhancing Efficiency And Coordination In Healthcare Logistics: A Quantitative Study. *International Journal of Scientific Interdisciplinary Research*, 2023. 4(4), P. 265-285.
5. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
6. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
7. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018. 740 с.
8. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart rhythm with increased informativeness. *Acta mechanica et automatic*. 2018. Vol. 12. P. 311-315.
9. Shabliy N., Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Malyshevska O. Keystroke dynamics analysis using machine learning methods. *Applied Computer Science*. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 75-83.
10. Palamar M., Yavorska M., Palamar A., Strembitskyi M. Modeling and Research of Satellite Antenna Adjustment Process for Earth Remote Sensing. 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW), Kharkiv, Ukraine, November 14-18, 2022. P. 317-320.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

12. Zozulia A., Lytvynenko I., Lutsyk N., Lupenko S., Yasniy O. Method of vector rhythmcardiosignal automatic generation in computer-based systems of heart rhythm analysis. *Visnyk of TNTU*. 2020. Vol. 97, P. 122-132.

13. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. *CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2024)*, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

14. Palamar M., Nakonetchnyi Y., Palamar A., Strembitskyi M., Apostol Y. Modernization of the azimuth drive design for the antenna system. *Scientific Journal of TNTU*, Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 117, No 1, P. 54–61.

15. Strembitskyi M., Yavorska M., Palamar A., Kochan R., Yeromenko V. A comparative study of bug algorithms for robot navigation. *CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2025)*, Ternopil, Ukraine, June 11-12, 2025. Vol. 4057 P. 312-321.

16. Yasniy O., Lutsyk N., Demchyk V., Osukhivska H., Malyshevska O. The prediction of structural properties of Ni-Ti shape memory alloy by the supervised machine learning methods. *CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023)*, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 73–78.

17. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. *Scientific Journal of TNTU*, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

18. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. *8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II"* (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

					<i>КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						60
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

19. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851.

20. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

21. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.

22. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

23. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

24. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

25. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

27. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

28. Palamar A., Karpinskyy M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

29. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

30. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

31. Palamar A., Karpinskyy M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. 7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011), June 1-3, 2011. P. 173–177.

32. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

33. Ярошевська В.М. Безпека життєдіяльності. Підручник. – 2-е вид. К.: ВД „Професіонал”, 2006. 560 с.

34. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення : вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

35. Бедрій Я.І. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-е вид. перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2018. 240 с.

					КС КРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедру КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ
ТОВАРІВ НА ОСНОВІ РОЗПІЗНАВАННЯ ЇХ КОЛЬОРУ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ PhD Луцик Н.С.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-42

_____ Лігус Я.О.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютерна система автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.183.00.00.

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Лігус Ярослав Олегович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/9-188 від «24» квітня 2026 року.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 21.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Оформлення технічної документації до кваліфікаційної роботи бакалавра здійснюється згідно діючих вимог вітчизняних та міжнародних стандартів. Технічна документація до кваліфікаційної роботи бакалавра включає в себе текст пояснювальної записки та креслення, які максимально інформативно та стисло відображають основні результати розробки комп'ютерної системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проектування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЕСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система автоматизованого сортування призначена для автоматичного виявлення кольору товарів, їх класифікації відповідно до заданих параметрів та подальшого фізичного розподілу за допомогою виконавчих механізмів. Система забезпечує зменшення участі оператора в процесі сортування, підвищення точності та повторюваності операцій, а також можливість дистанційного контролю за роботою системи.

2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є розробка апаратно-програмного комплексу, який реалізує автоматизоване сортування товарів за кольором із використанням

технологій Інтернету речей, забезпечує збір та передавання даних на IoT-платформу, а також дозволяє здійснювати моніторинг і аналіз роботи системи в режимі реального часу.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом керування є потік товарів, що переміщуються зоною контролю та підлягають сортуванню за кольоровими характеристиками. Вироби можуть мати однакову форму та розміри, але відрізнятися кольором поверхні. Процес сортування передбачає послідовні етапи виявлення виробу, зчитування кольору, прийняття рішення та механічного перенаправлення виробу до відповідної зони.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна функціонувати в автоматичному режимі, забезпечувати стабільну роботу впродовж тривалого часу та бути адаптованою до використання в умовах навчальних лабораторій або невеликих виробничих дільниць. Архітектура системи має бути модульною, що спрощує її модернізацію та масштабування.

Система повинна:

- забезпечувати коректне розпізнавання кольору товарів;
- здійснювати автоматичне сортування без втручання оператора;
- передавати дані про результати сортування на IoT-платформу;
- мати зручний інтерфейс для моніторингу.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структурно система повинна складатися з таких основних компонентів: мікроконтролерного блоку керування, сенсорного модуля розпізнавання кольору, виконавчих механізмів, модуля зв'язку та програмного забезпечення. Функціонування системи має ґрунтуватися на послідовному виконанні алгоритму зчитування даних із сенсора, їх обробки, прийняття рішення та керування виконавчими пристроями.

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

Обмін даними між внутрішніми компонентами системи повинен здійснюватися з використанням стандартних інтерфейсів, таких як I²C, SPI або UART. Для передавання даних на IoT-платформу необхідно використовувати бездротовий зв'язок на основі Wi-Fi. Протоколи передавання даних повинні забезпечувати надійність, мінімальні затримки та сумісність із хмарними сервісами.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати кілька режимів роботи, зокрема:

- автоматичний режим сортування;
- тестовий режим для перевірки працездатності компонентів;
- режим налаштування параметрів розпізнавання кольору.

Перехід між режимами має здійснюватися програмними засобами без необхідності апаратного втручання.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Архітектура системи повинна передбачати можливість розширення функціональних можливостей, зокрема:

- збільшення кількості розпізнаваних кольорів;
- інтеграцію додаткових сенсорів;
- підключення системи до інших інформаційних або виробничих платформ;
- реалізацію аналітичних функцій на основі зібраних даних.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечувати безперервну роботу в межах заданих умов експлуатації. Програмне забезпечення має бути стійким до збоїв зв'язку та некоректних вхідних даних. У разі виникнення помилок система повинна переходити в безпечний стан або повідомляти користувача про несправність через IoT-платформу.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Основними функціями системи є:

- виявлення наявності виробу в зоні контролю;
- визначення кольору виробу;
- класифікація товарів за кольоровими ознаками;
- керування виконавчими механізмами для сортування;
- передавання даних про результати сортування на IoT-платформу;
- збереження статистичної інформації для подальшого аналізу.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратне забезпечення системи повинно базуватися на сучасному мікроконтролері з підтримкою бездротового зв'язку. Сенсор кольору має забезпечувати достатню точність та стабільність вимірювань. Виконавчі механізми повинні відповідати вимогам швидкодії та надійності. Усі компоненти мають бути сумісними між собою та безпечними для використання.

Вимоги до елементної бази розробки:

- режими роботи і умови експлуатації вибраних елементів повинні відповідати вказаним в ТЗ;
- вибрана елементна база має забезпечувати необхідні режими роботи системи;
- елементна база по можливості має бути широковживаною, доступною і дешевою. Необхідно також враховувати можливість заміни вибраних елементів на аналогічні (вітчизняні чи імпортного виробництва).

Вимоги до мікроконтролера:

- мікроконтролер має підтримувати RISC архітектуру команд;
- мікроконтролер повинен містити необхідний набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.) та потрібну кількість керованих портів введення /виведення.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 1. структурна схема системи;
 2. схема електрична принципова;
 3. блок-схема алгоритму роботи;

4. результати моделювання системи.

*Примітка: В комплект конструкторської документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02 – 15.02
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютерної системи	20.04 – 25.04
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютерної системи	26.04 – 05.05
5.	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	26.05 – 07.06
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	08.06 – 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 бакалавра

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

Додаток Б
Перелік елементів

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера для реалізації системи автоматизованого сортування товарів на основі розпізнавання їх кольору.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_TCS34725.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>
#include "secret.h"

// LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// Color sensor
Adafruit_TCS34725 tcs =
Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS,
                  TCS34725_GAIN_4X);

// IR sensor
#define IR_SENSOR D5
// Servos
Servo servo1;
Servo servo2;
#define SERVO1_PIN D6
#define SERVO2_PIN D7
// Counters
int redCount = 0;
int greenCount = 0;
int yellowCount = 0;
int orangeCount = 0;
// WiFi client
WiFiClient client;

// ===== Ініціалізація =====
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(IR_SENSOR, INPUT);
  servo1.attach(SERVO1_PIN);
  servo2.attach(SERVO2_PIN);
  servo1.write(90);
  servo2.write(90);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("System Init...");
  if (!tcs.begin()) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("TCS ERROR");
  }
}
```

```

    while (1);
}
WiFi.begin(ssid, password);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Connecting WiFi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
lcd.clear();
lcd.print("WiFi Connected");
delay(1000);
}
// ===== ОСНОВНИЙ ЦИКЛ =====
void loop() {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Waiting object ");
    // Очікування об'єкта
    if (digitalRead(IR_SENSOR) == LOW) {
        delay(200);
        uint16_t r, g, b, c;
        tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);
        String color = detectColor(r, g, b);
        displayData(color);
        sortObject(color);
        sendToThingSpeak();
        delay(1500);
    }
}
// ===== Визначення кольору =====
String detectColor(uint16_t r, uint16_t g, uint16_t b) {
    float sum = r + g + b;
    if (sum == 0) return "UNKNOWN";
    float rn = r / sum;
    float gn = g / sum;
    float bn = b / sum;
    // RED
    if (rn > 0.45 && rn > gn && rn > bn) return "RED";
    // GREEN
    if (gn > 0.40 && gn > rn && gn > bn) return "GREEN";
    // YELLOW (R + G)
    if (rn > 0.35 && gn > 0.35 && bn < 0.2) return "YELLOW";
    // ORANGE (R > G, G середній)
    if (rn > 0.45 && gn > 0.25 && gn < 0.4 && bn < 0.2) return
"ORANGE";
    return "UNKNOWN";
}
// ===== Сортування =====
void sortObject(String color) {
    if (color == "RED") {
        servo2.write(20);
        redCount++;
    }
}

```

```

else if (color == "GREEN") {
    servo2.write(70);
    greenCount++;
}
else if (color == "YELLOW") {
    servo2.write(120);
    yellowCount++;
}
else if (color == "ORANGE") {
    servo2.write(160);
    orangeCount++;
}
else {
    servo2.write(90); // бпак
}
delay(1000);
servo2.write(90);
}
// ===== ThingSpeak =====
void sendToThingSpeak() {
    if (client.connect(server, 80)) {
        String url = "/update?api_key=" + apiKey;
        url += "&field1=" + String(redCount);
        url += "&field2=" + String(greenCount);
        url += "&field3=" + String(yellowCount);
        url += "&field4=" + String(orangeCount);
        client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
            "Host: " + server + "\r\n" +
            "Connection: close\r\n\r\n");
        delay(100);
        client.stop();
    }
}

void displayData(String color) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("C:" + color);
    // Сторінка 1
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("R:");
    lcd.print(redCount);
    lcd.print(" G:");
    lcd.print(greenCount);
    delay(1500);
    // Сторінка 2
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Y:");
    lcd.print(yellowCount);
    lcd.print(" O:");
    lcd.print(orangeCount);
}

```