

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повне найменування інституту)
Кафедра обчислювальної техніки
(повна назва кафедри)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«Методи та мікропроцесорні засоби визначення кольору»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

08-23.МКР.011.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи 1КІ-21м
спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»

Пашенко О. П.

Керівник: к.т.н., доц.каф. ОТ

Тарновський М. Г.

« 20 » 12 2022 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ПЗ

Войтко В. В.

« 19 » 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ОТ

Азаров О. Д.
д.т.н., проф. Азаров О. Д.

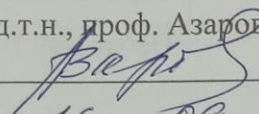
« 20 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра Обчислювальної техніки
Рівень вищої освіти II-ий (магістерський)
Галузь знань 12 – Інформаційні технології
Спеціальність 123 – «Комп'ютерна інженерія»
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
обчислювальної техніки
д.т.н., проф. Азаров О. Д.


«16» 09 2022 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Пащенко Олександр Петровичу

1 Тема роботи «Методи та мікропроцесорні засоби визначення кольору», керівник роботи Тарновський Микола Геннадійович, к.т.н., доцент затверджено наказом Вінницького національного технічного університету від «15.09» 2022 року № 205-А

2 Термін подання студентом роботи 21.12.2022 р.

3 Вихідні дані до роботи: призначення — визначення параметрів кольору відповідно до однієї з колірних моделей; тип пристрою — портативний; подання результату вимірювання в системі RGB; підтримка можливості підключення до зовнішнього пристрою з повнокольоровим графічним дисплеєм.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз сучасних підходів до визначення кольору; обґрунтування методу визначення кольору та його технічної реалізації; розробка структурної схеми мікропроцесорного засобу для визначення кольору; розробка схеми електричної функціональної мікропроцесорного засобу для визначення кольору; розробка блок-схеми програми для мікроконтролера; економічна частина.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язков креслень): схематичне зображення технічної реалізації методу визначен кольору; структурна схема засобу для визначення кольору; функціональ схема засобу для визначення кольору; блок-схема алгоритму робо мікроконтролера.

6. Консультанти розділів роботи приведені в таблиці 1

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3	Тарновський М. Г. к.т.н., доцент		
4	Небава М. І. к.е.н., проф.		

7. Дата видачі завдання _____

8 Календарний план виконання МКР приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання	Підпис
1	Постановка задачі		
2	Огляд існуючих рішень		
3	Розробка структурної схеми		
4	Розробка функціональної схеми		
5	Розрахунок економічної частини		
6	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу		
7	Перевірка якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків		
8	Підписи супроводжувальних документів у керівника, опонента, нормоконтролера		
9	Перевірка «антиплагіат»		
10	Попередній захист		

Студент

(підпис)

Пащенко О. П.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тарновський М. Г.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пащенко О. П. Методи та мікропроцесорні засоби визначення кольору. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна Інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2022.

На укр. мові. Бібліогр.: 45 назв; рис.: 23; табл. 19.

У роботі розглянуто принципи побудови мікропроцесорного засобу визначення кольору колориметричним методом. В роботі проведений аналіз сучасних підходів до визначення кольору, вибрано та проаналізовано аналоги, розглянуто методи визначення колірних координат, запропоновано більш просту реалізацію колориметричного методу. Розроблено структурну та функціональні схеми удосконаленого мікроконтролерного засобу, що дозволяє більш просто визначати колориметричним методом колірні координати в апаратно-незалежній колірній системі XYZ, визначено алгоритм його роботи.

Ключові слова: визначення кольору, колірні моделі, колірні координати, колориметр, колориметричний метод, додавання кольорів.

ABSTRACT

Pashchenko O. P. Methods and microprocessor means of color determination. Master's thesis on the specialty 123 — Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2022.

In Ukrainian language Bibliogr.: 45 titles; fig.: 23; table 19.

The work considers the principles of building a microprocessor-based means of determining color by the colorimetric method. The paper analyzes modern approaches to color determination, selects and analyzes analogs, considers methods for determining color coordinates, and proposes a simpler implementation of the colorimetric method. The structural and functional schemes of the improved microcontroller tool were developed, which allows to more easily determine the color coordinates in the hardware-independent color system XYZ by the colorimetric method, and the algorithm of its operation was determined.

Keywords: color definition, color models, color coordinates, colorimeter, colorimetric method, color addition.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ	11
1.1 Сучасні колірні системи та моделі	11
1.2 Аналіз сучасних підходів до визначення кольору	19
1.3 Аналіз аналогів	21
2 ВИБІР МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ТА ЙОГО ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ	27
2.1 Обґрунтування методу визначення кольору	27
2.2 Визначення технічної реалізації запропонованого методу визначення кольору	35
3 РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ	41
3.1 Розробка структурної схеми.....	41
3.2 Вибір елементної бази та схемних рішень для реалізації блоків структурної схеми	49
3.3 Розробка схеми електричної функціональної	61
3.4 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера.....	64
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	66
4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки.....	66
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи.....	69
4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором	77
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.	79

					08-23.МКР.011.00.000 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		Пащенко О. П.			<i>Лім.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		Гарновський М.Г				6	87
<i>Рецензент</i>		Войтко В. В.			ВНТУ, гр. 1КІ-21м		
<i>Н.контр.</i>		Швець С. І.					
<i>Затвердж.</i>		Азаров О.Д					
Методи та мікропроцесорні засоби визначення кольору							
Пояснювальна записка							

ВИСНОВКИ	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	84
ДОДАТОК А Технічне завдання	89
ДОДАТОК Б Загальна схема реалізації вдосконаленого колориметричного методу	93
ДОДАТОК В Структурна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору	94
ДОДАТОК Г Функціональна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору	95
ДОДАТОК Д Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного засобу визначення кольору.....	96
ДОДАТОК Е Лістинг модуля Main.c	97
ДОДАТОК Ж Лістинг модуля USB.c	99
ДОДАТОК К Лістинг модуля USART.c	103
ДОДАТОК Л Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	106

					08-23.МКР.011.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Поняття кольору має багато трактувань, але найбільш точно визначає колір як відчуття, що виникає у свідомості людини при дії на її зоровий апарат електромагнітного випромінювання спектрального діапазону від 380 нм до 760 нм. Відповідно до цього колір не є фізичною змінною, а тому не має фізичних одиниць для визначення [1], [2].

Актуальність теми дослідження обумовлена тим, що точне та незалежне від наших відчуттів визначення кольору набуває сьогодні усе більш важливого значення у багатьох галузях. Зовнішні кольорові характеристики дозволяють визначити ступінь готовності та якість продукції в харчовій промисловості. Тому вони стандартизовані і строго контролюються. Це саме стосується і виробництва косметичної продукції. Особливо це актуально на етапі вибору та роботи з пігментами, які впливають на кінцевий колір виробу [3], [4].

Аналогічні задачі вирішуються і автомобілебудуванні. Усі елементи кузова повинні мати один і той самий колір, незалежно від складності відтінків та використовуваних матеріалів. При цьому контроль за колірною відповідністю виходить на перший план з огляду на те, що окремі деталі отримуються від різних постачальників, які використовують різні методи фарбування. При ремонті автомобілів, що передбачає фарбування окремих ділянок або елементів кузова, вимагається точне попадання в тон, що не можливо здійснити без спеціальних засобів визначення кольору при невідомому коді фарби або відсутності потрібного зразку у каталозі кольорів [4], [5].

Точне відтворення кольору є важливим при виробництві паперу, виготовленні будматеріалів, полімерів, в поліграфії, на текстильних підприємствах, при реставраційних роботах. Без визначення кольору неможливо обійтися і у сфері графічного дизайну при застосуванні кольору наявного предмета або зразка у певному проекті або макеті [4], [6].

Вміння визначати колір надає можливість його контролювати, відтворювати та передавати інформацію про нього. Контроль кольору в різних галузях забезпечує єдність інформації про колір продукції, переданої між

окремими виробниками або різними виробництвами. Особливо це важливо з погляду комп'ютерних технологій. Сучасні комп'ютеризовані системи підгонки та розрахунку рецептур кольору стали обов'язковим атрибутом при виробництві та використанні забарвлених матеріалів. Поряд із цим, завдання визначення та перетворення кольору вирішуються і в самих засобах комп'ютерної техніки, зокрема, в моніторах, сканерах і принтерах.

Поряд із цим застосування комп'ютерних технологій для створення кольорових зображень різноманітного призначення не завжди дозволяє отримати очікуваний результат [6]. Це обумовлено фундаментальними відмінностями між характером сприйняття кольору людиною та способом його відтворення сканерами, моніторами, аналоговими та цифровими камерами, а також фарбами при друці, що вимагає незалежного визначення та опису кольору.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії світла з речовиною.

Предметом дослідження є методи та засоби визначення параметрів кольору.

Метою роботи є вдосконалення засобу для визначення параметрів кольору.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язані такі задачі:

- аналіз сучасних підходів до визначення параметрів кольору;
- вибір методу визначення кольору та його технічної реалізації;
- визначення структурної та функціональної побудови мікроконтролерного засобу для визначення кольору.

Для досягнення поставленої в роботі мети використовуються такі **методи дослідження**:

- системний аналіз;
- методи схемотехнічного проектування.

Наукова новизна полягає в тому, що дістав подальшого розвитку колориметричний метод визначення колірних координат, в якому, на відміну від класичного для освітлення поверхні використовується не біле світло, а світлові потоки, які відповідають кривим додавання, що дозволило не використовувати

світлофільтри.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропоновані підходи до визначення колірних координат дозволяють спростити та здешевити технічну реалізацію засобу для визначення кольору.

Апробація результатів роботи здійснена в доповіді на Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)» (ВНТУ)

Матеріали роботи доповідались та опубліковувались:

Пащенко О. П. Мікропроцесорний засіб для визначення кольору / О. П. Пащенко, М. Г. Тарновський // Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)» (15 листопада 2022 р .— 12 травня 2023 р., Вінниця) : Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/view/16907>

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ

1.1 Сучасні колірні системи та моделі

Як було зазначено вище, під кольором розуміють якісну суб'єктивну характеристику світлового випромінювання, що визначається на підставі викликаного ним зорового відчуття і залежить від певних фізичних, фізіологічних і психологічних факторів. Останні проявляються в тому, що світловий потік того самого спектрального складу викликає різні відчуття у різних людей, тобто сприйняття кольору є індивідуальним для кожної людини.

З іншого боку щось подібне можна зазначити і щодо комп'ютерних засобів введення/виведення зображень. Кожний піксель зображення описується певними числовими параметрами, що визначають його колір. При переміщенні зображення з одного пристрою на інший кольорова палітра зображення може змінитися, оскільки кожен пристрій інтерпретує значення цих числових параметрів відповідно до власного колірного простору. Так, наприклад, неможливо, щоб усі кольори, які відображаються на моніторі, повністю відповідали б кольорам, отриманим у результаті друку [6], [7]. Незважаючи на те, що не представляється можливим ідеально узгодити усі кольори на різних пристроях, для забезпечення однаковості кольорів або такого ступеня їх подібності, при якому вони здавалися би однаковими, можна здійснити керування ними. Це можна досягти лише за рахунок представлення кожного кольору якимись кількісними значеннями або математичними виразами. При цьому результати такого представлення повинні бути однозначними.

Кожен колір має кількісні характеристики, такі як колірний тон, яскравість, світлота, насиченість. Колірний тон є тим атрибутом, який дозволяє відрізнити колір від білого та сірого, визначаючи його як червоний, жовтий і т.п..

Яскравість характеризує інтенсивність кольору, те наскільки темним або світлим він виглядає. Чим більша яскравість, тим світліший колір. Яскравість, що є об'єктивною величиною, яку можна виміряти, сприймається як світлота, яка є суб'єктивною величиною, що характеризує світлове відчуття.

Насиченість визначає відмінність кольору від безбарвного (нейтрального) сірого кольору тієї самої яскравості. Чим нижча насиченість, тим більш сірим виглядає колір [2].

Основою математичного опису кольору є експериментально встановлений закон Грассмана, відповідно до якого будь-який колір можна представити у вигляді суми певної кількості трьох лінійно незалежних кольорів — кольорів, жоден з яких не може бути отриманий як лінійна комбінація двох інших. Систем лінійно незалежних кольорів є нескінченна кількість, але широко поширення отримали лише деякі з них. Три вибраних лінійно незалежних кольори називають основним кольорами. Основні кольори утворюють колірну систему координат або тривимірний колірний простір [2], [8], [9].

Колірний простір є відображенням колірної моделі та характеризується певним охопленням (діапазоном) кольорів. Колірна модель представляє окремий метод опису та класифікації кольору і визначає розподіл кольору на складові. Незалежно від того, що лежить в основі, будь-яка колірна модель повинна відповідати трьом вимогам. Колір моделі повинен бути визначений стандартним способом, що не залежить від можливостей якогось конкретного пристрою. Модель повинна точно визначати гаму, або діапазон кольорів, що задаються. Існує багато різних колірних моделей, але всі вони належать до одного з трьох типів: перцепційні (сприйняття), адитивні (засновані на додаванні) і субтрактивні (засновані на відніманні) [9].

У кожній колірній моделі колір C представляється вектором у колірному просторі, який визначається лінійною комбінацією трьох одиничних векторів , що утворюють ту саму систему координат колірного простору:

$$\vec{C} = m \cdot \vec{M} + n \cdot \vec{N} + p \cdot \vec{P}, \quad (1.1)$$

де \vec{M} , \vec{N} та \vec{P} — одиничні вектори;

m , n та p — координати кольору.

Представлення кольору у вигляді вектора дозволяє додавати кольори за

правилом додавання векторів.

Колір залежить не від абсолютних значень кількості основних кольорів у суміші, а від їх відносної кількості. Тому m , n та p можна замінити їх відносними долями, так званими координатами кольоровості:

$$m' = \frac{m}{m+n+p}; \quad n' = \frac{n}{m+n+p}; \quad p' = \frac{p}{m+n+p}, \quad (1.2)$$

при цьому

$$m' + n' + p' = 1$$

Найбільш простою та очевидною для розуміння є колірна модель RGB (від англ. Red — червоний, Green — зелений, Blue — блакитний), що знаходить застосування в пристроях, в яких відтворення зображення ґрунтується на пропусканні або поглинанні світла: монітори, сканери та цифрові камери. Колірна модель RGB є адитивною, оскільки кольори в ній генеруються додаванням світлових потоків червоного, зеленого та блакитного випромінювань. Тому вторинні кольори завжди мають більшу яскравість, ніж використані для їх отримання основні кольори. Сума основних кольорів максимальної інтенсивності дає білий колір, нульової — чорний, рівних проміжних значень — нейтральні відтінки сірого [8].

Як основні кольори в моделі RGB використовуються випромінювання з довжинами хвиль $R = 700$ нм, $G = 546,1$ нм і $B = 435,8$ нм. На основі експериментальних даних встановлено, що для отримання білого кольору інтенсивності червоного, зеленого і синього випромінювань повинні відноситися як $1 : 4.59 : 0.06$ [9]. На рис. 1.1 представлені криві питомих координат m' , n' та p' кольору у моделі RGB (позначені як r' , g' та b'), які відображають відносні кількості основних випромінювань цієї системи, при якій їх суміш буде мати колір, аналогічний кольору монохроматичного випромінювання одиничної інтенсивності з довжиною хвилі λ . Ці криві отримали назву кривих додавання.

Різні пристрої навіть одного і того самого типу, наприклад монітори, один і той самий колір відтворюють по різному, оскільки кожен з них має свої

характеристики трьох основних кольорів RGB. Крім того, ці характеристики не є постійними і можуть змінюватися з часом. Оскільки апаратно залежні кольори RGB технічних засобів можуть відрізнятися від кольорів, прийнятих в моделі RGB, відтворювані ними одні і ті самі кольори відрізняються між собою.

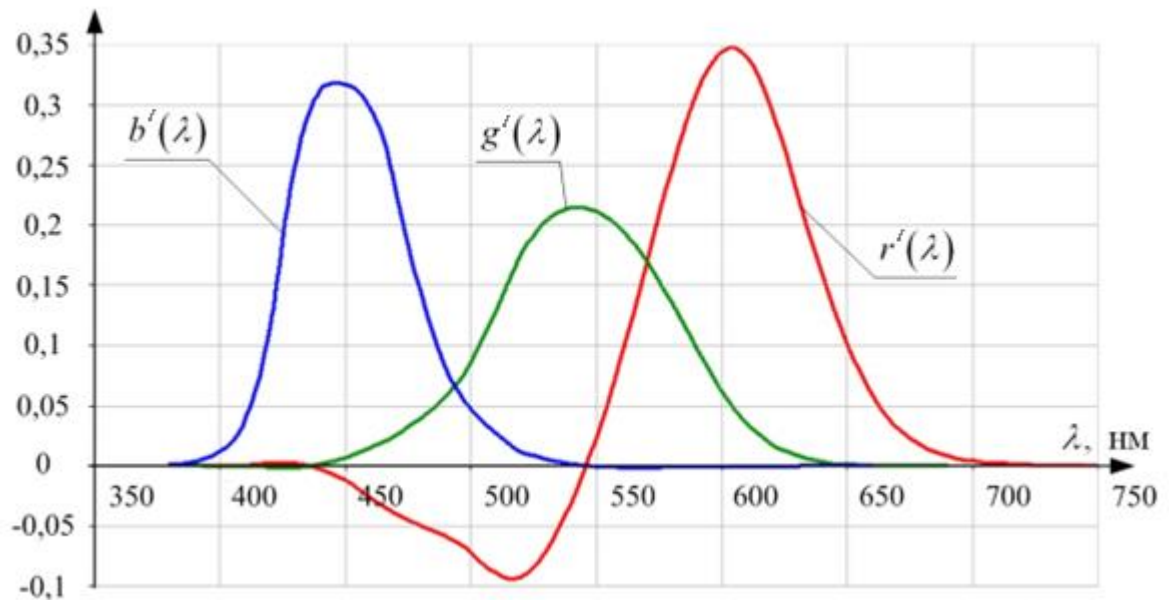


Рисунок 1.1 — Криві додавання системи RGB

З графіків на рис. 1.1 витікає, що модель RGB не дозволяє відтворити деякі кольори. Це кольори, які відповідають випромінюванням з довжинами хвиль в діапазоні приблизно від 440 нм до 550 нм. У цьому діапазоні графік для частки червоної складової знаходиться в області негативних значень, тобто для отримання зазначених кольорів червону складову треба не додавати, а віднімати, що фізично не реалізуємо. Іншим доволі значним недоліком моделі RGB є необхідність визначення усіх трьох складових кольору для відтворення його яскравість [9].

Зазначених недоліків позбавлена модель XYZ, яка була прийнята майже одночасно з моделлю RGB. В основу моделі XYZ покладено вимогу спрощення колірних розрахунків, для чого були сформульовані такі вимоги:

— усі видимі кольори повинні виражатися лише позитивними компонентами;

— яскравість кольору повинна визначатися лише однією координатою;

— колірні координати білого кольору повинні бути рівними.

За основні кольори в моделі XYZ прийняті не існуючі, більш насичені, ніж реальні кольори. Координатна система XYZ вибрана так, щоб вектори основних кольорів знаходилися у колірному просторі поза межами реальних кольорів. Оскільки основні кольори моделі XYZ в природі не існують, їх назвали X, Y, Z. Якщо проводити аналогію з моделлю RGB, колір X відповідає R, Y — G, Z — B. Відповідно до другої вимоги яскравість кольору визначається координатою Y [10].

Криві додавання моделі XYZ представлені на рис. 1.2.

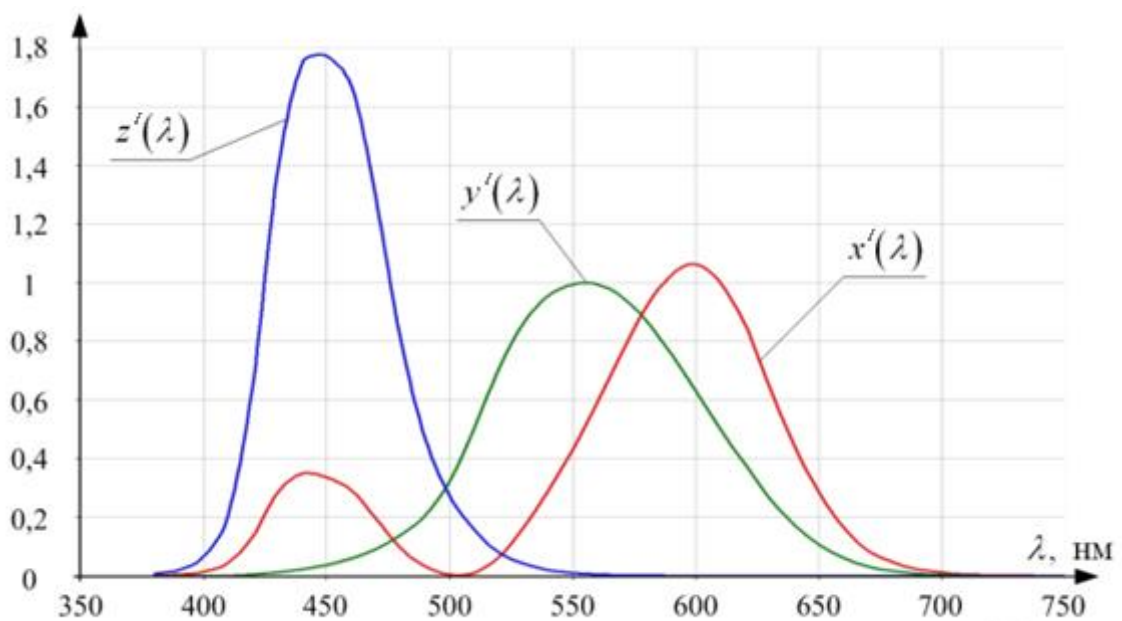


Рисунок 1.2 — Криві додавання системи XYZ

Векторні колірні рівняння, що встановлюють відповідність між основними кольорами \vec{X} , \vec{Y} , \vec{Z} та \vec{R} , \vec{G} , \vec{B} мають вигляд [10]:

$$\begin{aligned}\vec{X} &= 2,364 \cdot \vec{R} - 0,515 \cdot \vec{G} + 0,005 \cdot \vec{B} \\ \vec{Y} &= -0,897 \cdot \vec{R} + 1,426 \cdot \vec{G} - 0,014 \cdot \vec{B} \\ \vec{Z} &= -0,468 \cdot \vec{R} + 0,089 \cdot \vec{G} + 1,009 \cdot \vec{B}\end{aligned}\quad (1.3)$$

Зв'язок між координатами кольоровості довільного кольору A встановлюється рівняннями [10]:

$$\begin{aligned}x' &= 0,49 \cdot r' + 0,31 \cdot g' + 0,20 \cdot b' \\y' &= 0,18 \cdot r' + 0,81 \cdot g' + 0,01 \cdot b' , \\z' &= 0,00 \cdot r' + 0,01 \cdot g' + 0,99 \cdot b'\end{aligned}\tag{1.4}$$

Колірна модель XYZ дозволяє точно відтворювати та передавати інформацію про колір. Особливе значення має складова $y'(\lambda)$, форма якої збігається з формою відносної кривої видимості людського ока. На системі XYZ базується усі подальші досягнення науки про колір, наприклад знайома багатьом система Lab. Основним недоліком системи XYZ є нерівномірність, яка проявляється в тому, що однакові зміни колірних координат в різних областях колірного простору не дають однакові зміни колірних відчуттів, тобто різниця між сусідніми кольорами в одній області колірного простору може бути практично непомітною, тоді як різниця між сусідніми кольорами в іншій — дуже помітною.

Колірна модель Lab заснована на сприйнятті кольору людиною та була створена з метою подолання недоліків інших моделей, зокрема, вона є апаратно незалежною та визначає кольори без врахування особливостей технічних засобів для введення/виведення зображень. На відміну від інших колірних моделей в моделі Lab колір описується з використанням трьох складових, що характеризує зір людини.

Модель Lab заснована на тому, що колір одночасно не може бути зеленим та червоним або жовтим та синім. Атрибути «червоний/зелений» і «жовтий/синій» описуються двома параметрами a та b , відповідно. У цій моделі будь-який колір визначається яскравістю (L-Lightness) і двома хроматичними компонентами: a — це кольори від темно-зеленого через сірий до пурпурового кольору, b — це кольори від синього через сірий до жовтого (рис. 1.3). Параметри a та b змінюються від -128 до 127, а параметр L від 0 до 100. Нульове значення колірних компонентів при яскравості 50 відповідає сірому кольору моделі RGB (119,119,119). При значенні яскравості 100 виходить білий колір, при 0 — чорний [11].

Яскравість у системі Lab повністю відокремлена від кольору. Це робить модель зручною для регулювання контрасту, різкості та інших світлових характеристик зображення. При конвертації в Lab усі кольори зберігаються. Можна перевести зображення в режим Lab, виконати корекцію зображення, а потім безболісно перевести результат назад в режим RGB. Колірне охоплення Lab ширше, ніж RGB, тому кожне повторне перетворення з одного режиму в інший досить безпечно. Ця властивість Lab дуже важлива для поліграфії.

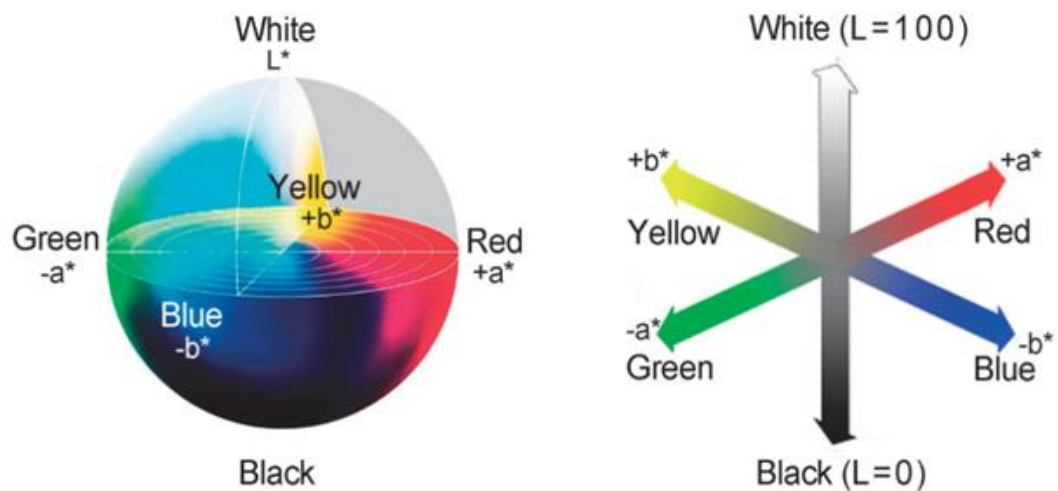


Рисунок 1.3 — Колірна модель Lab

Оскільки параметри Lab описують, як виглядає колір, а не скільки конкретної фарби певного пристрою (наприклад, монітору, принтеру або цифровій камері) для відтворення кольорів, Lab вважається апаратно незалежною колірною моделлю. Системи керування кольором використовують Lab як довідник кольорів, щоб отримувати передбачувані результати при перетворенні кольору з одного колірного простору в інший [6], [11].

Параметри моделі Lab зв'язані з основними кольорами моделі XYZ такими співвідношеннями [12]:

$$\begin{aligned}
 L &= 116 \cdot \sqrt[3]{Y/Y_n} - 16 \\
 a &= 500 \cdot \left(\sqrt[3]{X/X_n} - \sqrt[3]{Y/Y_n} \right), \\
 b &= 200 \cdot \left(\sqrt[3]{Y/Y_n} - \sqrt[3]{Z/Z_n} \right)
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

де X_n, Y_n, Z_n — значення X, Y, Z для використовуваного джерела світла.

Основною субтрактивною широко використовуваною у пристроях друку моделлю є модель CMY (СМУК). Основними кольорами у цій моделі є блакитний (Cyan), пурпуровий (Magenta) та жовтий (Yellow). Кожен з трьох базових кольорів моделі СМУК отримується у результаті віднімання від білого кольору одного з основних кольорів моделі RGB. Так, наприклад, блакитний отримується відніманням червоного, а жовтий — синього, пурпуровий — зеленого:

$$\begin{aligned} \text{Cyan} &= RGB - R = GB \\ \text{YeLLow} &= RGB - B = RG, \\ \text{Magenta} &= RGB - G = RB \end{aligned} \quad (1.6)$$

Оскільки основні кольори СМУК є результатом віднімання від білого, саме тому їх називають субтрактивними. Віднімання кольору відповідає поглинанню його фарбою, тому модель СМУК підходить для роботи з відбитим світлом [13].

З виразів (1.6) витікає, що додавання основних кольорів СМУК дає у результаті чорний:

$$\text{Cyan} + \text{YeLLow} + \text{Magenta} = RGB - R - B - G, \quad (1.7)$$

а віднімання від білого усіх основних кольорів — білий:

$$\begin{aligned} &RGB - \text{Cyan} - \text{YeLLow} - \text{Magenta} = \\ &= RGB - (RGB - R) - (RGB - B) - (RGB - G) = RGB \end{aligned} \quad (1.8)$$

Таким чином у моделі СМУК білий колір з'являється як результат відсутності всіх кольорів, тоді як їх присутність у рівних пропорціях дає чорний колір. На практиці останній принци не виконується — результат змішування дає брудно-коричневий колір. Тому в колірну модель СМУК включено ще й чистий чорний колір (літера К в аббревіатурі моделі), який використовується для створення темних відтінків, а також для друку чорних елементів зображення [13], [14].

На завершення слід додати, що сьогодні на практиці у пристроях введення/виведення зображень використовуються лише моделі: RGB та СМУК.

Моделі XYZ та Lab призначаються для збереження та передавання апаратно-незалежної інформації про колір, а також для перетворення колірних координат колірного простору одного пристрою, в колірні координати колірного простору іншого.

1.2 Аналіз сучасних підходів до визначення кольору

Сьогодні контроль та визначення кольору здійснюється за допомогою різних приладів, основними з яких є денситометри, спектрофотометри та колориметри. Відмінності між ними полягають у різному принципі роботи.

Денситометр є фотоелектричним пристроєм, що визначає оптичну густина або її похідні, де оптична густина є базовою. Зокрема за допомогою денситометра можна визначити, який відсоток світла відбивається або поглинається [15].

Денситометри використовуються в поліграфії. Вони бувають двох типів: ті що працюють зі світлом, яке проходить, і ті, що працюють зі світлом, яке відбивається. Перші використовуються при роботі з прозорими матеріалами, другі — з об'єктами, що відбивають та розсіюють світло, наприклад, друковані зображення.

Принцип дії денситометра заснований на вимірюванні інтенсивності світлового потоку, що пройшов або відбився від зразка. При контролі якості друкованого зображення його освітлюють білим світлом, що в ідеалі складається з рівних часток червоного, зеленого та синього. Нанесена фарба містить пігменти, які поглинають одні світлові хвилі та відбиває інші. Денситометр вимірює поглинене світло певного кольору, що дозволяє контролювати оптичну щільність фарби, яка залежить від використовуваного у ній пігменту, його концентрації та товщині шару фарби. Для отримання можливості здійснювати контроль оптичного поглинання окремого кольору, перед фотоприймачем розміщують світлофільтр. Оскільки основними кольорами при друці є кольори моделі СМҮК, для контролю якості друкованих відбитків застосовуються світлофільтри для поглинання довжин хвиль, що відповідають блакитному,

пурпуровому та жовтому кольорам [12], [16].

Денситометри надають можливість з високою точністю контролювати параметри зафарбованого шару, але не дозволяють визначити параметри, безпосередньо пов'язані зі сприйняттям кольору людиною.

В основу спектрофотометричних вимірювань покладено принцип, відповідно до якого кожен колір можна описати за допомогою адитивного змішування спектральних кольорів. Яскравість кожної складової кольору визначається за інтенсивністю окремої вузької ділянки видимого спектру. Відповідно до цього спектрофотометри працюють шляхом розкладання світла на вузькі спектральні смуги з подальшим визначенням енергії, що припадає на кожну з них.

Інтенсивність кожної спектральної складової визначається за допомогою матричного фотоприймача, за рахунок чого отримується повна інформація про розподіл енергії по всьому спектру випромінювання відбитого, поглиненого або пропущеного зразком. Крім спектральної кривої, будь-який спектрофотометр може подати отримані дані в колірних координатах XYZ або Lab. Оскільки за допомогою спектрофотометра визначається кількість світлової енергії, що проходить через зразок або відбивається від нього одразу у кількох спектральних інтервалах, спектрофотометри надають можливість отримати повну інформацію про колір [15], [17].

Принцип дії колориметра подібний до сприйняття кольору людиною. Колориметр дозволяє визначити три складові кольору: червону, зелену та синю. Класичний підхід до побудови колориметра передбачає застосування кольорових світлофільтрів. Характеристика пропускання світлофільтрів підбирається так, щоб загальна спектральна характеристика чутливості збігалася з кривими додавання, наприклад, з кривими X, Y та Z. При цьому може використовуватися паралельна схема, з трьома світлофільтрами та трьома фотоприймачами, або послідовна, з одним фотоприймачем та трьома змінними світлофільтрами. У будь-якому випадку на виході формується електричний сигнал пропорційний координатам кольору, що дозволяє перерахувати значення сигналу у колірні

координати XYZ або Lab. Існують також інтегральні колориметри, принцип роботи заснований на одночасному перетворенні одним фотоприймачем трьох світлових потоків, отримуваних за допомогою світлофільтрів [15], [17].

В сучасних колориметрах обробка значень фотоструму здійснюється автоматично, за допомогою мікропроцесору або мікроконтролера. Крім визначення колірних координат як правило підтримується можливість отримання інших додаткових даних інформації, наприклад, значення яскравості, кількість колірних порогів, перерахунок колірних координат однієї колірної системи в іншу.

Підводячи підсумок проведеному аналізу слід зазначити, за допомогою денситометрів визначити кольорові координати довільного кольору не можливо. Колориметр краще підходить для визначення різниці кольорів, ніж для повного вимірювання кольору, а спектрофотометри дозволяють визначати колір з більшою точністю та мають більш широкий набір функцій, що функціонально робить їх більш гнучкими.

1.3 Аналіз аналогів

Одними з аналогів розглядуваних засобів є спектрофотометр Genius iQ (Axalta, Німеччина) (рис. 1.4), в якому впровадженні передові технології, зокрема трикутна технологія вимірювання кольору [18].



Рисунок 1.4 — Спектрофотометр Genius iQ

Спектрофотометр Genius iQ у комбінації з програмою Standwin iQ

дозволяє здійснити точний підбір кольору, пропонуючи найбільш підходящу формулу з бази даних з понад 200 тисяч кольорів, що постійно оновлюється. У програмі також передбачена функція доколорування формул з бази даних, щоб отримати найкращої відповідності з вимірюваним кольором. Standwin iQ може бути встановлена на будь-який ПК, планшет чи смартфон незалежно від операційної системи. Отримувати за допомогою спектрофотометра Genius iQ дані про колір передаються у програму через Wi-Fi-підключення. Можливість моментальної передачі вимірів у програму значно економить час, тим самим сприяючи оптимізації робочого процесу загалом. Для організації взаємодії з користувачем спектрофотометр обладнаний повнокольоровим сенсорним екраном [18].

Основні технічні особливості спектрофотометра Genius iQ [18]:

- 3-кутова вимірювальна оптика;
- висока точність та швидкість визначення (підбору) кольору;
- вбудоване джерело денного світла;
- вбудований повнокольоровий сенсорний дисплей високого розрізнення;
- просте та інтуїтивне управління;
- підтримка бездротового підключення Wi-Fi;
- можливість підключення через Wi-Fi та програмне забезпечення

Standwin iQ до хмарного середовища;

- підтримка безпосередньої взаємодії із засобом змішування фарб;
- портативний пристрій з живленням від акумуляторної батареї.

Основними недоліками спектрофотометра Genius iQ є висока ціна, яка складає понад 200 тис. грн., та те, що отримуваними результатами є зразок кольору, що міститься в базі даних, а не безпосередньо колірні координати.

Ще одними з аналогів є портативні спектрофотометри X-Rite серії MA9x (X-Rite, США) (рис. 1.5), що дозволяють здійснювати точне визначення кольору різних покриттів та матеріалів, у тому числі зі спеціальними ефектами типу «металік» і «перламутр», а також інших покриттів з особливими властивостями. Прилади забезпечують до 10 кутів вимірювання та 2 кути освітлення для

отримання унікального набору параметрів кожного кольору, які використовуються на всіх етапах колірної комунікації: дизайн, розробка колірної рецептури, виробництво та вихідний контроль якості.



Рисунок 1.5 — Спектрофотометри X-Rite серії MA9x

Прилади серії MA9x мають компактну, міцну, ергономічну конструкцію. Координати кольору виводяться для систем вимірювання кольору $L^*a^*b^*$, $\Delta L^*\Delta a^*\Delta b^*$, $L^*C^*h^\circ$, $\Delta L^*\Delta C^*\Delta H^*$, Flop Index. Для кожного кута визначається спектр відбитого випромінювання з роздільною здатністю 10 нм в спектральному діапазоні від 400 нм до 700 нм. Визначення спектру здійснюється за допомогою 31 світлофільтрів, які під час вимірювання послідовно позиціонуються кроковим двигуном напроти фотоприймача [19].

Основні технічні особливості спектрофотометрів X-Rite серії MA9x [19]:

- в залежності від типу 5, 6 та 10 кутів вимірювання;
- кути освітлення 2° та 10° ;
- вбудоване джерело денного світла;
- робочий спектральний діапазон від 400 нм до 700 нм;
- спектральний інтервал 10 нм;
- підтримувані колірні системи $L^*a^*b^*$, $\Delta L^*\Delta a^*\Delta b^*$, $L^*C^*h^\circ$, $\Delta L^*\Delta C^*\Delta H^*$, Flop Index;
- час вимірювання до 2 с;
- дані, що зберігаються: 250 еталонів та 1000 зразків;
- інтерфейси передачі даних: бездротове підключення Bluetooth та

дротове з'єднання USB;

- портативний пристрій з живленням від акумуляторної батареї;
- кількість вимірювань на повній зарядці: до 750 вимірів, для 5-ти кутів (при 10 с інтервалі між вимірами).

Основними недоліками спектрофотометрів X-Rite серії MA9х є висока ціна (понад 120 тис. грн.) та наявність рухомих механічних елементів.

Найбільш близьким до розглядуваних засобів є колориметр NH-310 (Китай) (рис. 1.6), що призначений для вирішення широкого кола завдань з вимірювання кольору. Колориметр NH-310 поєднав у собі найкращі властивості приладів провідних виробників і за цілою низкою параметрів немає аналогів. Вперше у світі в портативному колориметрі застосована відеокамера, для точного наведення приладу на ділянку, що вимірюється. Завдяки використанню світлодіодного підсвічування зона вимірювання може висвітлюватися безперервно, для покращення візуальної оцінки.



Рисунок 1.6 — Колориметр NH-310

Колориметр NH-310 має низьке енергоспоживання, що на одному заряді акумуляторів дозволяє провести понад 3000 вимірів. Для точного виміру кольору неоднорідних поверхонь передбачено автоматичне усереднення до 30 результатів. Наявний об'єм пам'яті забезпечує зберігання до 20 000 результатів вимірювань. Висока точність вимірювань забезпечується шляхом автоматичного проведення калібрування нуля та білого по вбудованій калібрувальній пластині при включенні приладу. Завдяки великому кольоровому дисплею, прилад має

зручне меню з докладними коментарями та ілюстраціями, одночасно відображаються як дані вимірювань цільового кольору та зразка, так і різниця кольорів і колориметричні індекси. Під час увімкнення відеокамери відображається зображення зони вимірювання, яке може бути збережене у вигляді файлу, пов'язаного з даними вимірювань. Для друку результатів вимірювання передбачено підключення принтера. Колориметр може працювати як автономно, і підключатися до комп'ютера через USB. Результати вимірів відображаються в програмі як у вигляді чисельних значень, так і у вигляді графіків, діаграм, трендів, ведеться статистика за різними параметрами, що спрощує роботу з великими об'ємами даних. Результати групуються до стандартних звітів, що дозволяють комплексно описати об'єкти вимірювань [20].

Основні технічні особливості колориметра NH-310 [20]:

- джерело світла — світлодіод;
- підтримувані колірні системи $L^*a^*b^*$, XYZ, RGB, $L^*u^*v^*$, L^*C^*h ;
- мінімальний інтервал між вимірами біля 1 с;
- вбудований повнокольоровий рідкокристалічний дисплей (2,8"; 16:9);
- інтерфейс передачі даних: USB;
- можливість безпосереднього підключення до принтера;
- портативний пристрій з живленням від акумуляторної батареї;
- тривалість автономної роботи: біля 3000 вимірювань протягом 8 год.

Основними недоліками колориметра NH-310 є доволі висока вартість (біля 30 тис. грн.) та підтримка лише USB інтерфейса.

З проведеного аналізу аналогів витікає, що розроблювані засоби повинні надавати інформацію про колір у вигляді кольірних координат в різних кольірних системах, підтримувати USB, Bluetooth або Wi-Fi підключення.

Підводячи підсумки проведеному у даному розділі аналізу зазначимо, що колір – це результат сприйняття світла в нашій свідомості, а не фізична властивість цього випромінювання, тому визначати колір потрібно через визначення якимось чином цього відчуття. Чисельне представлення кольору з врахуванням особливостей кольірного сприйняття людини дає система з

червоного, зеленого та блакитного випромінювань. Вимірюючи інтенсивності цих складових можна визначити колірні координати кольору.

2 ВИБІР МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ТА ЙОГО ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

2.1 Обґрунтування методу визначення кольору

Як було зазначено у першому розділі, будь-який колір можна повністю охарактеризувати спектром пов'язаного з ним випромінювання, який визначає інтенсивність випромінювання окремих спектральних складових у діапазоні видимого спектру. Проте опису кольору за спектром випромінювання не є вдалим, не зважаючи на те, що саме певне випромінювання викликає у свідомості людини відчуття певного кольору. По перше, такий спосіб буде незручним, оскільки один кольоровий стимул буде функцією значної кількості аргументів, якими будуть інтенсивності випромінювання у кожній ділянці спектру. По-друге, через відмінність у значеннях коефіцієнтів відбиття, різні поверхні однакового кольору можуть мати різні спектри випромінювання. Нарешті, як показує практика, зв'язок між кольором та спектральним складом випромінюванням не є взаємно однозначним [21].

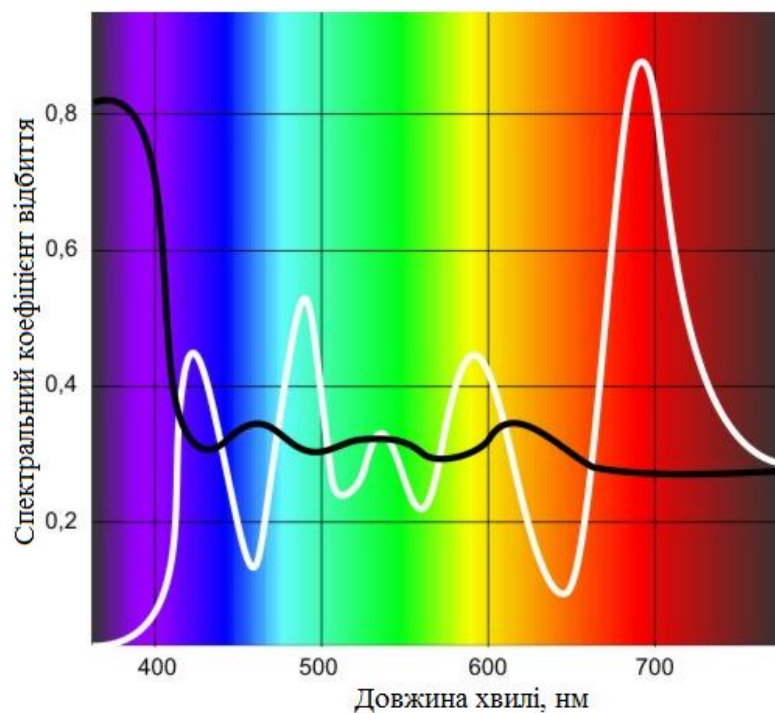


Рисунок 2.1 — Спектр випромінювання, що відбивається від двох різних поверхонь сірого кольору

Останній факт ілюструє рис. 2.1, на якому наведені спектри випромінювань, що відбиваються від двох різних поверхонь однакового сірого кольору (на рис. 2.1 вони представлені чорним та білим графіками). Як видно з рис. 2.1, незважаючи на однаковий колір обох поверхонь, спектри відбитого від них випромінювання суттєво відрізняються. Це показує, що між спектральним складом випромінювання та викликаним ним відчуттям кольору не має прямої залежності. Ще одним підтвердженням цього твердження є наприклад випромінювання спектрального діапазону від 560 нм до 585 нм, яке викликає відчуття жовтого кольору. З іншого боку зважена суміш червоного та зеленого випромінювань так само сприймається як жовтий колір, незважаючи на те, що в ній відсутнє випромінювання у діапазоні від 560 нм до 585 нм.

З викладеного вище витікає, що визначення кольору є більш складним завданням, ніж просте визначення характеристик світла, що потрапляє в очі спостерігача. Для визначення кольору за даними спектральних вимірювань необхідно враховувати реакцію зорового апарату людини на різні колірні стимули, а саме те, що зір людини характеризується різною чутливістю до світлового випромінювання різних ділянок спектра. Так, наприклад, при однакових потужностях випромінювання зеленого кольору сприймається набагато яскравішим, ніж випромінювання синього або червоного кольору.

Отже, для визначення кольору за спектральними характеристиками випромінювання необхідно враховувати, який вклад у зорове відчуття вносить світлове випромінювання тієї чи іншої ділянки спектра. Врахувати спектральну чутливість зору людини дозволяють колірні моделі, що були розглянуті у підрозділі 1.1. При такому підході треба знайти суму добутків визначених значень інтенсивності окремих спектральних складових, що відбиваються від досліджуваної поверхні, з питомими кривими додавання моделі RGB або XYZ. Добутки з питомими кривими додавання дадуть частки основних кольорів, які у поєднанні викликають ті самі кольорові відчуття, що й випромінювання цих спектральних інтервалів. Результатом додавання усіх отриманих часток кожного з основних кольорів стануть колірні координати, тобто відносні кількості

основних кольорів, суміш яких ідентична за кольором кольору, що визначається.

Відповідно до цього, можливі різні підходи до побудови засобу для визначення кольору. При першому в основу його роботи можна покласти спектрофотометричний метод, відповідно до якого відбите від поверхні випромінювання розкладається за спектральними інтервалами. Для знаходження колірних координат знаходиться сума добутків значень світлових потоків у кожному зі спектральних інтервалів зі значеннями кривих додавання для цих інтервалів. Як було зазначено у підрозділі 1.1 найбільш універсальною є колірна модель XYZ. Тоді, відповідно до викладеного вище, для колірних координат X, Y та Z отримаємо:

$$\begin{aligned} X &= \sum \Phi(\lambda_i) \cdot x'(\lambda_i) \\ Y &= \sum \Phi(\lambda_i) \cdot y'(\lambda_i), \\ Z &= \sum \Phi(\lambda_i) \cdot z'(\lambda_i) \end{aligned} \quad (2.1)$$

де $\Phi(\lambda_i)$ — реєстроване значення світлового потоку у спектральному інтервалі біля λ_i , після відбиванні від поверхні;

λ_i — довжина світлової хвилі, що відповідає i -ому спектральному інтервалу.

Додавання здійснюється по всьому видимому діапазону спектра від λ_1 до λ_2 .

При освітленні поверхні світловим потоком Φ_0 з рівномірним спектром в діапазоні від λ_1 до λ_2 ($\Phi(\lambda) = \Phi_0$) різниця у значеннях відбитих від поверхні світлових потоків $\Phi(\lambda_i)$ обумовлена тим, що спектральний коефіцієнт відбиття k є функцією довжини хвилі λ . Саме це і визначає колір поверхні. З врахуванням цього вирази (2.1) набудуть вигляду:

$$\begin{aligned} X &= \sum k(\lambda_i) \cdot \Phi_0 \cdot x'(\lambda_i) = \Phi_0 \sum k(\lambda_i) \cdot x'(\lambda_i) \\ Y &= \sum k(\lambda_i) \cdot \Phi_0 \cdot y'(\lambda_i) = \Phi_0 \sum k(\lambda_i) \cdot y'(\lambda_i), \\ Z &= \sum k(\lambda_i) \cdot \Phi_0 \cdot z'(\lambda_i) = \Phi_0 \sum k(\lambda_i) \cdot z'(\lambda_i) \end{aligned} \quad (2.2)$$

де $k(\lambda_i)$ — спектральний коефіцієнт відбиття.

Координати кольоровості можуть бути знайдені з виразів:

$$\begin{aligned}
 x' &= \frac{X}{X + Y + Z} \\
 y' &= \frac{Y}{X + Y + Z} \\
 z' &= \frac{Z}{X + Y + Z}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

При другому підході можна застосувати колориметричний метод, при якому колір визначається за інтенсивністю випромінювання трьох основних кольорів, після їх відбивання від поверхні. Значення інтенсивності відбитого випромінювання визначається за допомогою фотоприймача. При цьому можливі два підходи. При одному досліджувана поверхня опромінюється випромінюванням основних кольорів послідовно. Це дозволяє використати один фотоприймач. При другому підході використовується три фотоприймача, що надає можливість опромінення поверхні одночасно трьома випромінюваннями. Для того, щоб вихідні сигнали фотоприймачів був пропорційний колірним координатам, необхідно, щоб їх спектральні чутливості збігалися з кривими додавання:

$$\begin{aligned}
 S_x(\lambda) &= a_x \cdot x'(\lambda) \\
 S_y(\lambda) &= a_y \cdot y'(\lambda), \\
 S_z(\lambda) &= a_z \cdot z'(\lambda)
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

де $S_x(\lambda)$, $S_y(\lambda)$, та $S_z(\lambda)$ — спектральні чутливості фотоприймачів;

a_x , a_y , та a_z — деякі коефіцієнти пропорційності.

На теперішній час це забезпечити не можливо, тому відповідна спектральна корекція здійснюється за допомогою світлофільтрів, коефіцієнти пропускання яких повинні задовольняти таким співвідношенням:

$$\begin{aligned}
 \tau_x(\lambda) &= a_x \cdot \frac{x'(\lambda)}{S(\lambda)} \\
 \tau_y(\lambda) &= a_y \cdot \frac{y'(\lambda)}{S(\lambda)}, \\
 \tau_z(\lambda) &= a_z \cdot \frac{z'(\lambda)}{S(\lambda)}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

де $\tau_x(\lambda)$, $\tau_y(\lambda)$, та $\tau_z(\lambda)$ — спектральні коефіцієнти пропускання світлофільтрів;
 $S(\lambda)$ — спектральна чутливість фотоприймачів.

Фотоприймач реагує на весь світловий потік в діапазоні від λ_1 до λ_2 , тобто його реакцію можна представити як суму реакцій на світлові потоки $\Phi(\lambda_i)$, що припадають на окремі спектральні інтервали з діапазону від λ_1 до λ_2 . Відповідно до цього, з врахуванням (2.5) вирази (2.2) для колірних координат при колориметричному методі набувають вигляду:

$$\begin{aligned} X &= \Phi_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot x'(\lambda) \cdot d\lambda = \frac{\Phi_0}{a_x} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot \tau_x(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y &= \Phi_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot y'(\lambda) \cdot d\lambda = \frac{\Phi_0}{a_y} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot \tau_y(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda, \\ Z &= \Phi_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot z'(\lambda) \cdot d\lambda = \frac{\Phi_0}{a_z} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot \tau_z(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (2.6)$$

Можливий і третій підхід, заснований також на колориметричному методі. Спектр відбитого від поверхні випромінювання визначається її кольором: світлові хвилі одних довжин хвиль поглинаються поверхнею, інших — відбиваються. Тому не важливо де знаходиться світлофільтр: на шляху променів, що освітлюють поверхню, або на шляху променів, що відбиваються від неї. В обох випадках інтенсивність отриманого після відбиття від поверхні випромінювання буде пропорційна добутку спектрального коефіцієнта відбиття поверхні та спектрального коефіцієнта пропускання світлофільтра. Дійсно, якщо на поверхню спрямувати три світлові потоки

$$\begin{aligned} \Phi_x(\lambda) &= \Phi_0 \cdot x'(\lambda) \\ \Phi_y(\lambda) &= \Phi_0 \cdot y'(\lambda), \\ \Phi_z(\lambda) &= \Phi_0 \cdot z'(\lambda) \end{aligned} \quad (2.7)$$

то після їх відбивання від поверхні, вони перетворяться на потоки

$$\begin{aligned}\Phi'_x(\lambda) &= k(\lambda) \cdot \Phi_0 \cdot x'(\lambda) \\ \Phi'_y(\lambda) &= k(\lambda) \cdot \Phi_0 \cdot y'(\lambda) \\ \Phi'_z(\lambda) &= k(\lambda) \cdot \Phi_0 \cdot z'(\lambda)\end{aligned}$$

Після потрапляння кожного з них на фотоприймач, отримаємо сигнали, аналогічні тим, що й при попередньому підході:

$$\begin{aligned}X &= \Phi_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot x'(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y &= \Phi_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot y'(\lambda) \cdot d\lambda, \\ Z &= \Phi_0 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot z'(\lambda) \cdot d\lambda\end{aligned}\tag{2.8}$$

З врахуванням того, світлові потоки випромінювання, що визначаються виразом (2.7), можуть бути отримані за допомогою світлодіодів, останній варіант дозволяє обійтися без високовартісних компонентів, що забезпечують визначення інтенсивності випромінювання в окремих спектральних інтервалах видимого діапазону, як при спектрометричному методі, або без світлофільтрів зі складною спектральною характеристикою пропускання, як при класичному колориметричному. Це дозволить спростити конструкцію засобу та знизити його вартість. Тому саме такий метод покладемо в основу роботи засобу для вимірювання кольору.

Для знаходження формули для переведення координат кольоровості x' , y' , z' в координати r' , g' , b' запишемо вираз (1.4) у матричній формі:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,2 \\ 0,18 & 0,81 & 0,01 \\ 0 & 0,01 & 0,99 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix}.\tag{2.9}$$

Звідки

$$\begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,2 \\ 0,18 & 0,81 & 0,01 \\ 0 & 0,01 & 0,99 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}. \quad (2.10)$$

Після знаходження оберненої матриці

$$\begin{bmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,2 \\ 0,18 & 0,81 & 0,01 \\ 0 & 0,01 & 0,99 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{\begin{vmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,2 \\ 0,18 & 0,81 & 0,01 \\ 0 & 0,01 & 0,99 \end{vmatrix}} \times \begin{bmatrix} 0,49 & 0,31 & 0,2 \\ 0,18 & 0,81 & 0,01 \\ 0 & 0,01 & 0,99 \end{bmatrix}^{-T} =$$

$$= \begin{bmatrix} 2,372 & -0,902 & -0,470 \\ -0,527 & 1,435 & 0,092 \\ 0,005 & 0,014 & 1,009 \end{bmatrix}$$

для координат кольоровості моделі RGB отримаємо:

$$\begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,372 & -0,902 & -0,470 \\ -0,527 & 1,435 & 0,092 \\ 0,005 & -0,014 & 1,009 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

або

$$\begin{aligned} r' &= 2,372 \cdot x' - 0,902 \cdot y' - 0,470 \cdot z' \\ g' &= -0,527 \cdot x' + 1,435 \cdot y' + 0,092 \cdot z' \\ b' &= 0,005 \cdot x' - 0,014 \cdot y' - 1,009 \cdot z' \end{aligned} \quad (2.12)$$

Отже метод визначення кольору, який будемо використовувати у розглядуваному у даній магістерській роботі засобу, схематично можна представити схемою, що наведена на рис. 2.2. Оскільки світлові потоки $\Phi_x(\lambda)$, $\Phi_y(\lambda)$, $\Phi_z(\lambda)$, які відповідають кривим додавання моделі XYZ, формуються як вихідні, а не після відбивання від поверхні, для отримання координат кольоровості x' , y' , z' потрібно розділяти у часі. Тому для перетворення потоку випромінювання після відбиття від поверхні достатньо використати один фотоприймач. Послідовно опромінюючи поверхню потоками $\Phi_x(\lambda)$, $\Phi_y(\lambda)$, $\Phi_z(\lambda)$,

на виході фотоприймача будуть отримуватися сигнали, які відповідно до виразів (2.8) є пропорційними колірним координатам X , Y , Z .

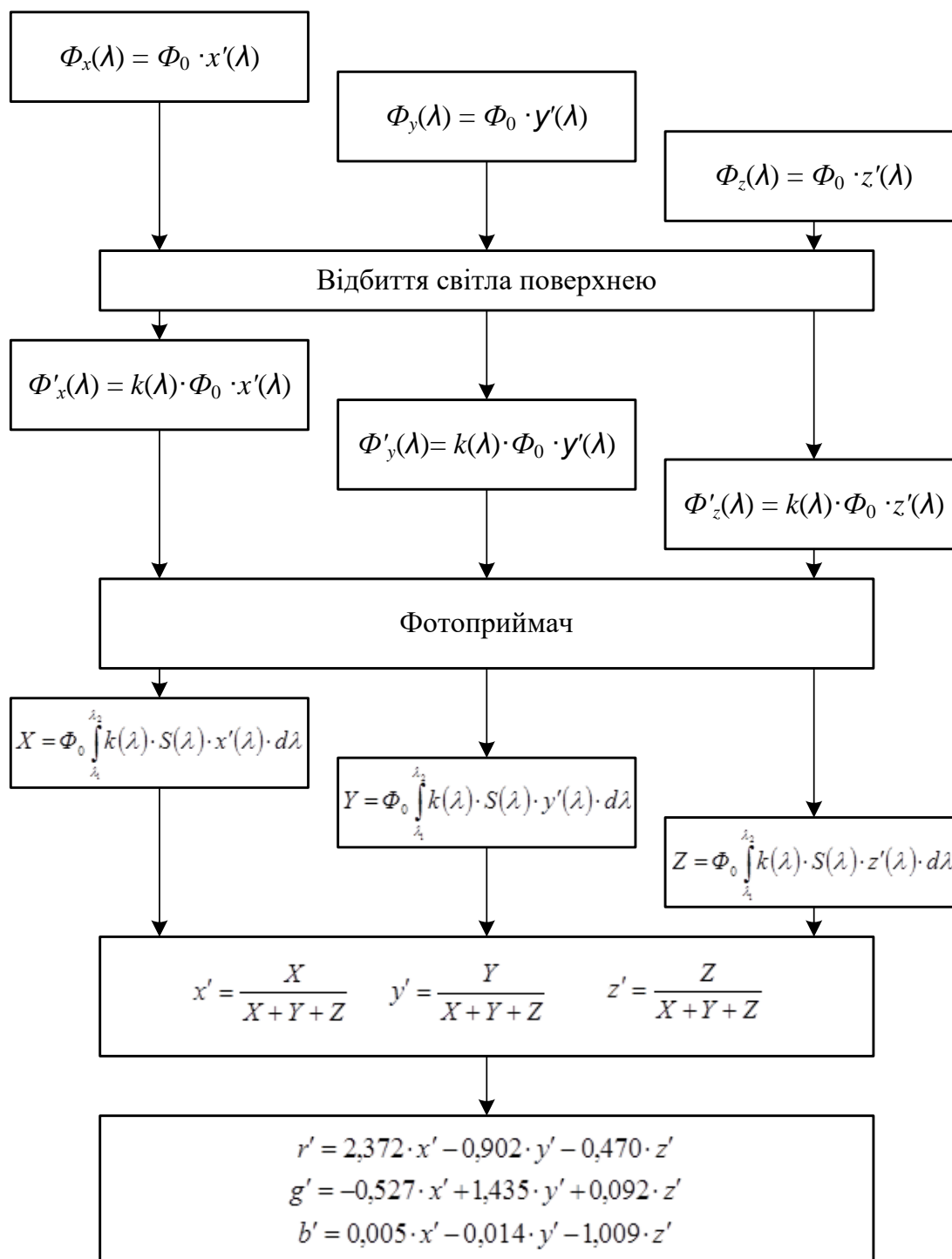


Рисунок 2.2 — Схематичне зображення методу визначення кольору

Далі за виразом (2.3) визначаються координати кольоровості x' , y' , z' . На останньому кроці з використанням виразів (2.12) отримуються координати кольоровості r' , g' , b' моделі RGB.

2.2 Визначення технічної реалізації запропонованого методу визначення кольору

Відповідно до рис.2.1 для реалізації запропонованого методу визначення кольору треба забезпечити формування трьох світлових потоків, які відповідають кривим додавання моделі XYZ, визначення їх інтенсивності після відбивання від поверхні та розрахунок на підставі цього координат кольоровості x' , y' , z' та r' , g' , b' . Головною умовою технічної реалізації запропонованого методу є наявність можливості створити потоки випромінювання, що відповідали виразам (2.7). Як було зазначено у підрозділі 2.1 ці потоки пропонується створити за допомогою світлодіодів.

Світлодіод є напівпровідниковим приладом, що генерує некогерентне світловий потік при пропусканні через нього струму. Потік випромінювання типового світлодіода охоплює вузьку ділянку спектру, яка визначається хімічним складом використаного для його виготовлення напівпровідникового матеріалу. Сучасні напівпровідникові технології дозволили створити світлодіоди, що за спектром свого випромінювання надають можливість охопити усю область від ультрафіолетової до інфрачервоної. Крім того, сучасні світлодіоди характеризуються високою світловіддачею, малим енергоспоживанням, низькими робочими напругами та струмами, тривалим терміном служби, що досягає 100 тисяч годин, або 11 років безперервної роботи [22], [23].

Відповідно до кривих додавання колірної моделі XYZ, що наведені на рис. 1.2, для реалізації запропонованого методу потрібно забезпечити формування світлових потоків з такими спектральними:

- для кривої $x'(\lambda)$ в діапазоні від 400 нм до 500 нм з максимумом біля 440 нм та в діапазоні від 500 нм до 720 нм з максимумом біля 610 нм;
- для кривої $y'(\lambda)$ в діапазоні від 400 нм до 670 нм з максимумом біля 560 нм;
- для кривої $z'(\lambda)$ в діапазоні від 370 нм до 550 нм з максимумом біля 450 нм.

Оскільки світлодіоди дозволяють отримати світловий потік у порівняно вузькій області, а крива додавання $x'(\lambda)$ має два максимуми, для формування світлового потоку відповідного $x'(\lambda)$ треба використати два світлодіоди. З врахуванням усього викладеного приходимо до загальної схеми засобу для визначення кольору, що наведена у додатку Б. Вихідні світлові потоки $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$, відбивання від поверхні ці потоки потрапляють на фотоприймач ФП, що перетворює їх в електричний сигнал, пропорційний їх інтенсивності. Цей сигнал надходить в електронний блок управління БУ, який перераховує його у координати кольоровості.

Далі для визначення можливості отримання світлових потоків $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$, отримання світлового потоку, відповідного кривій $x'(\lambda)$, потрібно вибрати два світлодіоди: перший, що випромінює в діапазоні від 400 нм до 500 нм, другий — в діапазоні від 500 нм до 720 нм. Отримати світловий потік, що відповідає першому діапазону, дозволяє світлодіод Royal Blue 1W Epistar 440-450nm [24], спектральна характеристика якого наведена на рис. 2.3.

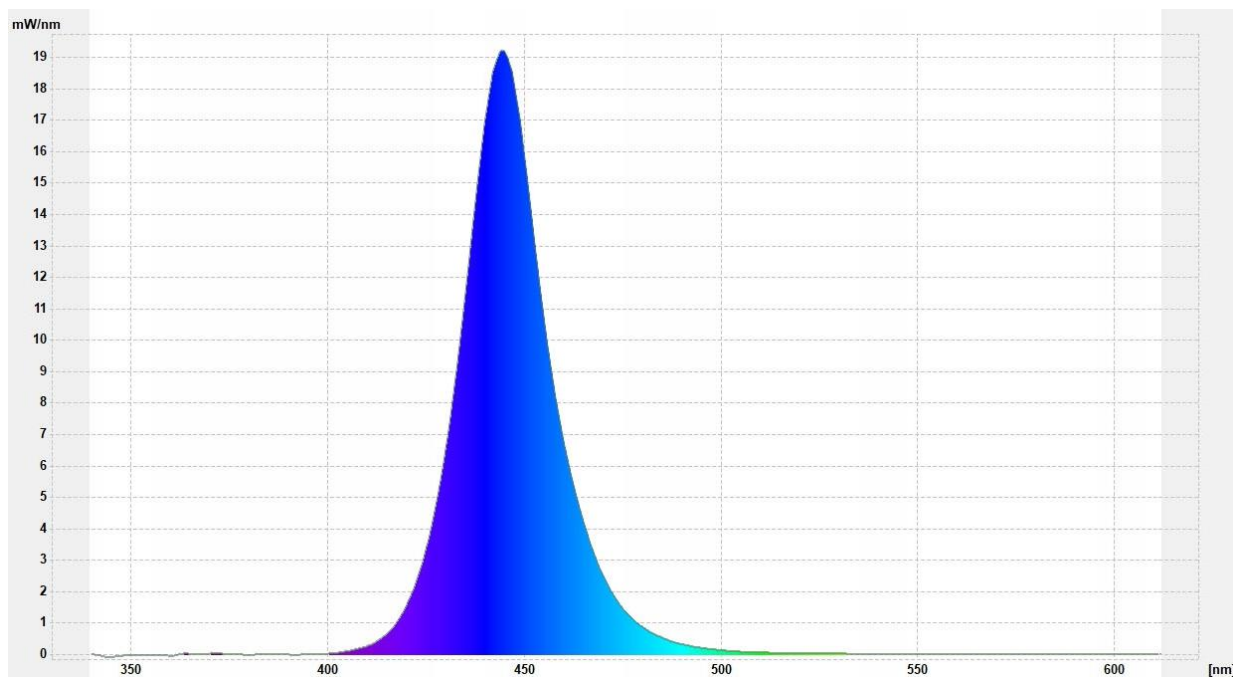


Рисунок 2.3 — Спектральна характеристика світлодіода
Royal Blue 1W Epistar 440-450nm

О

- потужність світлового потоку 1Вт;
- робоча пряма напруга від 3,0 В до 3,4 В;
- максимальний прямий струм 350 мА;
- довжина хвилі максимуму спектральної характеристики 445 нм;
- кут світіння 140°.

Як другий світлодіод для отримання світлового потоку у діапазоні від характеристика якого наведена на рис. 2.4.

Х

а

р

а

к

т

е

р

и

с

т

и

к

и

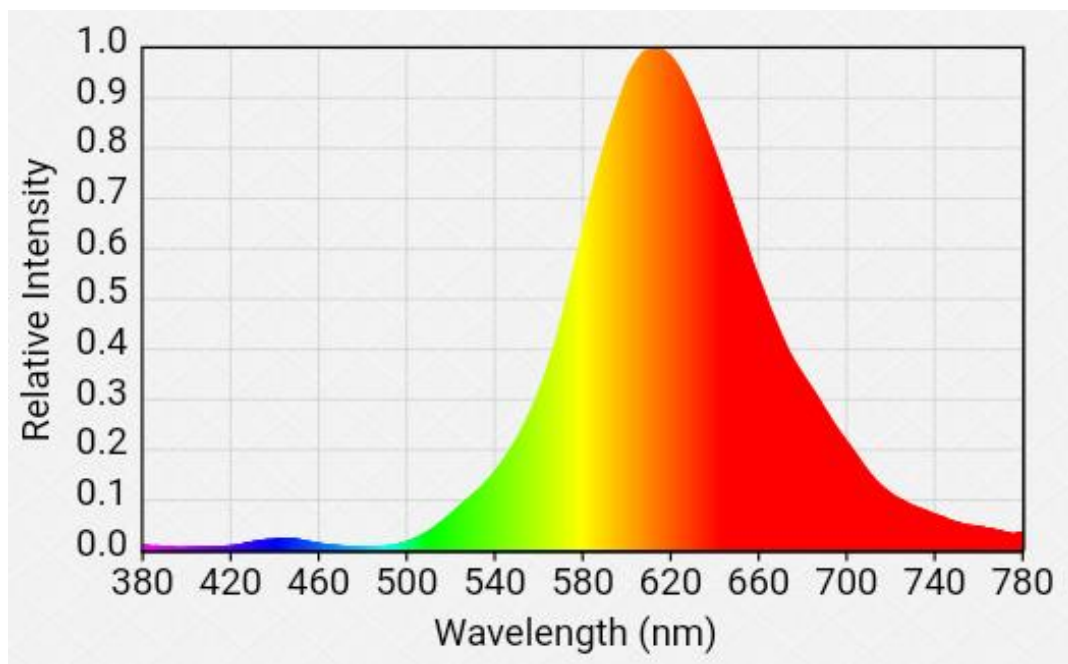


Рисунок 2.4 — Спектральна характеристика світлодіода NCSAE17AT

Основні характеристики світлодіода NCSAE17A [25]:

- потужність світлового потоку 2 Вт;
- робоча пряма напруга від 3,0 В до 3,2 В;
- максимальний прямий струм 350 мА;
- довжина хвилі максимуму спектральної характеристики 610 нм;
- кут світіння 120 °.

..

Для отримання світлового потоку, відповідного кривій $y'(\lambda)$, потрібен світлодіод зі спектром випромінювання в діапазоні від 400 нм до 670 нм. Цій умові задовольняє світлодіод Power LED 1W Green Epistar 570 nm [26],

.

о

л

спектральна характеристика якого наведена на рис. 2.5.

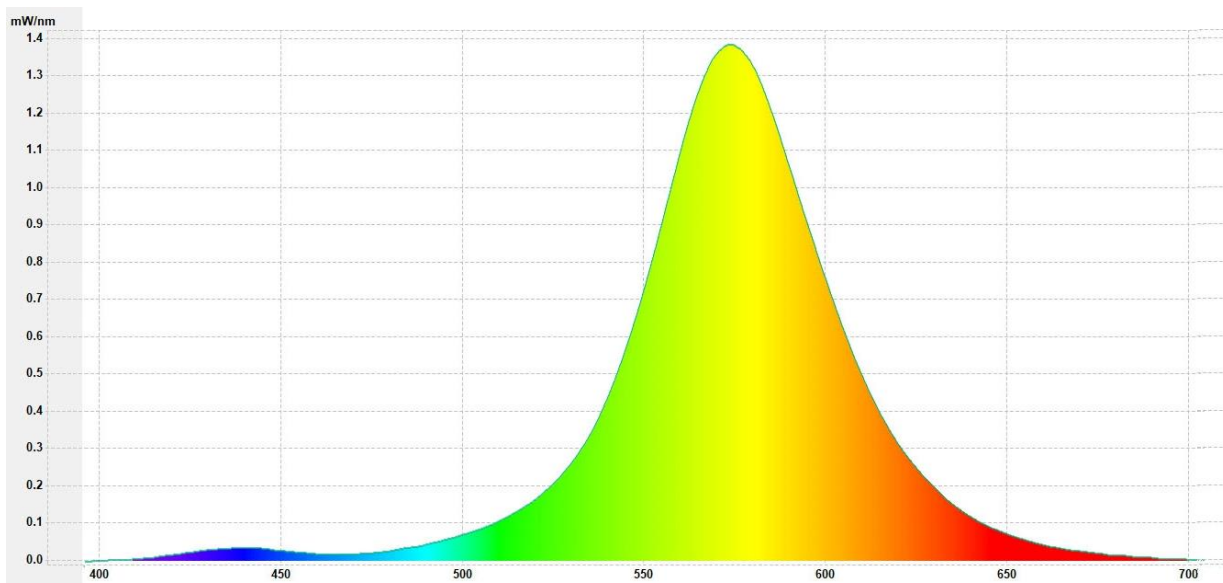


Рисунок 2.5 — Спектральна характеристика світлодіода
Power LED 1W Green Epistar 570

Основні характеристики світлодіода Power LED 1W Green Epistar

- потужність світлового потоку 1Вт;
- робоча пряма напруга від 3,0 В до 3,2 В;
- максимальний прямий струм 400 мА;
- довжина хвилі максимуму спектральної характеристики 570 нм;
- кут світіння 140 °.

Для отримання світлового потоку, який би відтворив би криву $z'(\lambda)$, потрібен світлодіод, що випромінює діапазоні в діапазоні від 370 нм до 550 нм з максимумом біля 450 нм. Цей діапазон відповідає випромінюванню з кольором від фіолетово-синього до зеленого. Такого світлодіода не існує. Як показує аналіз для перекриття такого діапазону потрібно використати три світлодіоди: один з фіолетово-синім кольором випромінювання, другий з синім та третій із зеленим.

Як перший використаємо світлодіод LED Epileds EP-U4545K-A3_UV_395_405 [27], спектральна характеристика якого наведена на рис. 2.6.

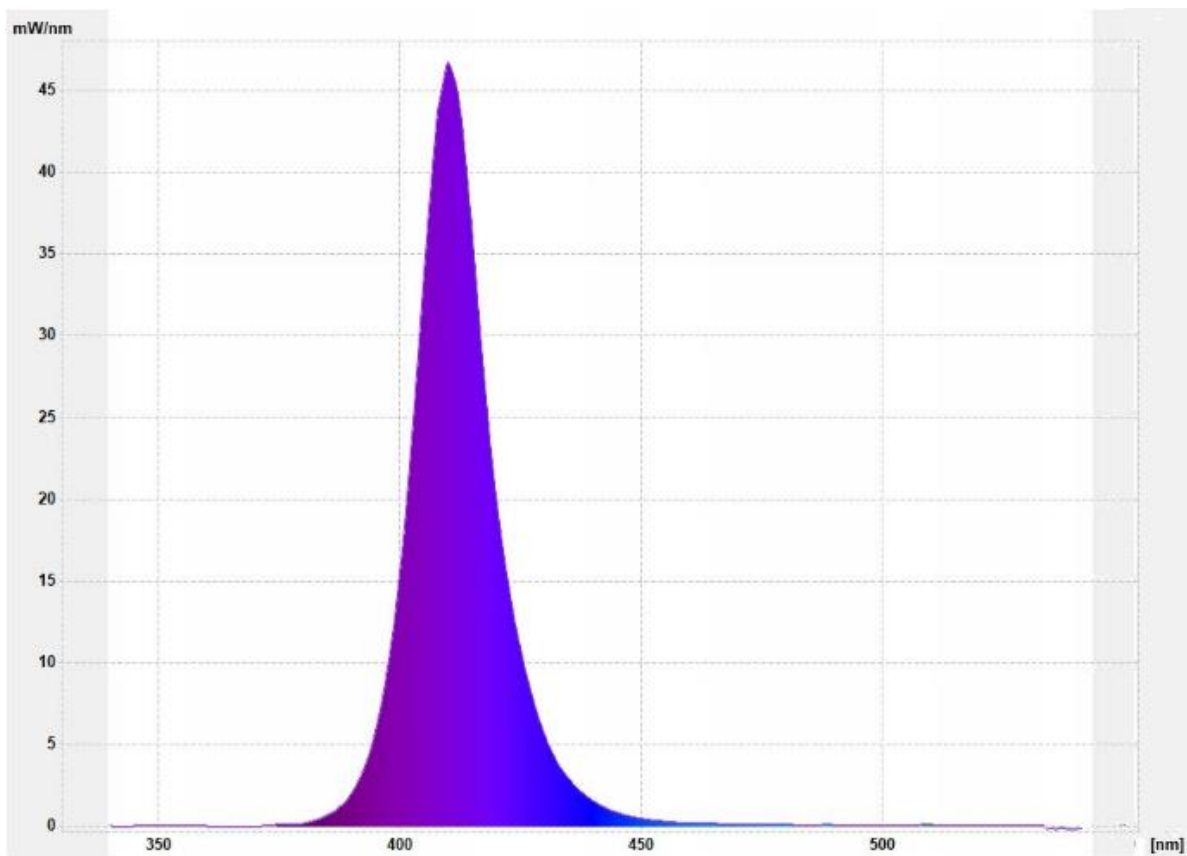


Рисунок 2.6 — Спектральна характеристика світлодіода
LED Epileds EP-U4545K-A3_UV_395_405

Основні характеристики світлодіода LED Epileds EP-U4545K-

- потужність світлового потоку 1Вт;
- робоча пряма напруга від 3,5 В до 3,6 В;
- максимальний прямиий струм 450 мА;
- довжина хвилі максимуму спектральної характеристики 410 нм;
- кут світіння 120 °.

Як синій світлодіод використаємо вже вибраний світлодіод Royal Blue 1W Epistar 440-450nm, що випромінює в діапазоні від 400 нм до 500 нм. Для

о
т
р
и
м
а
н

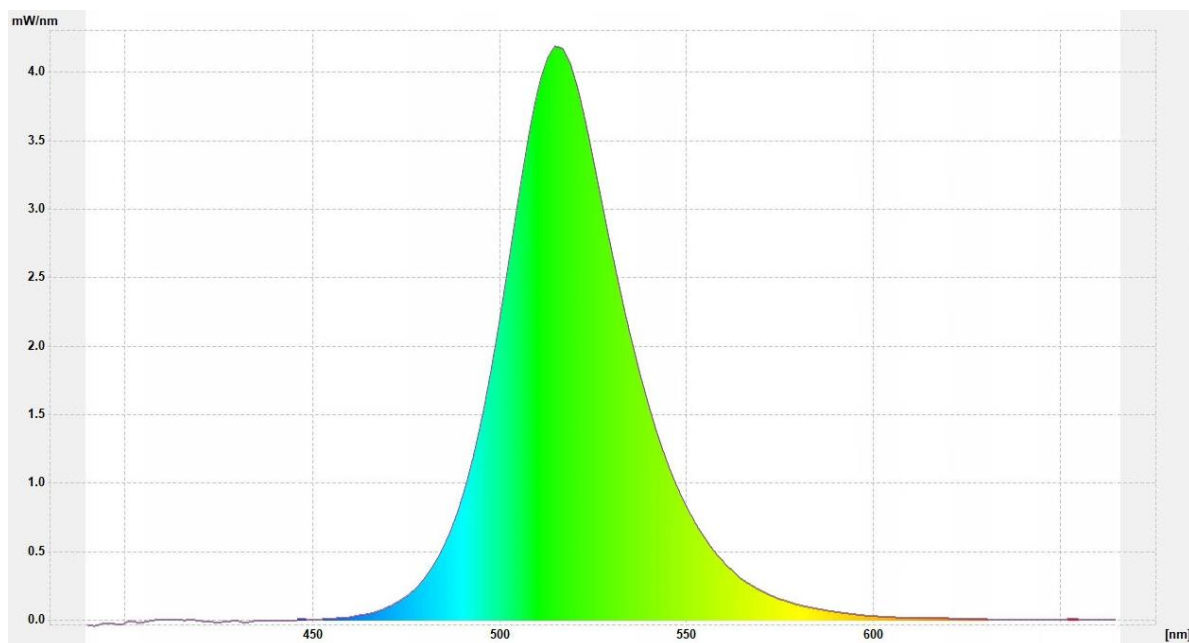


Рисунок 2.7 — Спектральна характеристика світлодіода

Основні характеристики світлодіода Epistar 1W Green 35Mil [27]:

- потужність світлового потоку 1Вт;
- робоча пряма напруга від 3,1 В до 3,4 В;
- максимальний прямий струм 450 мА;
- довжина хвилі максимуму спектральної характеристики 520 нм;
- кут світіння 140 °.

Вибрані світлодіоди дозволяють отримати три світлові потоки, які відповідають кривим додавання $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$, $z'(\lambda)$ колірної моделі XYZ лише за своїм спектральним складом. Для забезпечення потрібного співвідношення кількості цих потоків потрібно забезпечити різний рівень інтенсивності випромінювання світлодіодів.

3 РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ

3.1 Розробка структурної схеми

Загальні підходи до побудови засобу для визначення кольору були визначені у підрозділі 2.2 і відображені схемою у додатку Б. У теперішній час домінуюча роль у реалізації різноманітних засобів належить цифровим технологіям. Основними перевагами цифрових засобів перед аналоговими є гнучкість, яка проявляється у простоті перебудови алгоритму роботи, висока завадостійкість, стабільність та передбачуваність роботи, відносна простота проектування. Головним чином ці переваги пов'язані з використанням елементів мікропроцесорної техніки: мікропроцесорів та різноманітних мікроконтролерів. Відповідно до цього розроблюваний засіб будемо реалізовувати як цифровий мікропроцесорний пристрій, а тому функції блоку управління буде виконувати мікроконтролер.

Відповідно до вимог до засобу для визначення кольору, які були сформульовані у підрозділі 1.3, крім розрахунку координат кольору поверхні він повинен підтримувати можливість організації взаємодії із засобами комп'ютерної техніки з використанням інтерфейсів USB та Bluetooth. Таким чином приходимо до структурної схеми мікропроцесорного засобу для визначення кольору, яка наведена у додатку В.

Пристрій складається з:

- мікроконтролера;
- блоку світлодіодів;
- фотоприймача;
- аналого-цифрового перетворювача;
- індикатора;
- блоку керування;
- модуля Bluetooth;
- модуля USB;

— блоку живлення.

Мікроконтролер є головним елементом, що забезпечує виконання усіх функцій пристрою. Мікроконтролер керує блоком світлодіодів, обробляє сигнал з фотоприймача, визначає координати кольору відповідно до колірних моделей XYZ та RGB, забезпечує взаємодію зі зовнішніми пристроями, такими як, наприклад комп'ютер, смартфон або планшет.

Керування блоком світлодіодів полягає у забезпеченні послідовного освітлення поверхні світловими потоками, що відповідають кривим додавання $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$. Як було зазначено у підрозділі 2.2 спектральний склад світлових потоків $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$ можна відтворити за допомогою п'яти світлодіодів. Проте для отримання повної відповідності світлових потоків кривим додавання необхідно забезпечити різний режим інтенсивності світіння окремих світлодіодів.

Світловий потік, що випромінюється світлодіодом, визначається значенням прямого струму, що протікає крізь нього, який, у свою чергу, експоненціально залежить від прикладеної напруги. При цьому при незначних струмах залежність між світловіддачею світлодіода та його прямим струмом є майже лінійною. При наближенні струму до максимально допустимого, температура кристалу світлодіода підвищується, а світловіддача зменшується. Тому ефективне керування світловим потоком світлодіода можна досягти лише в лінійній області його випромінювальної характеристики [29], [30].

Забезпечити потрібні режими світіння світлодіодів можна кількома способами. Найпростішим варіантом є формування різних значень прямих струмів для різних світлодіодів за допомогою резисторів. Проте такий спосіб не дозволить корегувати світлові потоки під час експлуатації засобу. Тому найбільш ефективним підходом буде управління режимами світіння світлодіодів з боку мікроконтролера, тобто мікроконтролер повинен не лише вмикати світлодіоди у певній послідовності, а й забезпечувати при цьому потрібне значення світлового потоку.

Основними способами управління світловим потоком світлодіодів є аналоговий та широтно-імпульсна модуляція. Аналоговий спосіб, який є найбільш простим, полягає в управлінні струмом, що протікає через світлодіод,

за рахунок зміни прикладеної до нього напруги. При ручному регулюванні це реалізується за допомогою змінного резистора: при зміні опору резистора відбувається перерозподіл напруги живлення між напругою на світлодіоді та напругою на резисторі.

При реалізації управління за допомогою мікроконтролера аналоговий спосіб є не ефективним, оскільки вимагає використання елементів, які забезпечать зміну напруги у колі керування під впливом вхідного сигналу управління. При мікроконтролерному керуванні потрібне значення напруги задається цифровим кодом. Тому у коло керування потрібно додавати цифро-аналоговий перетворювач. Оскільки у розроблюваному засобі будуть використовуватися п'ять світлодіодів, то для реалізації аналогового керування потрібно буде використати або п'ять цифро-аналогових перетворювачів, або один перетворювач та п'ятиканальний аналоговий мультиплексор.

При керуванні світловим потоком світлодіода за допомогою широтно-імпульсної модуляції світіння світлодіода збуджується імпульсним сигналом. У цьому випадку світлодіод періодично вмикається та гасне. При цьому напруга протягом усього часу світіння залишається постійною, а її усереднене за період значення визначається площею імпульсів. Як правило частота імпульсного сигналу є постійною, а тому управління світловим потоком при широтно-імпульсній модуляції досягається за рахунок скважності імпульсів (рис. 3.1).

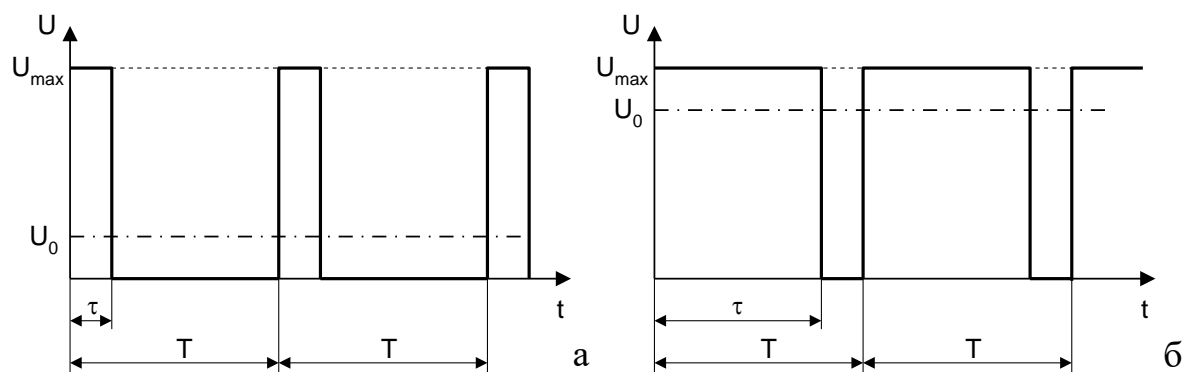


Рисунок 3.1 – Залежність середньої напруги від скважності імпульсів:

а — середня напруга U_0 складає 20% від максимальної U_{max} ;

б — середня напруга U_0 складає 80% від максимальної U_{max} .

Середня напруга U_0 — це середнє значення напруги за період, при якому площа прямокутника, що обмежується цією напругою та періодом, дорівнює площі імпульсу:

$$T \cdot U_0 = \tau \cdot U_{\max},$$

або

$$\frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{T}{\tau}. \quad (3.1)$$

З виразу (3.1) можна знайти середнє значення напруги, яке відповідає значенню еквівалентної постійної напруги:

$$U_0 = \frac{\tau}{T} \cdot U_{\max}. \quad (3.2)$$

Оскільки значення напруги на світлодіоді визначає значення струму, що протікає крізь нього, а струм, у свою чергу, значення світлового потоку, то для середнього світлового потоку Φ_0 по аналогії з (2.2) можна записати:

$$\Phi_0 = \frac{\tau}{T} \cdot \Phi_{\max}. \quad (3.3)$$

Світлові потоки $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$, що формуються блоком світлодіодів, після відбивання від поверхні потрапляють на фотоприймач. За допомогою фотоприймача світлове випромінювання перетворюється в електричний сигнал. Оскільки область спектральної чутливості фотоприймача є широкою, його вихідний сигнал буде пропорційний сумі усіх спектральних складових, що містяться у вхідному світловому потоці. Таким чином, на виході фотоприймача будуть формуватися сигнали пропорційні координатам кольору x' , y' та z' .

Основним елементом фотоприймача є елемент, який перетворює світлове випромінювання в електричний сигнал: фоторезистор, фотодіод або фототранзистор. Робота фоторезистора заснована на явищі фотопровідності, яке полягає у зменшенні опору під впливом оптичного випромінювання. Основними перевагами фоторезисторів є лінійність вольт-амперної характеристики,

різноманітність номіналів опорів та малу вартість. Головні недоліки пов'язані з доволі значною інерційністю, температурною та часовою нестабільністю їх характеристик [30].

Фотодіод, на відміну від фоторезистора, який є напівпровідниковим елементом одного типу провідності, є напівпровідниковим приладом з р-п-переходом. При потраплянні світлового потоку на фотодіод, у ньому виникає електричний струм, який за своїм напрямом співпадає зі зворотним струмом р-п-переходу. Таким чином при освітленні фотодіода, до якого прикладена зворотна напруга, збільшується його зворотний струм. Поряд із цим, при вмиканні фотодіода у пасивне електричне коло (без джерела напруги) на ньому генерується фото-ЕРС, яка створює електричний струм у колі. За порівнянням з фоторезисторами фотодіоди мають більшу чутливість та швидкодію, кращу стабільність характеристик [30].

Фототранзистор є фоточутливим напівпровідниковим приладом, що має структуру звичайного транзистора, а тому забезпечує внутрішнє підсилення сигналу, що є їх головною перевагою. Проте фототранзистори поступаються фотодіодам за температурною стабільністю характеристик [30].

Враховуючи, що фотодіоди за порівнянням з фоторезисторами та фототранзисторами мають більше переваг, у розроблюваному засобі для перетворення світлових потоків, що відбиваються від поверхні, в електричний сигнал будемо використовувати фотодіод.

У результаті фотоелектричного перетворення на виході фотоприймача формується аналоговий електричний сигнал, пропорційний інтенсивності світлового потоку, що потрапляє на нього. Оскільки мікроконтролер є цифровим обчислювальним засобом, для обробки вихідного сигналу фотоприймача мікроконтролером необхідно здійснити цифро-аналогове перетворення. Для виконання останнього до схеми засобу доданий цифро-аналоговий перетворювач (АЦП). За допомогою АЦП будуть отримуватися цифрові значення, пропорційні колірним координатам x' , y' , z' .

Результати визначення кольору будуть відображатися на індикаторі. Прийемо, що у розроблюваному засобі будуть відображатися лише значення

колірних координат x' , y' , z' та r' , g' , b' , а більш складана обробка та візуалізація отримуваних даних, яка може включати і візуалізацію визначеного кольору, буде відбуватися на зовнішньому пристрої з повнокольоровим графічним дисплеєм, наприклад, планшеті, ноутбуці або комп'ютері. Відповідно до цього у самому засобі можна використати простий індикаторний прилад, що дозволить спростити розроблюваний засіб та зменшити його вартість.

Поряд з відображенням значень визначених колірних координат індикатор разом з блоком керування утворює інтерфейс користувача. З точки зору управління розроблюваний засіб є доволі простим пристроєм. Основними режимами його роботи є: режим визначення кольору, режим передачі результатів на зовнішній пристрій та режим калібрування. Тому він не вимагає складного меню, а вибір режиму можна здійснити за допомогою кнопок. Відповідно до цього блок керування буде утворений двома кнопками: кнопкою «Select» та кнопкою «OK». Кнопка «Select» буде використовуватися для переміщення по пунктам меню. За допомогою кнопки «OK» буде здійснюватися підтвердження вибраного пункту. Крім того, кнопка «OK» буде використовуватися для вмикання та вимикання пристрою, наприклад, за її довгим натисканням.

Для підключення розроблюваного засобу до планшету, ноутбуку або комп'ютеру передбачена можливість використання дротового з'єднання USB або бездротового Bluetooth. Інтерфейс USB (Universal Serial Bus) на сьогодні є одним з найбільш популярних дротових інтерфейсів, що широко використовується для підключення різноманітних пристроїв до персонального комп'ютера.

На фізичному рівні підключення здійснюється з використанням 4-ох жильного кабелю: один провід живлення +5 В, два сигнальні дроти D+ та D-, та один загальний провід. Основними особливостями інтерфейсу USB, що сприяють його популяризації є: висока швидкість обміну даними (до 480 Мбіт/с), наявність лінії живлення серед інтерфейсних сигналів (5В, 500 мА), - підтримка функції автоматичного визначення зовнішнього пристрою під час підключення (plug-&-play), можливість підключення до шини під час увімкненого живлення (hot plug) [31].

Шина USB є хост-центровою. Серед усіх підключених до неї пристроїв є один головний — хост-контролер, що керує шиною. Будь-які сеанси обміну даними може починати тільки хост-контролер, інші пристрої очікують звернення від нього. Таким чином інтерфейс USB з'єднує між собою хост (host) та кінцеві пристрої. В інтерфейсі USB для кінцевих пристроїв використовується спеціальний термін "функція" — логічно закінчений пристрій, що виконує певну специфічну функцію.

Пристрій-функція або логічний пристрій є набором так званих кінцевих точок (endpoints). Кожна кінцева точка є частиною пристрою USB, що має власний унікальний ідентифікатор. Окрім номера, кожна кінцева характеризується ще й напрямком передачі даних. Будь-який USB пристрій обов'язково має двоспрямовану кінцеву точку з номером 0, яка є службовою та призначається для ініціалізації, конфігурування, налаштування та опитування стану пристрою. Пристрій може мати кілька кінцевих точок. Фізично, кінцеві точки є областями пам'яті USB пристрою, через які відбувається обмін даними з хост-контролером [32].

Дані передаються пакетами. В інтерфейсі USB використовується три типи пакетів:

- пакет-ознака (token packet), що описує тип і напрямком передачі даних, адресу пристрою і порядковий номер кінцевої точки;
- пакет з даними (data packet), що власне і забезпечує передачу даних;
- пакет узгодження (handshake packet), призначений для повідомлення про результати пересилання даних; пакети узгодження бувають кількох типів: ACK, NAK, STALL.

Таким чином, кожна транзакція складається з трьох фаз: фази передачі пакета-ознака, фази передачі даних та фази узгодження [31].

Розроблюваний засіб при підключенні до USB шини буде використовуватися як логічний пристрій. На фізичному рівні підключення забезпечується USB-модулем. Логічний зв'язок буде здійснюватися програмним забезпеченням мікроконтролера.

Я бездротову альтернативу USB будемо використовувати технологію Bluetooth, яка на сьогодні є однією з найбільш поширених технологій бездротового зв'язку, що широко застосовується для забезпечення взаємодії між різними пристроями, у тому числі і периферійними пристроями комп'ютера. Бездротовий зв'язок Bluetooth здійснюється за допомогою радіохвиль ISM-діапазону (Industry, Science and Medicine), що використовується в різних побутових приладах та бездротових мережах і знаходиться в межах від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц. Це діапазон є вільним для використання, а тому технологія Bluetooth не підлягає ліцензуванню.

У специфікації Bluetooth передбачено три класи прийомо-передавачів, що відрізняються за потужністю, а значить, за ефективним радіусом дії: Class 1 до 100 мВт (до 100 метрів), Class 2 до 2,5 мВт (до 20 метрів) та Class 3 до 1 мВт (до 5 метрів). Найбільш поширеним варіантом, який застосовується в більшості мобільних електронних пристроїв та ПК є прийомо-передавачі Bluetooth Class 2 [33].

За допомогою інтерфейсу Bluetooth можна з'єднати як два, так і кілька пристроїв. У першому випадку підключення здійснюється за симетричною схемою з'єднання тип «точка-точка», у другому — за асиметричною типу «точка-багатоточка». Незалежно від схеми з'єднання один з пристроїв є головним (master), інші — веденими (slave). Головний пристрій задає шаблон, який використовують усі керовані пристрої, а також синхронізує їх роботу. З'єднані таким чином пристрої утворюють пікомережу (piconet). В рамках однієї пікомережі можуть бути об'єднані один master та до семи slave.

Технологія Bluetooth передбачає два види зв'язку: синхронний — SCO (Synchronous Connection Oriented) та асинхронний — ACL (Asynchronous Connectionless). Перший розрахований на встановлення симетричного з'єднання і використовується в основному для передачі мовних повідомлень. Швидкість передачі SCO складає 64 Кбіт/с. Другий ACL, призначений для пакетної передачі даних. Він підтримує симетричні та асиметричні з'єднання. При симетричному з'єднанні швидкість передачі інформації складає 432,6 Кбіт/с в обох напрямках, при

асиметричному — 721 Кбіт/с в одному напрямку та 57,6 Кбіт/с в іншому [34].

Можливості взаємодії пристроїв при підключенні за інтерфейсом Bluetooth багато в чому визначаються набором профілів, який підтримує кожен із них. Той чи інший профіль забезпечує підтримку певних функцій, наприклад, передачу файлів або потоку медіаданих, забезпечення мережного з'єднання тощо. Профілі гарантують можливість обміну інформацією між пристроями різних виробників [33], [34].

Однією з основних переваг технології Bluetooth є її високий рівень стандартизації та дуже широке поширення, що обумовило наявність готових технічних рішень для її застосування для різних цілей. Це дозволяє суттєво скоротити часові та фінансові витрати на розробку.

Підключення до бездротового радіоканалу у розроблюваному засобі буде забезпечуватися модулем Bluetooth. Основним завданням модуля є встановлення з'єднання та організація фізичного зв'язку для обміну даними, шляхом перетворення цифрових даних в аналоговий радіосигнал при передачі, і зворотне перетворенні при прийомі. Підключення буде здійснюватися за симетричною схемою типу «точка-точка», а робота засобу буде відбуватися у режимі slave.

3.2 Вибір елементної бази та схемних рішень для реалізації блоків структурної схеми

Головним елементом засобу для визначення кольору є мікроконтролер. Сьогодні на ринку безперервно з'являються нові мікроконтролери, технічні параметри яких постійно вдосконалюються завдяки розвитку інноваційних технологій. Серед великого різноманіття сучасних мікроконтролерів можна виділити 8-ми бітні мікроконтролери AVR Atmel та 32-ох бітні ARM Cortex, зокрема STM32.

За технічними характеристиками мікроконтролери AVR програють STM32. Так, наприклад, тактова частота мікроконтролерів AVR нижче — 16 МГц проти 72 МГц STM32. Кількість ліній введення/виведення та об'єм пам'яті у STM32 більша. Не можна не відзначити pin-to-pin сумісність різних

сімейств STM32 – для заміни одного виробу іншим не потрібно змінювати плату. Крім того, за співвідношенням ціна/якість також виграє STM32 [35].

З врахуванням цього у розроблюваному засобі будемо використовувати мікроконтролер STM32. Серед мікроконтролерів STM32 будемо вибирати мікроконтролер, що дозволить реалізувати функції якомога більшої кількості структурних блоків засобу. При цьому будемо враховувати його ціну та поширеність на ринку, наявність прикладів програмних рішень для нього, тощо. Крім того, при виборі будемо орієнтуватися переш за все на готові модулі, які крім самого мікроконтролера містять додаткові компоненти, необхідні для його функціонування, наприклад, кварцовий резонатор, стабілізатор напруги і т. п. Перевагу будемо віддавати тим варіантам, що мають найменші габаритні розміри.

Відповідно до цього вибираємо модуль STM32F103C8T6 на однойменному мікроконтролері на базі ядра ARM Cortex M3. Модуль має роз'єми та інтерфейси для підключення до комп'ютера та інших пристроїв (датчиків, дисплеїв, модулів, драйверів, реле тощо). Є можливість перепрограмування через JTAG, UART чи USART інтерфейси. Живлення плати може здійснюватися від USB порту комп'ютера або зовнішнього джерела живлення. Зовнішній вигляд модуля наведений на рис. 3.2 [36].

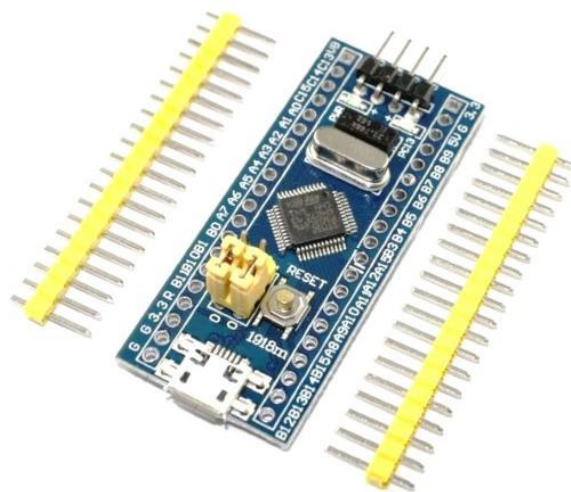


Рисунок 3.2 — Зовнішній вигляд модуля STM32F103C8T6

Основні технічні характеристики модуля STM32F103C8T6 та схема його

контактів представлені у табл. 3.1 та рис. 3.3, відповідно.

Таблиця 3.1 — Характеристики модуля STM32F103C8T

Параметр	Значення
Мікроконтролер	STM32F103C8T6, ядро ARM Cortex M3
Максимальна частота	72 МГц
Об'єм пам'яті програм (FLASH)	128 кБайт
Об'єм пам'яті даних (RAM)	20 кБайт
Кількість доступних виводів	37 шт.
Таймери загального призначення	3 шт.
Розширений таймер з ШІМ управління двигуном	1 шт.
Системний таймер	1 шт.
Сторожові таймери	2 шт.
UART	3 шт.
SPI	2 шт.
I2C	2 шт.
CAN	1 шт.
USB	1 шт.
Контролери прямого доступу до пам'яті	7 шт.
АЦП	2 шт., 10 каналів
Годинник реального часу	є
Апаратний модуль розрахунку CRC	є
Напруга живлення мікроконтролера	від 2 В до 3,6 В
Напруга живлення плати	5 В
Струм споживання	до 50 мА
Розміри плати	53 мм × 22,5 мм

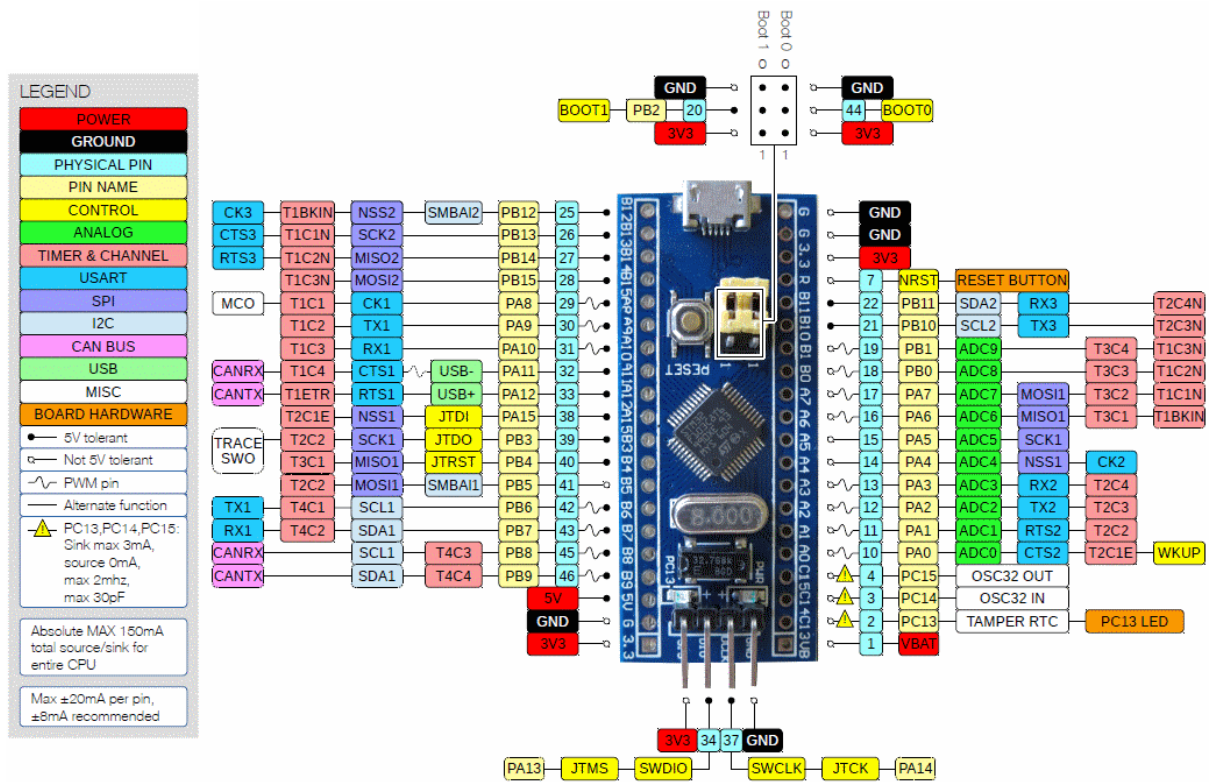


Рисунок 3.3 — Схема контактів модуля STM32F103C8T6

Наступним з основних блоків засобу для вимірювання кольору є блок світлодіодів. Вибір світлодіодів був здійснений у підрозділі 2.2 при проведенні аналізу можливості технічної реалізації запропонованого методу. Оскільки прямі струми вибраних світлодіодів перевищують допустимі струми мікроконтролера, керування ними будемо здійснювати за допомогою транзисторів, використовуючи схему на рис. 3.4.

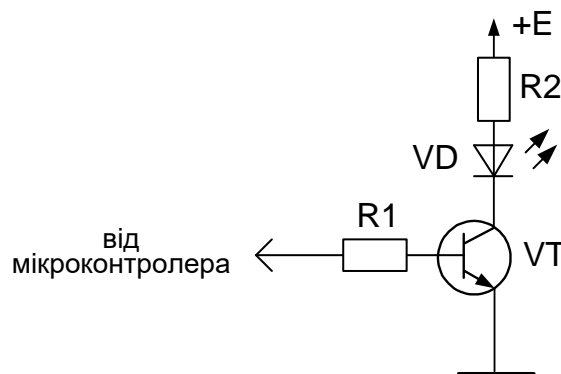


Рисунок 3.4 — Схема керування світлодіодом через транзисторний ключ

Допустимий колекторний струм транзистора не повинен бути менший за

струм світлодіода. Серед вибраних світлодіодів максимальний прямий струм в

4
5
0

Таблиця 3.2 — Основні технічні характеристики транзистор BC817-25

Параметр	Значення
Максимальний струм колектора	500 мА
Максимальна напруга колектор-база	50 В
Максимальна напруга колектор-емітер	45 В
Статичний коефіцієнт передачі струму бази	не менше 160
Гранична частота	200 МГц

м
А

м
а
ю
т
ь

с
в

Випромінювання, створюване світлодіодами, після відбивання від поверхні перетворюється в електричні сигнали за допомогою фотоприймача. Як фотоприймач було вирішено використовувати фотодіод. Основною вимогою до фотодіода є чутливість у спектральному діапазоні колірної моделі XYZ, що складає від 370 нм до 700 нм. Таким фотодіодом є фотодіод VEMD5510С, основні параметри якого наведені в табл.3.3 [38].

і

Таблиця 3.3 — Характеристики фотодіода VEMD5510С

Параметр	Значення
Ширина області спектральної чутливості	від 350 нм до 750 нм
Довжина хвилі максимуму спектральної чутливості	550 нм
Максимальна зворотна напруга	20 В
Темновий струм	0,2 нА

о
д
и

Е
р
і

е
д
ого
в
с

Е

Вихідним сигналом фотодіода є його зворотній струм. Для перетворення його в напругу, скористуємося схемою перетворювача струм-напруга на

операційному підсилювачі [39] (рис. 3.5).

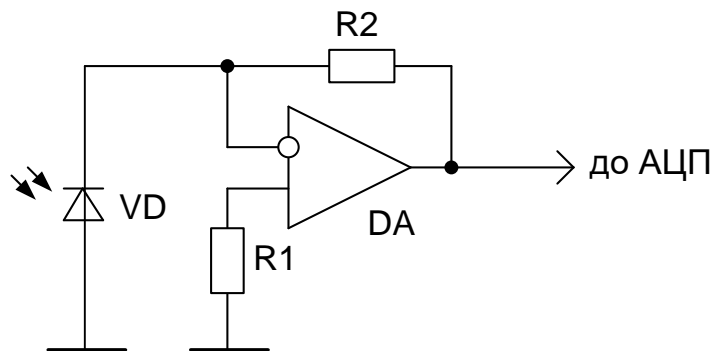


Рисунок 3.5 — Схема фотоприймача

Як операційний підсилювач вибираємо підсилювач AD8603. Підсилювач AD8603 призначений для роботи від 1,8 В до 5,0 В одного джерела живлення або від подвійного живлення від $\pm 0,9$ В до $\pm 2,5$ В. Основні характеристики підсилювача AD8603 наведені в табл.3.4 [40].

Таблиця 3.4 — Характеристики підсилювача AD8603 при однополярному живленні +5 В

Параметр	Значення
Струм зміщення	0,1 пА
Напруга зміщення	12 мкВ
Коефіцієнт підсилення	1000
Діапазон вхідних напруг	від -0,3 В до +5,2 В
Вихідна напруга високого рівня	4,97 В
Вихідна напруга низького рівня	16 мВ

Мікроконтролер STM32F103C8T має у своєму складі 2 модуля аналого-цифрового перетворення. Тому аналого-цифрове перетворення напруги на виході операційного підсилювача буде здійснюватися безпосередньо мікроконтролером. Основні характеристики модулів АЦП мікроконтролера STM32F103C8T представлені у табл. 3.5 [41].

Таблиця 3.5 — Характеристики модуля АЦП мікроконтролера STM32F103C8T

Параметр	Значення
Тип АЦП	послідовного наближення
Роздільна здатність	12 біт
Мінімальний час перетворення	1 мкс
Кількість вхідних каналів	16
Режим самокалібрування	є
Джерело опорної	внутрішнє або зовнішнє

Два модуля АЦП можуть працювати у режимі здвоєних перетворень, використовуючи який їх можна перетворити на один АЦП з вищою швидкістю перетворення.

Для забезпечення взаємодії з користувачем при керуванні пристроєм до його складу будуть входити індикатор та дві кнопки. Як було відзначено раніше з точки зору можливих режимів роботи розроблюваний засіб є порівняно простим, тому інтерфейс користувача не буде складним. Відповідно можна використати порівняно простий індикатор, головне, щоб він був графічним, наприклад TFT-LCD модуль FRD14414B (рис. 3.6), який складається з рідкокристалічної TFT панелі, драйвера та блоку підсвічування. Розмір панелі становить 1,44 дюйми, а роздільна здатність — 128×128. Модуль підтримує функцію часткового відображення екрана, режими сну та очікування для економії енергії. Основні характеристики модуля FRD14414B наведені в табл. 3.6 [42].



Рисунок 3.6 — Рідкокристалічний індикаторний модуль FRD14414B

Таблиця 3.6 — Характеристики TFT-LCD модуля FRD14414B

Параметр	Значення
Режим відображення фону	Нормально білий
Розмір діагоналі	1,44 дюйми
Роздільна здатність	128 × 128
Кількість підтримуваних кольорів	65К
Мікросхема драйвера	ST7735S
Інтерфейс	4SPI
Напруга живлення	3,3 В
Габаритні розміри, Ш × В × Т	29.5 мм × 36.5 мм × 2.2 мм

Як кнопки вибираємо сенсорний модуль TTP223-BA6 (рис. 3.7), що дозволяє реалізувати 1 сенсорну клавішу та призначений для заміни традиційних кнопкових клавіш. Модуль містить генератор, що змінює частоту при наближенні пальця на відстань у кілька міліметрів. Зміна частоти реєструється спеціалізованою мікросхемою. Основні характеристики модуля наведені у

т
а
б
л

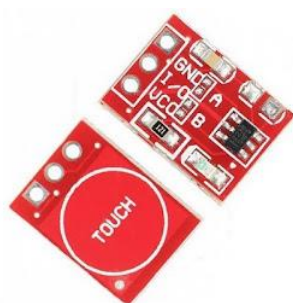


Рисунок 3.7 — Однокнопковий сенсорний модуль TTP223-BA6

Таблиця 3.7 — Характеристики сенсорного модуля TTP223-BA6

Параметр	Значення
Робоча напруга	від 2.0 В до 5.5В
Робочий струм без навантаження	1,5 мкА
Максимальний час відгуку	220 мс

Продовження таблиці 3.7

Ємність зовнішнього конденсатора для регулювання чутливості	від 0 пФ до 50 пФ
Час активізації при вмиканні живлення	0,5 с
Вихід	сумісний з CMOS

Схема вмикання модуля наведена на рис. 3.8, можливі режими налаштування логічних параметрів вихідного сигналу у табл. 3.8 [43].

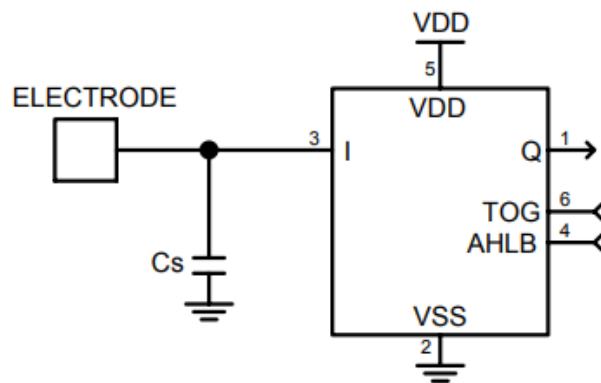


Рисунок 3.8 — Схема вмикання сенсорного модуля TTP223-BA6

Таблиця 3.8 — Налаштування режимів виходу модуля TTP223-BA6

TOG	AHLB	Вихід Q
0	0	Активний рівень високий
0	1	Активний рівень низький
1	0	При вмиканні живлення 0
1	1	При вмиканні живлення 1

-підключення може бути реалізоване без використання додаткових компонентів, оскільки мікроконтролер STM32F103C8T6 містить у своєму складі USB-контролер, сумісний з повношвидкісним інтерфейсом USB 2.0. Контролер дозволяє реалізувати обмін 12 Мбіт/с функціональний інтерфейс між USB шиною та процесором. Він має параметри кінцевої точки, які можна налаштувати програмно, і підтримує USB функції suspend/resume

призупинення/відновлення), які дозволяють зупинити тактування пристрою для зменшення енергоспоживання [41].

Основні функції та можливості, що підтримуються [41]:

- сумісність із специфікацією USB 2.0 full-speed;
- конфігурована кількість кінцевих точок від 1 до 8;
- генерація/перевірка CRC, кодування сигналу з використанням NRZI та
- підтримка ізохронних (isochronous) транзакцій;
- підтримка подвійної буферизації кінцевих точок bulk/isochronous;
- підтримка операцій USB Suspend/Resume;
- генерація імпульсів синхронізації за кадром (Frame locked clock pulse

Для підтримання бездротового підключення Bluetooth скористаємося Bluetooth-модулем HC-05 (рис. 3.9), що дозволяє організувати двосторонній зв'язок за протоколом Bluetooth. Підключення модуля до мікроконтролера здійснюється з використанням послідовного асинхронного інтерфейсу, що з боку мікроконтролера підтримується універсальним асинхронним приймачем/передавачем UART. Модуль HC-05 може працювати як в режимі зважаючи на це його виходи сумісні з TTL. Основні характеристики Bluetooth-модуля HC-05 представлені в табл. 3.9 [44].



Рисунок 3.9 — Зовнішній вигляд Bluetooth-модуля HC-05

Таблиця 3.9 — Характеристики Bluetooth-модуля HC-05

Параметр	Значення
Робоча напруга	+3,3 В або +5 В
Споживаний струм	50 мА
Основна частота	2,4 ГГц
Антенa	Інтегрована
Потужність	≤ 4дБм, клас 2
Чутливість	≤ 84дБм, при 0,1%
Швидкість синхронної передачі даних	1 Мбіт/с
Швидкість асинхронної передачі даних	2,1 Мбіт/с
Захист	Авторизація та шифрування
Розміри (Д × Ш × В)	17 мм × 43 мм × 7,5 мм

Розроблюваний засіб є портативним. Тому живлення його здійснюється від акумуляторної батареї. Для отримання стабілізованої напруги живлення цифрових компонентів схеми скористаємося інтегральним стабілізатором напруги. Напруга живлення мікроконтролерного модуля STM32F103C8T6 складає +5 В. Напруга живлення індикаторного TFT-LCD модуля FRD14414В дорівнює +3,3 В. Решта компонентів допускає живлення як від 3,3 В, так і від +5 В. Мікроконтролерний модуль STM32F103C8T6 містить інтегральний стабілізатор напруги +3,3 В, яка доступна на кількох контактах модуля (рис. 3.3). Тому для живлення індикаторного модуля можна цим скористатися. Тому живлення засобу для визначення кольору будемо здійснювати від напруги +5 В, для отримання якої використаємо підвищувальний DC-DC перетворювач NCP1450ASN50T.

Серія мікросхем NCP1450А є підвищувальними DC-DC ШІМ-контролерами, що спеціально розроблені для живлення портативного обладнання від одно- або двохелементних батарейних блоків. Елементи NCP1450А мають послідовний вихід драйвера (EXT), до якого може бути підключений зовнішній силовий транзистор з низьким опором у відкритому стані для отримання більших

вихідних струмів. Пристрій буде автоматично пропускати цикли переключень при малій навантаженні, щоб підтримувати більшу ефективність при невеликому навантаженні. Серія NCP1450A дозволяє просто реалізувати високоефективний перетворювач для додатків з великим вихідним струмом [45].

Елементи серії NCP1450A складається з вбудованого генератора з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), ШІМ-контролера, підсилювача помилок з фазовою компенсацією, пристрою плавного запуску, джерела опорної напруги та драйвера для керування зовнішнім силовим транзистором. Крім того, підтримується функція вимикання для збільшення терміну служби акумулятора. Основні характеристики DC-DC перетворювача NCP1450ASN50T представлені в табл. 3.10 [45].

Таблиця 3.10 – Характеристики DC-DC перетворювача NCP1450ASN50T

Параметр	Значення
Вихідна напруга	+5 В
Вхідна напруга	від -0,3 В до +6,0 В
Вихідний струм при $U_{вх} = 3$ В	800 мА
Частота ШІМ	180 кГц
Максимальна розсіювана потужність	500 мВт

Схема вмикання DC-DC перетворювачів NCP1450A зображена на рис. 3.10, призначення контактів у табл. 3.11 [45].

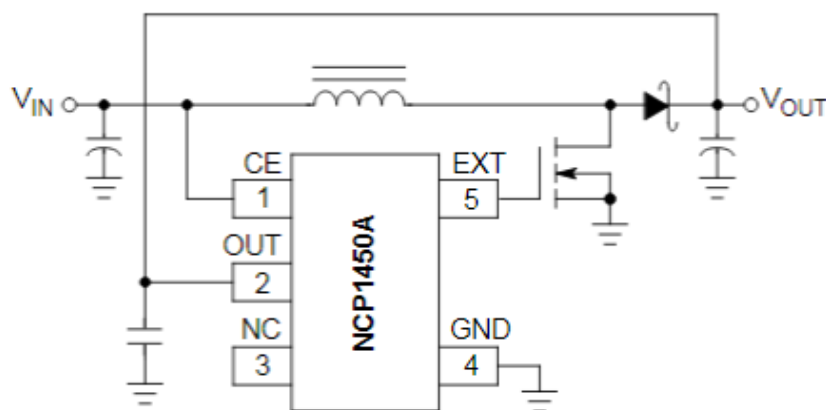


Рисунок 3.10 — Схема вмикання DC-DC перетворювачів NCP1450A

Таблиця 3.11 — Функціональне призначення контактів перетворювачів NCP1450A

Контакт	Символ	Призначення
1	CE	Вхід дозволу при $U \leq 0,3 \text{ В}$ — заборона при $U \geq 0,9 \text{ В}$ — дозвіл
2	OUT	Вихідна напруга
3	NC	Вільний контакт
4	GND	Контакт «земля»
5	EXT	Вихід керування зовнішнім транзистором

Оскільки сумарний струм споживання вибраних компонентів менший за 800 мА, перетворювач NCP1450ASN50T будемо використовувати без зовнішнього силового транзистора.

3.3 Розробка схеми електричної функціональної.

На основі результатів попереднього підрозділу було розроблено функціональна схема засобу для визначення кольору, що наведена у додатку Г. Основу засобу складає модуль STM32F103C8T6 DD3, головним елементом якого є однойменний 32-ох бітний ARM мікроконтролер STM32F103C8T6. Модуль забезпечує виконання усіх функцій засобу: послідовне формування трьох світлових потоків, що відповідають кривим додавання $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$ колірної моделі XYZ, визначення інтенсивності цих потоків після відбивання від поверхні, розрахунок координат кольоровості x' , y' , z' та r' , g' , b' , передавання їх значень на зовнішній пристрій, наприклад, комп'ютер, через USB або Bluetooth.

Формування світлових потоків $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$ забезпечується за допомогою світлодіодів VD2...VD6. Керування світлодіодами здійснюється сигналами ШІМ, що формуються на виходах PA3, PA6, PA7, PB0 та PB1

мікроконтролера, які використовуються у режимі вихідних каналів таймерів. Сигнали ШІМ будуть отримуватися за допомогою таймерів загального призначення TIM2 та TIM3. Усі таймери загального призначення мікроконтролера STM32F103C8T6 мають чотири незалежні канали. Для керування світлодіодом VD2 використовується канал 4 таймера TIM2, для керування світлодіодами VD3, VD4, VD5 та VD6 — канали 1, 2, 3 та 4 таймера TIM3, відповідно.

Керування світлодіодами відбувається за допомогою транзисторних ключів на біполярних транзисторах VT1...VT5. Коли ШІМ сигнал на виході мікроконтролера змінює своє значення з логічного нуля на логічну одиницю, підключений до цього виходу транзистор відкривається. Через світлодіод починає текти електричний струм, у результаті чого світлодіод перемикається в режим світіння. При зміні значення ШІМ сигналу з логічної одиниці на логічний нуль, транзистор закривається, і формування світлового імпульсу завершується.

Резистори R4...R8 обмежують базові струми транзисторів VT1...VT5, резистори R9...R13 — струми світлодіодів VD2...VD6. Опори резисторів можуть бути визначені за формулами:

Їх опір може бути визначений за формулою:

$$R4...R8 = \frac{U^1 - U_{BE}}{I_{VD}} \cdot h21, \quad (3.4)$$

$$R9...R13 = \frac{VCC - U_{VD}}{I_{VD}}, \quad (3.5)$$

де U^1 — напруга логічної одиниці на виході мікроконтролера;

U_{BE} — напруга база-емітер відкритого транзистора;

I_{VD} — прямий струм світлодіода;

$h21$ — коефіцієнт передачі струму бази транзистора в схемі із загальним емітером;

VCC — напруга живлення;

U_{VD} — пряма напруга на світлодіоді.

Світловий потік після відбивання від поверхні потрапляє на фотодіод VD1, який разом з операційним підсилювачем DA1 утворює фотоприймальний блок. Зворотній струм світлодіода пропорційний інтенсивності світлового потоку, що падає на нього. За допомогою операційного підсилювача DA1 фотострум перетворюється в напругу:

$$U_{\phi} = I_{\phi} \cdot (R1 + R3) = S \cdot \Phi \cdot (R1 + R3), \quad (3.6)$$

де I_{ϕ} — зворотний струм фотодіода (фотострум);

S — спектральна чутливість фотодіода;

Φ — світловий поті, що потрапляє на фотодіод.

Підстроювальний резистор R2 компенсує дрейф нуля операційного підсилювача.

Вихід операційного підсилювача підключений до входу PA0 мікроконтролера, який може використовуватися як вхід його аналого-цифрового перетворювача ADC0. За допомогою ADC0 напруга на виході операційного підсилювача U_{ϕ} , що визначається виразом (3.6), перетворюється у цифровий код.

Сигнали ШІМ подаються на світлодіоди по чергово, що забезпечує роздільне послідовне формування світлових потоків $x'(\lambda)$, $y'(\lambda)$ та $z'(\lambda)$. Відповідно до цього за результатами аналого-цифрового перетворення будуть роздільно отримуватися координати кольору X, Y, та Z, які потім за виразами (2.3) та (2.12) перераховуються у координати кольоровості x' , y' , z' та r' , g' , b' , відповідно.

Керування засобом з боку користувача забезпечується двома сенсорними кнопками Sens1, Sens2 та рідкокристалічним індикаторним модулем HG1. Крім того, індикатор використовується для відображення результатів визначення кольору. Взаємодія мікроконтролера з сенсорними кнопками підтримується за допомогою спеціалізованих детекторів DD1 та DD2, виходи яких підключені до входів PA9 та PA10 мікроконтролера. При піднесенні пальця до контактної площадки сенсора на виході детектора формується сигнал високого логічного рівня.

Відображення даних на рідкокристалічному кольоровому TFT індикаторі

забезпечується вбудованим в індикаторний модуль HG1 контролером, взаємодія з яким відбувається за допомогою виходів PB12, PB13, PB15 та PA8 мікроконтролера DD3. Передавання даних від мікроконтролера до контролера індикатора здійснюється через послідовний синхронний інтерфейс, що утворений двома лініями: лінією даних MOSI2 та лінією синхронізації SCK2, які є виходами вбудованого у мікроконтролер послідовного синхронного передавача SPI2. Виходи MOSI2 та SCK2 модуля SPI2 внутрішньо під'єднані до виходів PB15 та PB13 мікроконтролера. Високий рівень сигналу на виході PB12, що під'єднаний до входу A індикаторного модуля, супроводжує передавання команди в контролер індикатора. Сигнал низького логічного рівня на вході A формується під час передавання даних, що визначають стан пікселів. Сигнал на лінії PA8 є сигналом скидання.

USB підключення забезпечується вбудованим у мікроконтролер USB-контролером, лінії даних D- та D+ якого підключені до виходів PA11 та PA12 мікроконтролера DD3. Фізичне з'єднання здійснюється через роз'єм X2.

Бездротове з'єднання Bluetooth реалізується за допомогою Bluetooth модуля DA3, підключення якого до мікроконтролера здійснюється через послідовний асинхронний інтерфейс. Обмін даними між мікроконтролером модулем DD3 та модулем DA3 з боку мікроконтролера забезпечується наявним у ньому асинхронним приймачем/передавачем UART1 через лінії послідовних даних Tx1 та Rx1.

Живлення засобу відбувається від акумуляторної батареї, що підключається через роз'єм X1. За допомогою DC-DC перетворювача DA2 напруга акумулятора перетворюється в напругу +5 В, необхідну для живлення цифрових компонентів електричної схеми.

3.4 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера

В процесі функціонування мікроконтролер повинен забезпечити взаємодію з користувачем, яка здійснюється шляхом відображення меню на індикаторі та аналізу стану ліній від двох сенсорних кнопок, та визначення параметрів кольору, яке відбувається за рахунок формування сигналів, що послідовно переводять світлодіоди в режим світіння, та виконання аналого-цифрового

сигналу з виходу фотоприймального пристрою з подальшим обрахунком колірних ординат.

Розроблена блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера представлена у додатку Д. Першим кроком виконання програми є ініціалізація ресурсів мікроконтролера, індикатора та Bluetooth-модуля. Ініціалізацію портів введення виведення та модуля тактування самого мікроконтролера будемо здійснювати в головному модулі програми. Ініціалізацію індикатора, аналого-цифрового перетворювача, модуля USB та послідовного приймача/передавача USART1, з використанням якого організовується обмін даними з Bluetooth-модуля будемо здійснювати в інших відповідних програмних модулях.

Після ініціалізації мікроконтролер, в залежності від дій користувача переходить або в режим визначення колірних координат, або в режим передачі результатів через Bluetooth. В режим передачі даних через USB мікроконтролер переходить автоматично при здійсненні фізичного підключення.

В режимі визначення параметрів кольору мікроконтролер забезпечує послідовне формування світлових потоків (2.7) з подальшим аналого-цифровим перетворюванням сигналів (2.8).

В додатку Е наведений лістинг головного модуля програми, в додатках Ж та К — лістинги модулів USB.c та USART1.c, що забезпечення взаємодію із зовнішнім пристроєм через USB та Bluetooth..

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою даного розділу є проведення технологічного аудиту, в даному випадку нового виробу, а саме мікропроцесорного засобу визначення кольору. Особливістю виробу є те, що точне відтворення кольору є важливим при виробництві паперу, виготовленні будматеріалів, полімерів, в поліграфії, на текстильних підприємствах, при реставраційних роботах, у сфері графічного дизайну. Вміння визначати колір надає можливість його контролювати, відтворювати та передавати інформацію про нього.

Аналогом розробки є колориметр NH-310, вартість 30 тис. грн.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3-х незалежних експертів. Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, у відповідності із табл. 4.1.

Таблиця 4.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Критерій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність в реальних умовах
Ринкові переваги					
2	Багато аналогів на малому ринку	Ринкові п Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів

Продовження табл. 4.1

4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практик на здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х

Продовження табл. 4.1

12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту
----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------

Усі дані по кожному параметру занесені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 — Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	2	3	3
Наявність аналогів на ринку	3	3	4
Цінова політика	4	4	4
Технічні та споживчі властивості виробу	3	3	3
Експлуатаційні витрати	3	4	3
Ринок збуту	4	3	4
Конкурентоспроможність	3	3	3
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	4	3	4
Фінансування	4	4	3
Матеріально-технічна база	3	3	3
Термін реалізації ідеї	4	4	4
Супровідна документація	2	3	3
Сума	39	40	41
Середньоарифметична сума балів	$(39+40+41) / 3 = 40$		

За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 — Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

Як видно з таблиці, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового виробу є вище середнього, що досягається за рахунок точнішого відтворення кольору, яке є важливим при виробництві паперу, виготовленні будматеріалів, полімерів, в поліграфії, на текстильних підприємствах, при реставраційних роботах, у сфері графічного дизайну. Вміння визначати колір надає можливість його контролювати, відтворювати та передавати інформацію про нього.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

Розраховуємо основну заробітну плату розробників:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.1)$$

де M — місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p — число робочих днів в місяці, 20 днів;

t — число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	25000	1250,00	42	52500,000
Інженер	22000	1100,00	42	46200,000
Всього				98700,00

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) розраховуються на основі норм часу, які необхідні для виконання даної роботи, розраховуються за формулою:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c, \quad (4.2)$$

де t_i — норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n — число робіт по видах та розрядах;

K_c — коефіцієнт співвідношень, який установлений в даний час Генеральною тарифною угодою між Урядом України і профспілками;

C_i — погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує відповідну роботу, грн./год.

C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{zm}}, \quad (4.3)$$

де M_m — мінімальна місячна оплата праці, грн., $M_m = 6700$ грн.

K_i — тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

T_p — число робочих днів в місяці, $T_p = 20$ дні;

T_{zm} — тривалість зміни, $T_{zm} = 8$ годин.

Погодинна тарифна ставка згідно чинного законодавства у грудні 2022 року = 40,46 грн./год.

Розрахунки заносимо до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 — Витрати на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Трудовісткість, год.	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати на робітника грн.
Підготовчі	8	3	1,35	54,621	436,968
Слюсарно-збиральні	24	3	1,35	54,621	1310,904
Налагоджувальні та контрольні	3	5	1,7	68,782	206,346
Всього					1954,22

Розраховуємо додаткову заробітну плату розробників, які приймали участь в розробці обладнання. Додаткова заробітна плата прийнято розраховувати як 11% від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Z_d = (Z_{o,роз} + Z_{o,роб}) \cdot 11\% / 100\% \quad (4.5)$$

$$Z_d = (98700,00 + 1954,22) \cdot 11\% / 100\% = 11071,96 \text{ (грн.)}$$

Визначаємо нарахування на заробітну плату розробників. Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$H_z = (Z_{o,роз} + Z_{o,роб} + Z_d) \cdot 22\% / 100\% \quad (4.6)$$

$$H_z = (98700,00 + 1954,22 + 11071,96) \cdot 22\% / 100\% = 24149,83 \text{ (грн.)}$$

Розраховуємо витрати на амортизацію обладнання, яке використовувалось для проведення розробки. Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді амортизація обладнання, що використовувалась для розробки розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [грн.]} \quad (4.7)$$

де Ц — балансова вартість обладнання, грн.;

T — термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років

$t_{вик}$ — термін використання під час розробки, місяців

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова вартість якого становить 22500 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства – 2 роки, а термін його фактичного використання – 2,100 міс.

$$A_{обл} = \frac{22500}{2} \times \frac{12,1}{12} = 1968,75 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для розробників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер та комп'ютерна периферія	22500	2	2,100	1968,750
Офісне обладнання (меблі)	22000	4	2,100	962,500
Приміщення	1000000	20	2,100	9661,458
Всього				12592,71

Амортизація обладнання, що використовувалось робітниками, розраховується аналогічно, результати розрахунків зведено в таблицю 4.7 і враховуються при розрахунку виробничої собівартості виробу.

Таблиця 4.7 — Амортизаційні відрахування матеріальних і нематеріальних ресурсів для робітників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання		Амортизаційні відрахування, грн.
			год.	міс.	
Комп'ютер	22500	2	3	0,0188	17,5781
Спеціалізоване обладнання (меблі)	22000	4	3	0,0188	8,5938
Приміщення	1000000	20	35	0,2188	911,4583
Всього					937,6302

Оскільки вартість ліцензійної ОС та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів, а також спеціалізованого облачення менше 20000 грн (операційна система – безкоштовно, осцилограф – 8800 грн., мультиметр – 460грн.), то даний нематеріальний актив не амортизується, а його вартість включається у вартість розробки повністю, $V_{\text{спец. обл.}} = 9260$ грн.

Розраховуємо витрати на комплектуючі. Витрати на комплектуючі, що були використані на виготовлення розраховуються за формулою

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.8)$$

де H_i — кількість комплектуючих i -го виду, шт.,

C_i — роздрібна ціна комплектуючих i -го виду, грн.,

K_i — коефіцієнт транспортних витрат, $K_i=1,1$,

n — кількість видів матеріалів.

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.8 без врахування транспортних витрат.

Таблиця 4.8 — Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн.
Мікроконтролерний модуль STM32F103C8 – 390 грн – 1 шт	1	390
Bluetooth-модуль HC-05 – 330 грн – 1 шт	1	330
Індикаторний модуль FRD14414B – 250 грн - шт	1	250
Операційний підсилювач OP275A – 135 грн. – 1 шт	1	135
Інтегральний стабілізатор напруги ADP3303 – 220 грн – 1шт	1	220
Світлодіод Royal Blue 1W Epistar – 35 грн – 1шт	1	35
Світлодіод NCSAE17AT – 15 грн – 1шт	1	15
Світлодіод Power LED 1W Green Epistar – 18 грн – 1шт	1	18
Світлодіод Epileds EP-U4545K-A3_UV – 38 грн – 1шт	1	38
Світлодіод Epistar 1W Green 35Mil – 28 грн – 1шт	1	28
Фотодіод VEMD5510C – 15 грн – 1шт	1	15
Сенсорний модуль TTP223 – 13 грн – 2 шт	2	13
Резистори – 0,8 грн	1	0,8
Транзистори BC817 – 2,5 грн – 5 шт	5	2,5
Корпус – 3500 грн – 1 шт	1	3500
Всього		5013,30

Витрати на комплектуючі, що були використані на розробку з врахуванням транспортних втрат:

$$H = 5013,3 \cdot 1,1 = 5514,63 \text{ (грн.)}$$

Визначаємо витрати на електроенергію. Тарифи на електроенергію для побутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює

Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП).

Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (4.9)$$

де V — вартість 1 кВт-години електроенергії, $V = 6,2$ грн./кВт;

Π — встановлена середня потужність обладнання, кВт. $\Pi = 0,45$ кВт;

Φ — фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

K_{Π} — коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} = 0,8$.

$$\begin{aligned} V_e &= 0,8 \cdot 0,45 \cdot 8 \cdot 42 \cdot 6,2 + 0,8 \cdot 0,45 \cdot 6,0 \cdot 6,2 = 749,952 + 13,392 = \\ &= 763,34 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Визначаємо інші витрати та загальновиробничі витрати. До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (4.10)$$

де H_{ib} — норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = (98700,00 + 1719,71) \cdot 88\% / 100\% = 88575,71 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.11)$$

де $H_{нзв}$ — норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = (98700,00 + 1954,22) \cdot 135\% / 100\% = 135883 \text{ (грн.)}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{заг} = 98700,00 + 1954,22 + 11071,96 + 24149,83 + 12592,71 + 937,63 + 9260 + 5514,63 + 763,34 + 88575,71 + 135883 = 389403,23 \text{ грн.}$$

Розраховуємо загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів. Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються $ЗВ$, визначається за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \text{ (грн.)}, \quad (4.12)$$

де η — коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то $\eta=0,1$; технічного проектування, то $\eta=0,2$; розробки конструкторської документації, то $\eta=0,3$; розробки технологій, то $\eta=0,4$; розробки дослідного зразка, то $\eta=0,5$; розробки промислового зразка, то $\eta=0,7$; впровадження, то $\eta=0,9$. Оберемо $\eta = 0,5$, так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ЗВ = 389403,23 / 0,5 = 778806 \text{ (грн.)}$$

4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

а) вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;

б) зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);

в) кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

г) визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників:

- абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);
- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);

— терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

В роботі здійснюється вдосконалення апаратно-програмного. У цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.13)$$

де $\pm\Delta\Pi_0$ — зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

N — кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

Π_0 — основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки, $\Pi_0 = \Pi_0 \pm \Delta\Pi_0$;

Π_0 — вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

ΔN — збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

λ — коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

ρ — коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

ϑ — ставка податку на прибуток, у 2022 році $\vartheta = 18\%$.

Припустимо, що при прогнозованій ціні 18000 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її

вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 500 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року – на 100 шт., протягом другого року – на 150 шт., протягом третього року на 200 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0*500 + (18000 + 500)*100)*0,8333*0,35*(1 - 0,18) = 430499,983 \text{ (грн.)},$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= (0*500 + (18000 + 500)*(100+150))*0,8333*0,35*(1 - 0,18) = \\ &= 1106145,789 \text{ (грн.)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= (0*500 + (18000 + 500)*(100+150+200))*0,8333*0,35*(1 - 0,18) = \\ &= 1991062,420 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 3527708,19 грн.

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.14)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

T – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$;

t – період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо починаючи з першого року:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= (430499,983/(1+0,1)^1)+(1106145,789/(1+0,1)^2)+(1991062,420/(1+0,1)^3) = \\ &= 391363,62 + 914170,074 + 1495914,67 = 2801448,36 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * 3B, \quad (4.15)$$

де $k_{инв}$ — коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію; це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{инв}=2...5$, але може бути і більшим;

$3B$ — загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 778806 = 1557612 \text{ (грн.)}.$$

Тоді абсолютний економічний ефект E_{abc} або чистий приведений дохід (NPV , *Net Present Value*) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = \text{ПП} - PV, \quad (4.16)$$

$$E_{abc} = 2801448,36 - 1557612 = 1243836,36 \text{ (грн.)}.$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (IRR , *Internal Rate of Return*) вкладених інвестицій та порівняти її з так

званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_g . Для цього використаємо формулу:

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.17)$$

$T_{жс}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_g = \sqrt[3]{1 + 2022641,89 / 1243836,36} - 1 = 0,532$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.18)$$

де d — середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2022 році в Україні $d = (0,09...0,14)$;

f — показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, $f = (0,05...0,5)$.

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Оскільки $E_g > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.19)$$

$$T_{ок} = 1 / 0,532 = 1,88 \text{ р.}$$

Оскільки $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 1,88 роки, то

фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 778806 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 1,88 роки.

ВИСНОВКИ

Задачі кількісного визначення параметрів кольору набувають сьогодні широкого практичного значення. Серед різних методів оцінювання кольору найбільш простим для реалізації є колориметричний метод. Найбільш однозначною моделлю представлення кольору є апаратно-незалежна модель XYZ, яка дозволяє легко перейти до опису кольору в інших моделях,.

Технічна реалізація колориметричного методу визначення параметрів кольору вимагає використання світлофільтрів зі складною спектральною характеристикою оптичного пропускання. Це, разом з необхідністю використання джерела білого світла з рівномірним спектром випромінювання у всьому видимому діапазоні, веде до збільшення вартості технічного засобу.

Спрощення засобу для визначення параметрів кольору за колориметричним методом можна досягнути за рахунок використання світлодіодних джерел випромінювання зі спектральними характеристиками, що відповідають кривим додавання колірної моделі XYZ.

Запропонований метод та портативний засіб, що його реалізує, може бути використаний для визначення та контролю колірних характеристик не випромінювальних поверхонь у різних сферах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи теорії кольору. Навчально-методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня бакалавра спеціальності 186 “Видавництво та поліграфія” усіх форм навчання [Електронний ресурс]/ [упоряд. Т.І. Веретільник, Л.Д. Мисник, Капітан Р.Б., Мамонов Ю.П., Манзюра О.В.] ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. — Черкаси : ЧДТУ, 2020, 130 с.
2. Гавриляк М.С. Теорія кольору і кольороутворення / автор.: М.С. Гавриляк — Чернівці: Чернівец. нац. ун-тет, 2022, с. 263.
3. Колір аналіз. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.laboratuvar.com/uk/gida-analizleri/fiziksel-analizler/renk-analizi>.
4. Четыре задачи измерения цвета: зачем нужны спектрофотометры и колориметры. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vc.ru/u/522795-sergey-druchinin/130579-chetyre-zadachi-izmereniya-cveta-zachem-nuzhny-spektrofotometry-i-kolorimetry>.
5. Спектральні вимірювання кольору предметів та інструментальне визначення різниці кольору. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://colorantlab.com/spot.html>.
6. Комп’ютерне кольороутворення. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.koloristika.in.ua/t_kk.php
7. Як ми визначаємо точність кольорів? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.benq.eu/uk-ua/knowledge-center/knowledge/define-accurate-color.html>
8. Цветовые модели. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prezi.com/p/ibuquuxlp6qd/presentation/?fallback=1>
9. Компьютерная графика. Цвет и цветовые модели. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://sites.google.com/site/komptergraf/cvet-i-cvetovye-modeli>
10. Колориметрическая система XYZ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ozlib.com/904108/tehnika/kolorimetriceskaya_sistema_1931
11. Цветовая модель CIE Lab. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<http://printservice.pro/cvetovaja-model-lab>

12. Измерение, калибровка цвета и управление цветом. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ppt-online.org/70326>

13. Цветовая модель CMY(K). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sites.google.com/site/lailkfhg/1-cvetovye-modeli/1-2-cvetovaa-model-cmy-k>

14. Колірна модель CMY. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ni.biz.ua/4/4_11/4_119777_tsvetovaya-model-CMY.html

15. Контрольно-вимірювальні прилади комп'ютерно-видавничих систем. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://proizvodim.com/kontrolno-vimiryuvalni-priladi.html>

16. Денситометрия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.az-print.com/FAQ/Heidelberg/HD003.shtml>

17. Спектрофотометр або колориметр. Що краще? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://thermolab.net.ua/ua/a271490-spektrofotometr-ili-kolorimetr.html>

18. Прорыв в цифровом цветоподборе. Новый спектрофотометр Genius iQ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://standox.com.ua/blog/proriv-v-cifrovomu-koloropidbori-novij-spektrofotometr-genius-iq>

19. Серія спектрофотометрів МА 9х. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tecsa.com.ua/uk/laboratorne-obladnannya/kontrol-koloru-ta-blysku/kontrol-koloru/bagatokutovyj-spektrofotometr-ma-9h/>

20. Колориметр 3nh technology NH-310. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://chemtest.com.ua/ua/kolorimetr_3nh_technology_nh_310

21. Коротко про теорію кольору. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.colorantlab.com/theory.html>

22. Капустинська Т. Ф. Світлодіоди, їх види та застосування / Т. Ф. Капустинська, С. І. Лапта // Наумовські читання : матеріали XIV студентської наук.-метод. конф., м. Харків, 24–25 листоп. 2016 р. / Харк. нац. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди, Фізико-мат. ф-т ; відп. за вип. Колгатін О. Г. — Харків : ХНПУ, 2017, С. 78 — 79.

23. Беляев О. Є. Чарівні подорожі в блакитне світло / О. Є Беляев, В. О.

Кочелап // Вісн. НАН України, 2015, № 2, С. 37 — 43.

24. Power LED ROYAL BLUE 1W EPISTAR 440-450nm. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://allegro.pl/oferta/dioda-power-led-royal-blue-1w-epistar-440-450nm-6214168208>

25. NCSAE17AT. Specifications for amber LED [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.nichia.co.jp/specification/products/led_spec/NCSAE17ATE\(5290\).pdf](http://www.nichia.co.jp/specification/products/led_spec/NCSAE17ATE(5290).pdf)

26. Power LED 1W 45mil GREEN EPISTAR 570nm. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://allegro.pl/oferta/dioda-power-led-1w-45mil-green-epistar-570nm-7298841917>.

27. Power LED EPILEDS EP-U4545K-A3_UV_395_405. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://allegro.pl/oferta/dioda-power-led-1w-uv-410-nm-rcb-10755361230>.

28. Power LED EPISTAR 1W GREEN 35Mil 520-525 nm. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://allegro.pl/oferta/power-led-epistar-1w-green-35mil-520-525-nm-9980170822>

29. Кожем'яко В.П., Ходяков Є.О., Мартинюк Т.Б., Зеленюк Г.П. Оптоелектронні системи з надяскравими світлодіодами// III International Conference on Optoelektronik Information Technologies, Ukraine, Vinnitsia, VNTY 27-28 April, 2005

30. Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Тарновський М.Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. - 189 с.

31. Інтерфейс USB. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://allegro.pl/oferta/power-led-epistar-1w-green-35mil-520-525-nm-9980170822>

32. Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко Засоби оргтехніки. Шина USB. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/firen/9bortnyk_zasoby_orgtehniky/44.html

33. Bluetooth: технология и ее применение. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ixbt.com/mobile/review/bluetooth-2.shtml>

34. Все що потрібно знати про технології Bluetooth. [Електронний ресурс].

Режим доступу: <http://motorvision.com.ua/vse-shho-potribno-znaty-pro-tehnologiyi-bluetooth/>

35. Сімейство мікроконтролерів STM32. Особливості та характеристики. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.fpga.keoa.kpi.ua/other/%D1%81%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B2-stm32-%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B8.html>

36. STM32F103C8 плата розробки Bluepill. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uamper.com/STM32F103C8-development-board>.

37. BC817 45 V, 500 mA NPN general-purpose transistors. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://assets.nexperia.com/documents/datasheet/BC817_SER.pdf

38. Silicon PIN Photodiode VEMD5510C. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/1013580/VISHAY/VEMD5510C.html>

39. Тарновський, М. Г. Аналогові та аналого-цифрові пристрої : електронний конспект лекцій комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / М. Г. Тарновський, Л. В. Крупельницький. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 88 с.

40. Precision Micropower, Low Noise CMOS, Rail-to-Rail Input/Output Operational Amplifiers AD8603/AD8607/AD8609. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ad8603_8607_8609.pdf

41. STM32F103x8, STM32F103xB. Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>

42. 1.44TFTBarescreen. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/1.44TFTBarescreen.pdf>

43. ТТР223-ВА6, ТТР223N-ВА6 Key touch pad detector IC. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/ТТР223-ВА6_C80757.pdf

44. Bluetooth-модуля HC-05. [Электронный ресурс]. Режим доступа:
https://narodstream.ru/bluetooth_modul_hc_05/

45. NCP1450A. [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174977/ONSEMI/NCP1450ASN50T1G.html>

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти та науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

проф., д.т.н.. Азаров О.Д.

_____ 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Методи та мікропроцесорні засоби визначення кольору»

08-23.МКР.011.00.000 ТЗ

Науковий керівник: доцент к.т.н.

_____ Тарновський М. Г.

Виконав: студент групи 1КІ-21м

_____ Пашенко О. П.

1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 Необхідність визначення параметрів кольору для його контролю, відтворення, збереження та передачі інформації про нього.

1.2 Наказ про затвердження теми МКР.

2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — вдосконалення засобу для визначення параметрів кольору;

2.1 Призначення розробки — визначення підходів до побудови мікропроцесорного засобу для визначення параметрів кольору.

3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Функціональне призначення — визначення параметрів кольору відповідно до однієї з колірних моделей;

3.2 Тип пристрою — портативний; подання результату вимірювання в системі RGB;

3.3 Підтримка можливості підключення до зовнішнього пристрою з повнокольоровим графічним дисплеєм;

3.4 Інтерфейси — USB та Bluetooth;

3.5 Живлення — акумуляторна батарея.

4 Вимоги до виконання МКР

4.1 Провести обґрунтування доцільності розробки;

4.2 Провести аналіз сучасних підходів до визначення кольору;

4.3 Обґрунтувати метод визначення кольору та його технічну реалізацію;

4.4 Визначити підходи до побудови мікропроцесорного засобу для визначення параметрів кольору;

4.5 Оцінити комерційний потенціал розробки.

5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Аналіз сучасних підходів до визначення кольору			Вступ Розділ 1
2	Вибір методу визначення кольору та його технічної реалізації			Розділ 2
3	Розробка структурної схеми мікропроцесорного засобу для визначення кольору			Розділ 3, Структурна схема
4	Вибір елементної бази та схемних рішень для реалізації блоків структурної схеми. Розробка функціональної схеми			Розділ 3, Функціо- нальна схема
5	Оцінка комерційного потенціалу розробки			Розділ 4
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації			Поясню- вальна записка, графічний матеріал, презентація

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист

МКР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

— ДСТУ 3008 : 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302 : 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— методичні вказівки. Кафедра обчислювальної техніки 2022;

— документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21».

ДОДАТОК Б

Загальна схема реалізації вдосконаленого колориметричного методу

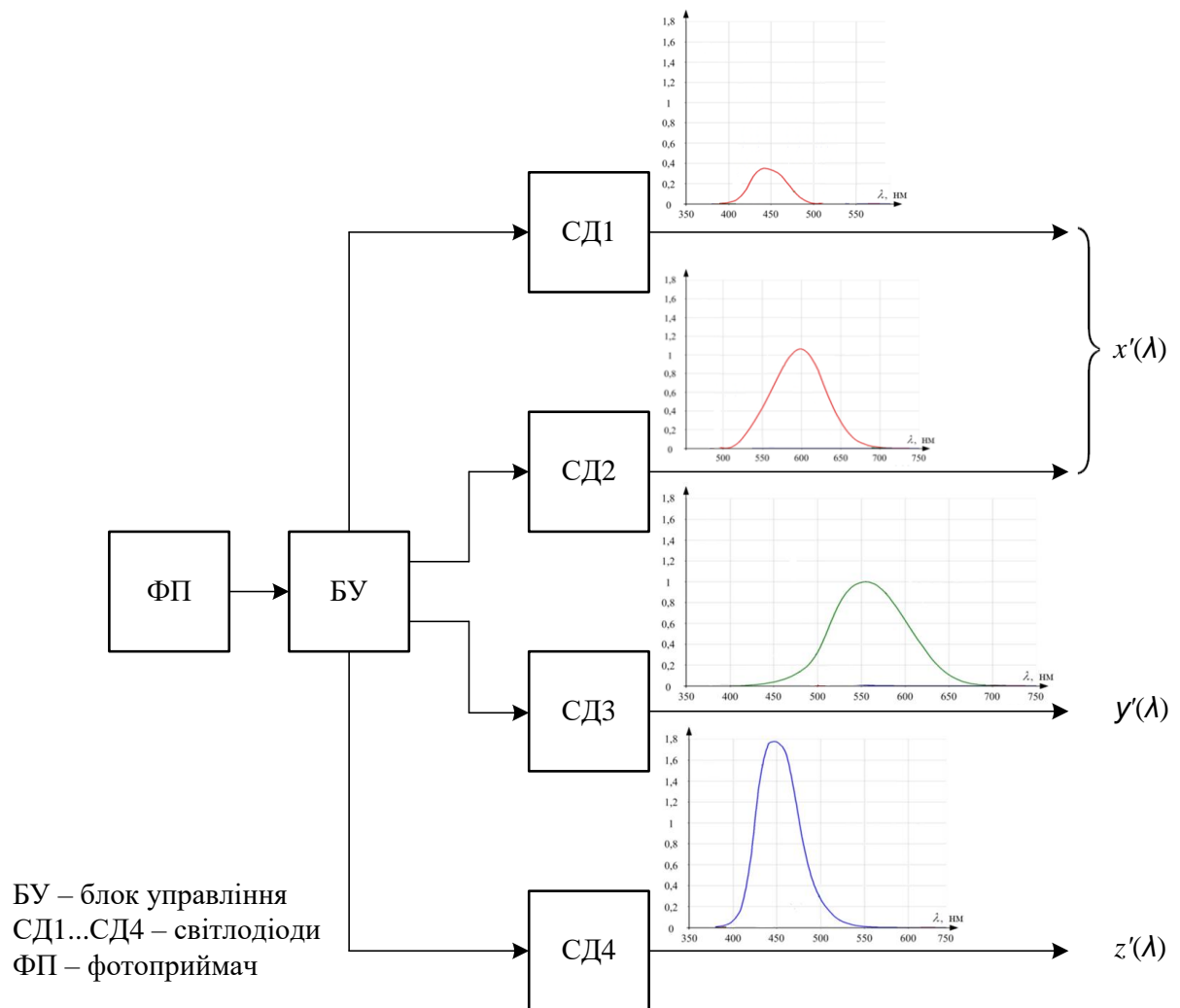


Рисунок Б.1 — Загальна схема реалізації вдосконаленого колориметричного методу

ДОДАТОК В

Структурна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору

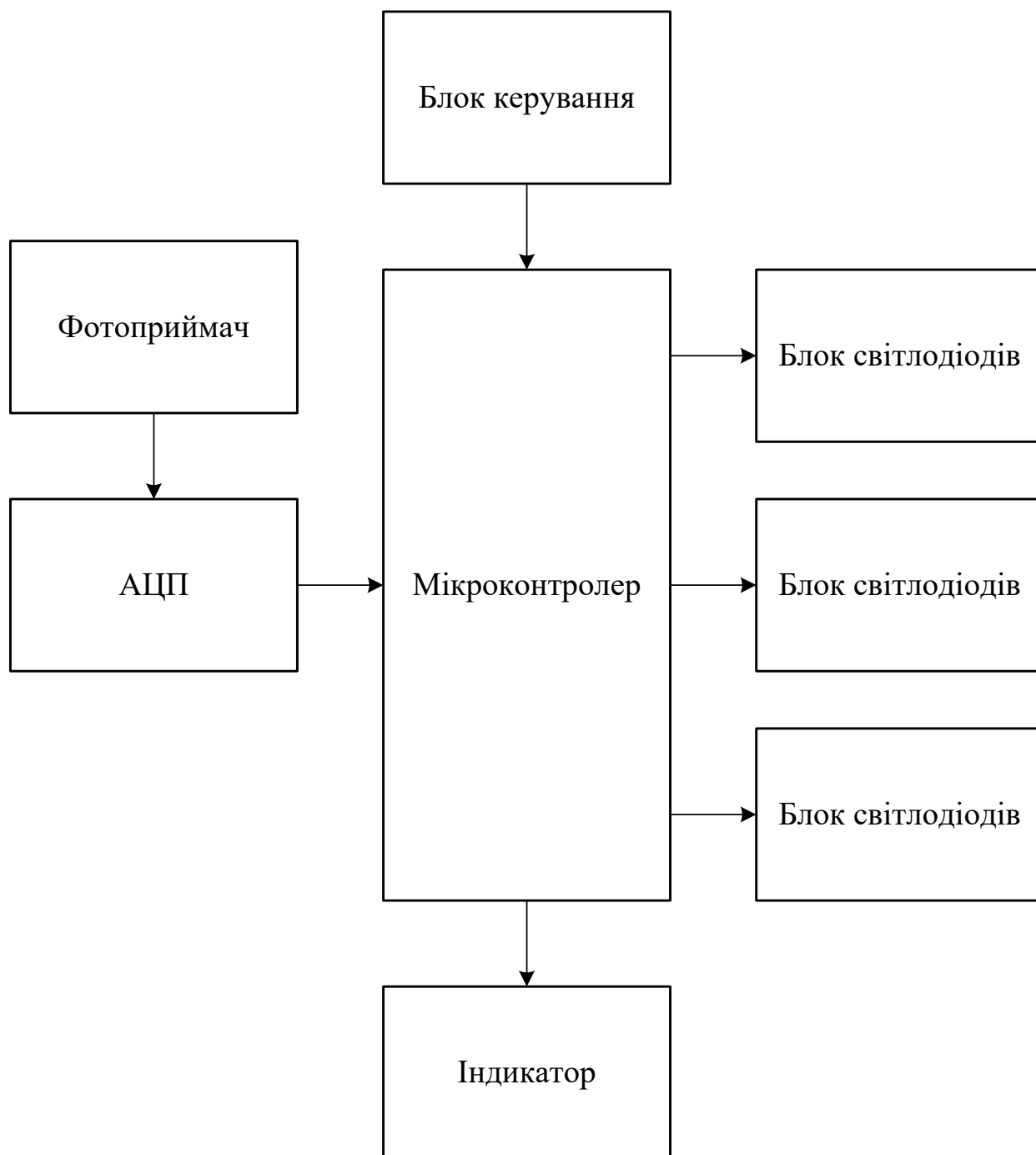


Рисунок В.1 — Структурна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору

ДОДАТОК Г

Функціональна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору

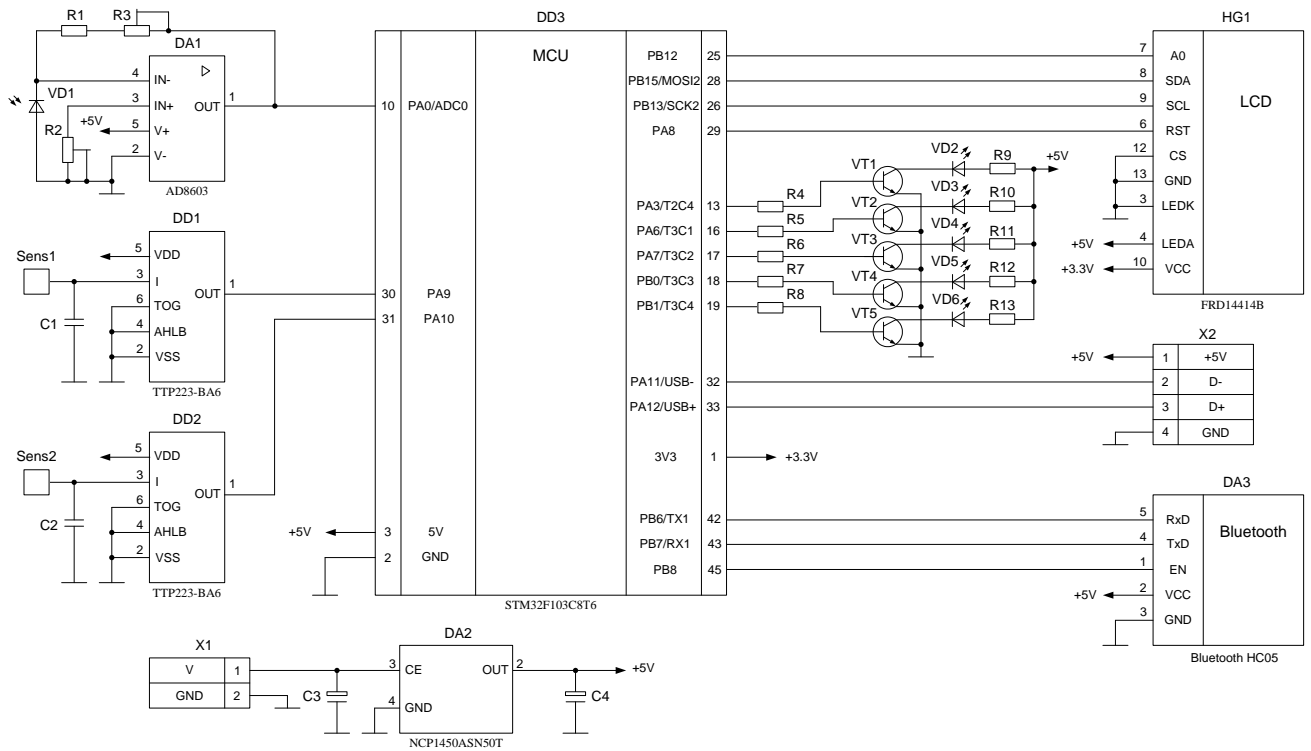


Рисунок Г.1 — Функціональна схема мікропроцесорного засобу визначення кольору

ДОДАТОК Д

Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного засобу визначення кольору

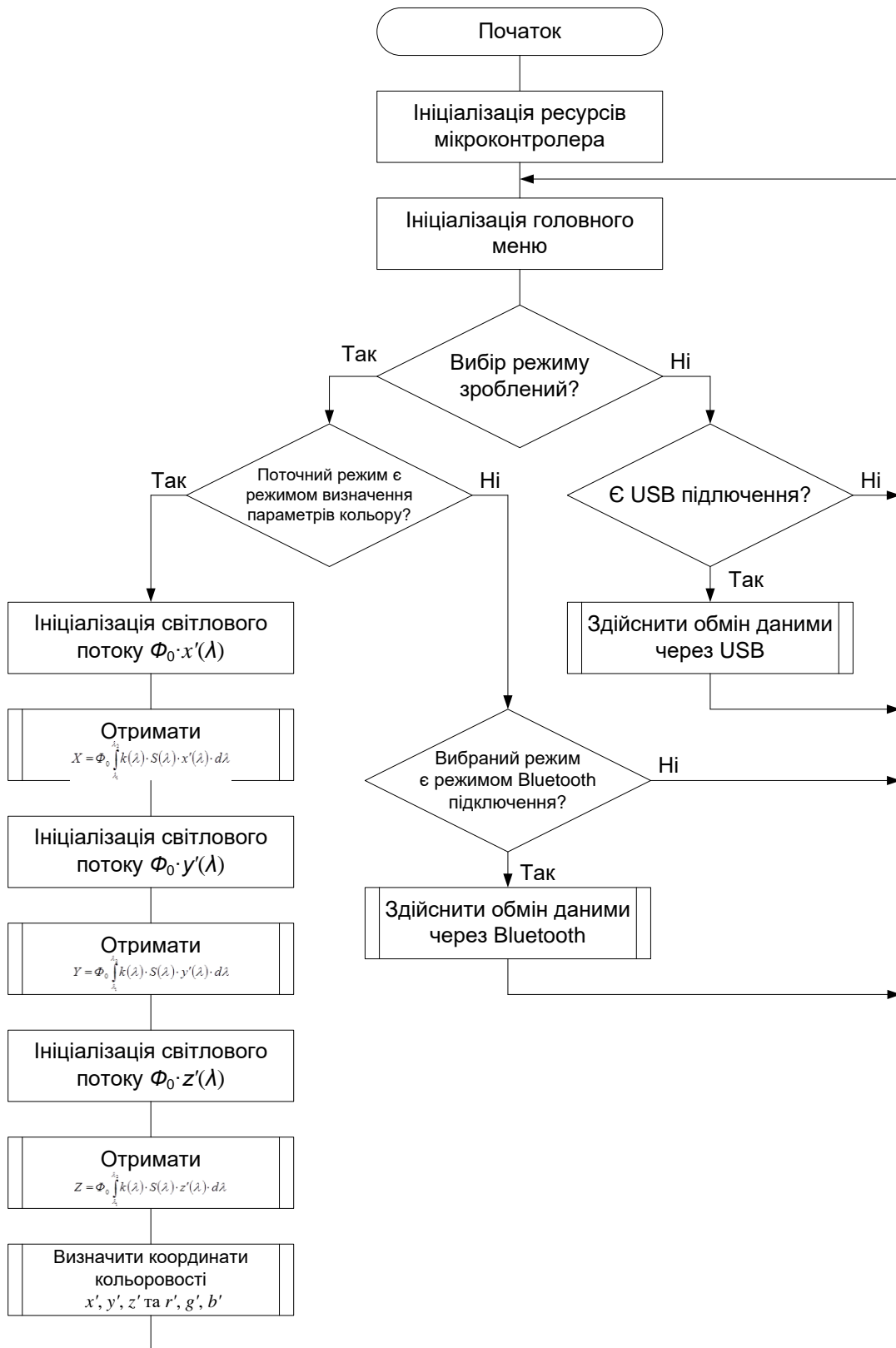


Рисунок Д.1 — Блок-схема алгоритму роботи мікропроцесорного засобу визначення кольору

ДОДАТОК Е

Лістинг модуля Main.c

```
/*
*****
Ініціалізація мікроконтролера
*****
*/
void MCU_Init(void)
{
//Робимо налаштування системи тактування мікроконтролера
RCC->CR |= (1<RCC_CR_HSEON_Pos); //Запускаємо генератор HSE
//Налаштовуємо PLL. PLL множник дорівнює 9
RCC->CFGR |= (0x07 << RCC_CFGR_PLLMULL_Pos) | // (0x01
<<RCC_CFGR_PLLSRC_Pos);
//Тактування PLL від HSE
RCC->CR |= (1<RCC_CR_PLLON_Pos); //Запускаємо PLL
//Встановлюємо 2 цикли очікування для Flash
//оскільки частота ядра 48 MHz < SYSCLK <= 72 MHz
FLASH->ACR |= (0x02<<FLASH_ACR_LATENCY_Pos);

//Задаємо дільники
//Дільник шини APB2 відключений (залишаємо 0 за замовчуванням)
//Дільник шини APB1 дорівнює 2
//Дільник АНВ вимкнений (залишаємо 0 за замовчуванням)
RCC->CFGR |= (0x00<<RCC_CFGR_PPRE2_Pos)
| (0x04 <<RCC_CFGR_PPRE1_Pos)
| (0x00 <<RCC_CFGR_HPRE_Pos);
RCC->CFGR |= (0x02 << RCC_CFGR_SW_Pos); //Перемикаємося на
роботу від PLL
//Після переходу на зовнішнє джерело такування відключаємо
внутрішній RC-генератор
RCC->CR &= ~(1<RCC_CR_HSION_Pos);}

//Робимо налаштування портів введенн/виведення
//Вмикаємо тактування порту А
RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN;
//Налаштовуємо виводи порта А
//PA0 як аналоговий вхід
GPIOA->CRL &= ~GPIO_CRL_CNF0

//PA9 та PA10 як логічні входи з подтягуванням до +
GPIOA->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF9 | GPIO_CRL_CNF10);
GPIOA->CRL |= (GPIO_CRL_CNF9_1 | GPIO_CRL_CNF10_1);
GPIOA->ODR |= (GPIO_ODR_ODR9 | GPIO_ODR_ODR9);

//PA3, PA6, PA7 та PA8 як логічні виходи
GPIOA->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF3 | GPIO_CRL_CNF6 | GPIO_CRL_CNF7 |
GPIO_CRL_CNF6);
GPIOA->CRL |= (GPIO_CRL_MODE3_0 | GPIO_CRL_MODE6_0 | GPIO_CRL_
MODE7_0 | GPIO_CRL_MODE6_0);

//Вмикаємо тактування порту В
```

```

RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN;
//Налаштовуємо виводи порта B

//PB0, PB1, PB12, PB13 та PB15 як логічні виходи
GPIOB->CRL &= ~(GPIO_CRL_CNF0 | GPIO_CRL_CNF1 | GPIO_CRL_CNF12 |
GPIO_CRL_CNF13 | GPIO_CRL_CNF15);
GPIOB->CRL |= (GPIO_CRL_MODE0_0 | GPIO_CRL_MODE1_0 | GPIO_CRL_
MODE12_0 | GPIO_CRL_MODE13_0 | GPIO_CRL_MODE15_0);

/*****
                Головна функція
*****/
void Main(void)
{
    uint8_t Status, data;

    MCU_Init(); //ініціалізація мікроконтролера
    USB_Init(); //ініціалізація USB
    USART1_Init(); //ініціалізація USART1
    ADC_Init(); //ініціалізація ADC
    LCD_Init(); //ініціалізація LCD

    while(true)
    {
        //Якщо потрібно обробити дані з USB, зробити це
        if(Status & (1 << ProcessUSBdata))ToProcessUSBdata();
        //Якщо потрібно обробити дані з USART, зробити це
        if(Status & (1 << ProcessUSARTdata))ToProcessUSARTdata();
        //Перевірити стан кнопок. Кщо він змінився обробити
натискання/відпускання
        if(data = ToChekKey())ToProcessKeyStatus(data);

        //Якщо потрібно визначити колір, зробити це
        if(Status & (1 << DefColor))
        {
            uint8_t i;
            For(i = 0; i < 5; i++)
            {
                ToOnLED(i);
                ToDefColoCoordinate(i);
                ToOffLED(i);
            }
            ToDefineColor();
        }
    }
}

```

ДОДАТОК Ж

Лістинг модуля USB.c

```
/*
    Ініціалізація USB
    */
void USB_Init(void)
{
    //включаємо тактування порту та альтернативних функцій
    RCC -> APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPAEN | RCC_APB2ENR_AFIOEN;
    //налаштовуємо порти
    GPIOA->CRH &= ~GPIO_CRH_CNF11;
    GPIOA->CRH |= GPIO_CRH_CNF11_1;
    GPIOA->CRH |= GPIO_CRH_MODE11;

    GPIOA->CRH &= ~GPIO_CRH_CNF12;
    GPIOA->CRH |= GPIO_CRH_CNF12_1;
    GPIOA->CRH |= GPIO_CRH_MODE12;

    //Вимикаємо ділтник usb
    RCC->CFGR &= ~RCC_CFGR_USBPRES;
    //включаємо тактування usb
    RCC -> APB1ENR |= RCC_APB1ENR_USBEN;
    //виходимо з power down
    USB->CNTR &= ~USB_CNTR_PDWN;
    //невелика затримка
    uint32_t temp;
    for (temp = 30000; temp != 0; temp--);

    //Скидаємо біт, що скидає usb
    USB->CNTR &= ~USB_CNTR_FRES;
    //дозволяємо переривання по RESET та STRM
    //(correct transfer interrupt mask)
    USB -> CNTR |= USB_CNTR_RESETM | USB_CNTR_STRM;
    //очищуємо прапори переривання
    USB -> ISTR = 0;
    //Таблиця кінцевих точок починається з адреси 0x40006000
    USB -> VTABLE = 0;
    //Підтягуємо висновок D+ до харчування
    USB_PULL_UP;
    //дозволяємо переривання прийому даних
    NVIC_EnableIRQ(USB_LP_CAN1_RX0_IRQn);
}

/*
    Створюємо кінцеву точку
    */
void EP_Init(uint8_t number, uint8_t type, uint32_t addr_tx,
uint32_t addr_rx)
{
    USB -> EPnR[number] = (type << 9) | (Number & USB_EPnR_EA);
}
```

```

USB -> EPnR[number] ^= USB_EPnR_STAT_RX | USB_EPnR_STAT_TX_1;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_ADDR_TX = addr_tx;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_COUNT_TX = 0;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_ADDR_RX = addr_rx;
USB_BTABLE -> EP[number].USB_COUNT_RX = 0x8400; //Позмір
приймального буфера
endpoints[number].tx_buf = (uint16_t *) (USB_BTABLE_BASE +
2*addr_tx);
endpoints[number].rx_buf = (uint8_t *) (USB_BTABLE_BASE +
2*addr_rx);
}

/*****
Описуємо переривання
*****/
void USB_LP_CAN1_RX0_IRQHandler()
{
    uint8_t n;
    if (USB -> ISTR & USB_ISTR_RESET)
    {
        //Створюємо 0 кінцеву точку, типу CONTROL
        EP_Init(0, EP_TYPE_CONTROL, 128, 192);
        //Створюємо 1 кінцеву точку, типу BULK
        EP_Init(1, EP_TYPE_BULK, 256, 320);
        //обнулюємо адресу пристрою
        USB -> DADDR = USB_DADDR_EF;
        //Привласнюємо стан DEFAULT STATE
        USB_Dev.USB_Status = USB_DEFAULT_STATE;
    }

    //Перевіряємо чи були прийняті дані
    if (USB -> ISTR & USB_ISTR_CTR)
    {
        //Визначаємо номер кінцевої точки, яка викликала переривання
        n = USB -> ISTR & USB_ISTR_EP_ID;
        //Копіюємо кількість прийнятих байт
        endpoints[n].rx_cnt = USB_BTABLE -> EP[n].USB_COUNT_RX;
        //копіюємо вміст EPnR цієї кінцевої точки
        endpoints[n].status = USB -> EPnR[n];
        //оновлюємо стан прапорців
        endpoints[n].rx_flag = (endpoints[n].status &
USB_EPnR_CTR_RX) ? 1: 0;
        endpoints[n].setup_flag = (endpoints[n].status &
USB_EPnR_SETUP) ? 1: 0;
        endpoints[n].tx_flag = (endpoints[n].status &
USB_EPnR_CTR_TX) ? 1: 0;
        //очищаємо прапори прийому та передачі
        endpoints[n].status = CLEAR_CTR_RX_TX(endpoints[n].status);
        USB -> EPnR[n] = endpoints[n].status;
    }
}

```



```

/*****
        функція запису кінцевих точок
*****/
void EP_Write(uint8_t number, uint8_t *buf, uint16_t size)
{
    uint8_t i;
    uint32_t timeout = 1000000;
    uint16_t status = USB -> EPnR[number];
    if (size > 64) size = 64;
    uint32_t *pv = (uint32_t*)(endpoints[number].tx_buf);
    uint16_t temp = (size & 0x0001)? (size + 1) / 2: size / 2;

    for(i = 0; i < temp; i++, buf += 2)
    {
        *pv++ = * ((uint16_t *) buf);
    }

    //Кількість байт, що передаються
    USB_BTABLE -> EP[number].USB_COUNT_TX = size;

    status = KEEP_STAT_RX(status); //RX в NAK
    status = SET_VALID_TX(status); //TX в VALID
    status = KEEP_DTOG_TX(status);
    status = KEEP_DTOG_RX(status);
    USB -> EPnR[number] = status;

    endpoints[number].tx_flag = 0;
    while (!endpoints[number].tx_flag)
    {
        if (timeout) timeout--;
        else break;
    }
}

/*****
        функція * Функція читання масиву з буфера кінцевої точки
        number - номер кінцевої точки
        *buf - адреса масиву куди зчитуємо дані
*****/
void EP_Read(uint8_t number, uint8_t *buf)
{
    uint32_t timeout = 100000;
    uint16_t status, i, n;
    uint32_t *pm = (uint32_t *)endpoints[number].rx_buf;
    uint16_t *p = (uint16_t *)buf;

    status = USB -> EPnR[number];
    status = SET_VALID_RX(status);
    status = SET_NAK_TX(status);
    status = KEEP_DTOG_TX(status);
    status = KEEP_DTOG_RX(status);
    USB -> EPnR[number] = status;
}

```

```
endpoints[number].rx_flag = 0;

while (!endpoints[number].rx_flag
{
    if (timeout) timeout--;
    else break;
}
n = (endpoints[number].rx_cnt & 0x01)? (endpoints[number].rx_cnt
+ 1)/2: endpoints[number].rx_cnt/2;
for (i = 0; i < n; i++)
{
    p [i] = (uint16_t) pm [i];
}
}
```

ДОДАТОК К

Лістинг модуля USART.c

```
/*
*****
                Ініціалізація USART1
*****
void USART1_Init(void)
{
    USART_InitTypeDef USART_InitStructure;

    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_USART1EN; // Включаємо тактування
UART1
    RCC->APB2ENR |= RCC_APB2ENR_IOPBEN; // дозволяємо тактування
    порту GPIOB

    // Налаштування TX1 та RX1 на режим альтернативної функції
    GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource5, GPIO_AF_USART1); //PB6
to TX USART1
    GPIO_PinAFConfig(GPIOB, GPIO_PinSource6, GPIO_AF_USART1); //PB7
to RX USART1

    //Заповнюємо поля структури
    // PB6 -> TX UART.
    GPIO_InitStructure.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_40MHz;
    GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure); //ініціалізуємо

    //PB7 -> RX UART.
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
    GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_7;
    GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure); // ініціалізуємо

    //Дозволяємо тактування
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_USART2, ENABLE);

    /*Робимо налаштування:
    - BaudRate = 9600 baud
    - Word Length = 8 Bits
    - One Stop Bit
    - No parity
    - Hardware flow control disabled (RTS and CTS signals)
    - Receive and transmit enabled
    */
    USART_InitStructure.USART_BaudRate = 9600; // швидкість
    USART_InitStructure.USART_WordLength = USART_WordLength_8b; //8
біт даних
    USART_InitStructure.USART_StopBits = USART_StopBits_1; //один
стоп біт
```

```

    USART_InitStructure.USART_Parity = USART_Parity_No; //парність -
ні
    USART_InitStructure.USART_HardwareFlowControl =
USART_HardwareFlowControl_None; // Управління потоком - ні
    USART_InitStructure.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;
// дозволяємо прийом та передачу
    USART_Init(USART2, &USART_InitStructure); //ініціалізуємо

//Робимо налаштування переривань
    NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
//Configure the Priority Group до 2 бітів
    NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_2); //Конфігуруємо
кількість груп і підгруп переривань (у нас одне переривання)

//Дозволяємо переривання USARTx Interrupt
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = USART1_IRQn; //переривання
по uart1
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0; //
задаємо пріоритет у групі
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0; // задаємо
пріоритет у підгрупі
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE; //дозволяємо
переривання
    NVIC_Init(&NVIC_InitStructure); //ініціалізуємо

//Дозволяємо переривання по прийому та передачі
    USART_ITConfig(USART1, USART_IT_RXNE, ENABLE);
    USART_ITConfig(USART1, USART_IT_TXE, ENABLE);

//Дозволяємо використовувати USART1
    USART_Cmd(USART1, ENABLE);
}

/*****
                Ініціалізація буферів
*****/
// Буфер приймання
#define RX_BUFFER_SIZE 350                // розмір буфера
volatile uint8_t rx_buffer[RX_BUFFER_SIZE];
volatile uint16_t rx_wr_index=0,          //індекс хвоста буфера
(куди писати дані)
                rx_rd_index=0,            //індекс початку буфера
                rx_counter = 0;           //кількість даних у буфері
volatile uint8_t rx_buffer_overflow=0;    //Прапор переповнення

// Буфер на передачу
#define TX_BUFFER_SIZE 350                //Розмір буфера
volatile uint8_t tx_buffer[TX_BUFFER_SIZE];
volatile uint16_t tx_wr_index=0,          //індекс хвоста буфера
(куди писати дані)
                tx_rd_index=0,            //індекс початку буфера
                tx_counter = 0;           //кількість даних у буфері

```

```

/*****
        Визначаємо обробник переривання
*****/
void USARTx_IRQHandler(void)
{
//Якщо відбулося переривання з прийому даних
    if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_RXNE) == SET) //
    {
        if ((USART1->SR &
(USART_FLAG_NE|USART_FLAG_FE|USART_FLAG_PE|USART_FLAG_ORE)) == 0)
//перевіряємо чи немає помилок
        {
            rx_buffer[rx_wr_index++]= (uint8_t)
(USART_ReceiveData(USART2)& 0xFF); //зчитуємо дані в буфер,
інкрементуючи хвіст буфера
            if (rx_wr_index == RX_BUFFER_SIZE) rx_wr_index=0; //
Йдемо по колу
            if (++rx_counter == RX_BUFFER_SIZE) // Переповнення
буфера
                {
                    rx_counter = 0; //починаємо спочатку (видаляємо всі
дані)
                    rx_buffer_overflow=1; //повідомляємо про
переповнення
                }
        }
    }

//Якщо відбулося переривання по переповненню буфера
    if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_ORE_RX) == SET)
    {
        USART_ReceiveData(USART1); //скидаємо цей прапор переривання
читанням з регістру даних.
    }

//Якщо відбулося переривання передачі
    if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_TXE) == SET)
    {
        if (tx_counter) //якщо є що передати
        {
            --tx_counter; // зменшуємо кількість не переданих даних
            USART_SendData(USART2,tx_buffer[tx_rd_index++]);
//передаємо дані інкрементуючи хвіст буфера
            if (tx_rd_index == TX_BUFFER_SIZE) tx_rd_index=0; //
Йдемо по колу
        }
        else //якщо нічого передати, забороняємо переривання з
передачі
        {
            USART_ITConfig(USART2, USART_IT_TXE, DISABLE);
        }
    }
}

```

ДОДАТОК Л

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

Назва роботи: Методи та мікропроцесорні засоби визначення кольору

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 93.5% Схожість 6.5%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____ Захарченко С.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи _____ Пащенко О. П.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ Тарновський М. Г.
(підпис) (прізвище, ініціали)