

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології  
в приладобудуванні»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: «Автоматизована система аналізу стану шкіри обличчя»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПК-01  
Венчковська Анастасія Валеріївна

\_\_\_\_\_

Керівник:

асистент  
Сапсай Віта Вікторівна

\_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н. Івасенко Віталій Михайлович

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

### ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Пояснювальна записка	60	
2	A1	ПК 01.03.1760.001 Е1	Схема структурна	1	
3	A1	ПК 01.03.1760.002 Е2	Схема функціональна	1	
4	A1	ПК 01.03.1760.003 Е3	Схема принципова	1	
4	A1	ПК 01.03.1760.004 СК	Складальний кресленик	1	
6	A1	ПК 01.03.1760.005	Алгоритм	1	

				ДП ПК01 03.000.00		
ПІБ		Підп.	Дата			
Розробник	Венчковська А.В.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник	Сапсай В. В.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК ПК-01	
Н/контр.						
Зав. каф.	Киричук Ю.В.					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Автоматизована система аналізу  
стану шкіри обличчя»**

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студентці**  
**Венчковській Анастасії Валеріївни**

1. Тема проєкту «Автоматизована система аналізу стану шкіри обличчя», керівник проєкту Сапсай Віта Вікторівна, асистент, затверджені наказом по університету від «28» травня 2024 р. №2121-с.
2. Термін подання студентом проєкту 04 червня 2024 року
3. Вихідні дані до проєкту : контроль стану шкіри обличчя, спектрографія, датчик освітленості ВН1750, висока чутливість, висока точність, габарити – 100x150x200 мм, час вимірювання – 30 сек,
4. Зміст пояснювальної записки:  
Вступ, Аналітичний огляд (актуальність теми дослідження, огляд існуючих систем аналізу стану шкіри обличчя, оптичні властивості шкіри, опис різнокольорових відбитих променів), підбір датчика та розрахунок похибки (підбір датчика освітленості, перетворення значень, розрахунок похибки датчика освітленості, конструкторсько-технологічна частина (структурна та функціональна схеми, принципова схема, підбір структурних елементів, алгоритм роботи, розробка ПЗ, реалізація прототипу, аналіз та обговорення результатів, висновки, список використаних джерел
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):
  - 1 – Схема електрична структурна
  - 2 – Схема електрична структурна
  - 3 – Схема електрична принципова

4 – Складальний кресленик

5 – Алгоритм

7. Дата видачі завдання 01 березня 2024 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Формування завдання проєкту	до 14.04.2024	
2	Проведення аналітичного огляду	28.04.2024	
3	Підбір датчика для вимірювання рівня освітленості та розрахунок похибки	05.05.2024	
4	Розробка автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя	15.05.2024	
5	Підбір елементів принципової схеми	25.05.2024	
6	Розробка креслеників	04.06.2024	

Студент

Анастасія ВЕНЧКОВСЬКА

Керівник

Віта САПСАЙ

## Анотація

Цей дипломний проєкт присвячено розробці пристрою для швидкого аналізу та відслідковування динаміки стану шкіри обличчя людини за допомогою систем автоматизації. Ґрунтуючись на властивості шкіри поглинати та відбивати світлові промені було запропоновано пристрій, який опрацьовує електронні сигнали, що містять інформацію про відбиті від шкіри світлові промені різних кольорів та перетворює їх у цифрові значення. Аналіз таких сигналів за спеціальним алгоритмом дозволяє відслідковувати різні параметри шкіри обличчя та підтримувати здоров'я шкірного покриву.

В рамках роботи було здійснено огляд сучасних методів аналізу стану шкіри та сформовано інноваційну автоматизовану систему, яка працює за допомогою датчика освітленості VH1750, наборів світлодіодів різних кольорів та мікроконтролера.

Така система є ефективною та доступною для користувача. Пристрій може використовуватись як в домашніх умовах, так і професійними косметологами та дерматологами для надання більш точних рекомендацій по догляду за шкірою обличчя.

Пристрій демонструє можливості використання сучасних технологій для покращення якості життя людей та догляду за здоров'ям за допомогою точних і об'єктивних методів діагностики.

*Ключові слова: система автоматизації, оптичні властивості шкіри, світлові промені, аналіз стану шкіри.*

## Abstract

This project is dedicated to developing a device for quick analysis and tracking of human facial skin condition dynamics using automation systems. Based on the skin's ability to absorb and reflect light rays, a device that processes electronic signals containing information about light rays of different colours reflected from the skin and converts them into digital values was proposed. Analysing these signals using a special algorithm allows us to track various parameters of the facial skin and maintain facial skin health.

As part of this work, we reviewed modern methods of analysing skin conditions. We developed an innovative automated system with a BH1750 light sensor, sets of LEDs of different colours, and a microcontroller.

This system is efficient and affordable for the user. The device can be used both at home and by professional cosmetologists and dermatologists to provide more accurate recommendations for facial skin care.

The device demonstrates how modern technologies can be used to improve people's quality of life and health care through accurate and objective diagnostic methods.

*Keywords: automation system, optical properties of the skin, light rays, skin condition analysis.*

## ЗМІСТ

### ВСТУП

#### Перелік скорочень

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	13
1.1 Актуальність теми дослідження.....	13
1.2 Огляд існуючих систем аналізу стану шкіри обличчя.....	14
1.3 Оптична властивість шкіри.....	16
1.4 Опис різнокольорових відбитих променів.....	18
Висновки до Розділу 1.....	19
РОЗДІЛ 2: ПІДБІР ДАТЧИКА ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ.....	21
2.1 Підбір датчика освітленості.....	21
2.2 Перетворення цифрового значення у відсоткове.....	23
2.3 Розрахунок можливої похибки датчика освітленості.....	25
Висновки до Розділу 2.....	26
РОЗДІЛ 3: КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	28
3.1 Структурна схема пристрою.....	28
3.2 Функціональна схема пристрою.....	30
3.3 Принципова схема пристрою.....	33
3.4 Підбір структурних елементів для автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя.....	36
3.5 Алгоритм роботи пристрою.....	43
3.6 Розробка програмного забезпечення для реалізації прототипу пристрою.....	46
3.7 Реалізація прототипу пристрою.....	49
Висновки до Розділу 3 .....	53

					<i>ПК 01.03.1760.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Ар</i>	<i>№ до</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Венчовська А.</i>			<i>Автоматизована система аналізу стану шкіри обличчя</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.реві</i>		<i>Сансай В. В.</i>				8		
<i>Реценз.</i>						<i>ПБФ, ПК-91</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Сансай В.В.</i>						



РОЗДІЛ 4: АНАЛІЗ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	54
4.1 Обробка отриманих результатів .....	54
4.2 Обговорення отриманих результатів.....	55
Висновки до Розділу 4.....	58
ВИСНОВКИ .....	59
Список використаних джерел.....	60

					<i>ПК 01.03.1760.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

В сучасному світі все більше з'являється тенденція догляду за своїм здоров'ям за допомогою новітніх технологій та систем автоматизації, а запит суспільства на отримання оперативного результату щодня зростає [1].

Завдяки інноваційним досягненням у галузі медичних технологій та діагностики, люди мають можливість використовувати високоточні пристрої для моніторингу стану свого здоров'я безпосередньо в домашніх умовах. Це дозволяє зменшити необхідність частих відвідувань лікарів, забезпечуючи при цьому постійний контроль за ключовими показниками здоров'я.

Аналіз стану шкіри обличчя людини є одним із напрямків, що має великий потенціал для дослідження різних методів діагностики, за допомогою яких можна відслідковувати зміни стану шкіри людини та вчасно підбирати індивідуальні алгоритми для догляду або лікування. Сучасні автоматизовані системи аналізу стану шкіри базуються на передових технологіях, таких як штучний інтелект, нейронні мережі, спектроскопія та термографія. Вони здатні аналізувати широкий спектр параметрів шкіри, включаючи її текстуру, вологість, пігментацію, наявність запальних процесів та зморшок. Використання різнокольорових світлодіодів та високочутливих сенсорів дозволяє отримувати детальну інформацію про стан шкіри та виявляти зміни, які можуть бути не помітні для людини.

Таким чином, автоматизовані системи аналізу стану шкіри відкривають нові можливості для самодіагностики та професійного догляду. Вони сприяють підвищенню обізнаності людей про стан їхнього здоров'я, дозволяють своєчасно реагувати на зміни та проводити ефективні профілактичні заходи.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОК – Об'єкт контролю

ДЖ - Джерело живлення

I/O - Вимикач

МК - Мікроконтролер

ДО - Датчик освітленості

П1LED - Підсилювач для світлодіодів RLED, YLED, BLED ,GLED

П2LED - Підсилювач для світлодіодів OLED, VLED, WLED

RLED- Red LED, набір червоних світлодіодів

YLED- Yellow LED, набір жовтих світлодіодів

BLED- Blue LED, набір синіх світлодіодів

GLED- Green LED, набір зелених світлодіодів

OLED- Orange LED, набір помаранчевих світлодіодів

VLED- Violet LED, набір фіолетових світлодіодів

WLED- White LED, набір білих світлодіодів

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1.

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Актуальність теми дослідження

У сучасному світі, де технології розвиваються стрімкими темпами, все більшу популярність здобувають інноваційні рішення, що здатні покращити якість життя людей. Одним з таких рішень є автоматизовані системи аналізу стану шкіри обличчя.

На жаль, проблеми зі шкірою, такі як акне, екзема, розацеа та зморшки, стають все більш поширеними. Це негативно впливає на здоров'я, емоційний стан та загальне самопочуття людей. Традиційні методи аналізу шкіри, такі як візуальний огляд дерматологом, часто є суб'єктивними, неточними та трудомісткими. Це може призвести до неправильних діагнозів та неефективного лікування.

Автоматизовані системи аналізу шкіри обличчя здатні подолати ці обмеження. Вони пропонують об'єктивний, точний та швидкий аналіз стану шкіри, виявляючи приховані проблеми, які неможливо побачити самотійно. На основі отриманих даних, ці системи надають персоналізовані рекомендації щодо догляду за шкірою, ґрунтуючись на індивідуальних потребах кожної людини.

Завдяки своїм перевагам, автоматизовані системи аналізу шкіри мають широкий спектр потенційних застосувань. Домашні пристрої можуть допомогти людям відстежувати стан шкіри та вчасно вживати заходів для вирішення проблем. Косметичні компанії можуть використовувати ці системи для розробки нових продуктів догляду за шкірою, що відповідають індивідуальним потребам клієнтів. Дерматологи ж можуть використовувати їх для постановки більш точних діагнозів та призначення більш ефективного лікування.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У суспільстві, де люди цінують свій час та потребують оперативних результатів, автоматизовані системи аналізу шкіри обличчя стають все більш актуальними. Ці системи здатні революціонізувати спосіб догляду за шкірою, надаючи людям можливість піклуватися про своє здоров'я та красу більш ефективно та персоналізовано.

## 1.2 Огляд існуючих систем аналізу стану шкіри обличчя

### Штучний інтелект та нейронні мережі

Системи обробки зображень на основі ШІ можуть аналізувати фотографії обличчя для виявлення ознак старіння, пошкоджень, різних дерматологічних проблем тощо. Такі системи можуть виявляти навіть мікроскопічні зміни, які можуть бути попередніми ознаками певних хвороб або проблем зі шкірою.

Як працює алгоритм штучної мережі?

1. Збір даних
2. Обробка зображень
3. Виявлення обличчя
4. Сегментація шкіри
5. Екстракція ознак
6. Класифікація стану шкіри
7. Аналіз результатів і видача висновків

### Термографія

Однією з технологій сучасного неруйнівого контролю, яка може допомогти аналізувати стан шкіри обличчя, є термальне зображення або термографія. Термографія вимірює теплове випромінювання тіла і конвертує його в зображення температурної розподілу. Зміни температури на поверхні шкіри можуть вказувати на різні стани, такі як запалення, кровообіг, або присутність різних захворювань. Такі термальні зображення можуть виявляти проблеми шкіри, які не завжди видно за допомогою звичайних методів візуального огляду [2].

Як працює технологія термографії?

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Отримання зображення за допомогою термальній камери або інфрачервоного датчика
2. Перетворення теплових даних в зображення
3. Аналіз температурних розподілів
4. Виявлення відмінностей
5. Діагностика і відслідковування

#### Спектроскопія

Ще однією технологією є спектроскопія з використанням ближньої інфрачервоної області (NIRS). Ця техніка дозволяє аналізувати спектральні характеристики відбитого світла від поверхні шкіри. Вона може допомогти виявити різні стани шкіри, такі як рівень вологості, рівень жирності, стан колагену тощо.

Як працює технологія спектроскопії з використанням ближньої інфрачервоної області (NIRS - Near-Infrared Spectroscopy)?

1. Еміттер і детектор
2. Поглинання та розсіювання світла
3. Спектральний аналіз
4. Обробка даних і виведення результатів
5. Обробка даних і виведення результатів

#### Ультразвукова діагностика

Ультразвукова діагностика, також відома як ультразвукове обстеження або ультразвукове зображення, є методом зображення внутрішніх структур органів та тканин за допомогою відбивання ультразвукових хвиль від них. Цей метод використовується в медицині для діагностики широкого спектру захворювань, включаючи проблеми зі шкірою.

Як працює технологія ультразвукової діагностики?

1. Підготовка до сканування
2. Еміттер та датчик ультразвуку
3. Формування зображення
4. Аналіз структури шкіри

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. Діагностика та рекомендації

У всіх цих випадках використання сучасних технологій для неруйнівного контролю дозволяє докладніше досліджувати стан шкіри обличчя та вчасно виявляти різні проблеми або патології.

### 1.3 Оптична властивість шкіри

Світловий промінь, що падає на шкіру, представлений як сукупність фотонів, які мають певну енергію. Частина фотонів відбивається від верхнього шару шкіри – епідермісу. Інша частина фотонів проникає через епідерміс та проникає в глибший шар шкіри - дерму. У дермі фотони поглинаються різними речовинами, як-от меланін (основний фактор, що визначає скільки світла поглинає шкіра), гемоглобін, вода тощо. [3, 4]

Частина світлових променів, які не поглинаються шкірою, відбивається від її поверхні. Цей тип відбиття називається дифузним. Він робить шкіру видимою та надає їй колір. Окрім цього частина світлового випромінювання, що проникає в шкіру, розсіюється всередині неї. Цей тип відбиття називається дифузним. Він робить шкіру сяючою та надає їй глибину.

Здатність шкіри відбивати світло можна проілюструвати схемою, що представлено на рис. 1.1 [5, 6].

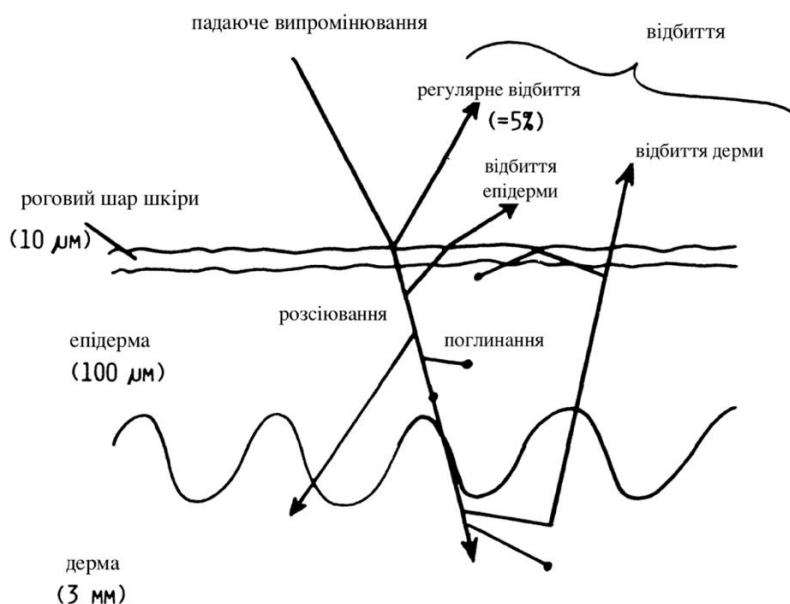


Рис. 1.1. Схематичне представлення проходження променів через шкіру

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо детальний опис процесу поглинання світла зображеного на схемі:

#### 1. Падаюче випромінювання:

- Світловий промінь, що падає на шкіру, може бути представлений як сукупність безлічі фотонів, кожен з яких має певну енергію.
- Енергія фотона визначається його частотою або довжиною хвилі.
- Різні типи світла мають різні частоти та довжини хвиль.

#### 2. Відбиття:

- Частина фотонів відбивається від поверхні епідермісу, верхнього шару шкіри.
- Кількість відбитих фотонів залежить від кута падіння світла, властивостей поверхні епідермісу та його товщини.
- Відбите світло визначає блиск шкіри.

#### 3. Проникнення:

- Частина фотонів проникає крізь епідерміс і потрапляє в дерму, глибший шар шкіри.
- Проникнення фотонів залежить від їх частоти, довжини хвилі та властивостей епідермісу.
- Деякі фотони поглинаються молекулами води та інших речовин в епідермісі, що призводить до нагрівання шкіри.

#### 4. Поглинання в дермі:

У дермі фотони можуть поглинатися різними речовинами, як от:

- Меланін: Меланін - це пігмент, який надає шкірі її колір. Він поглинає УФ-випромінювання, захищаючи ДНК клітин від пошкодження.
- Гемоглобін: Гемоглобін - це білок, який переносить кисень у крові. Він поглинає червоне та синє світло.
- Вода: Вода поглинає інфрачервоне випромінювання.

#### 5. Розсіювання:

- Деякі фотони, що проникають в дерму, можуть розсіюватися волокнами сполучної тканини, капілярами та іншими структурами.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- Розсіяне світло робить шкіру більш тьмяною.

#### 6. Проникнення крізь дерму:

- Невелика частина фотонів може проникати крізь дерму і потрапляти в ще глибші шари тканин, де вони також можуть поглинатися або розсіюватися.

Можна зробити висновок, що процес поглинання світла шкірою є складним і залежить від багатьох факторів. На схемі представлена спрощена модель цього процесу. Різні ділянки шкіри можуть мати різні оптичні властивості, що може призвести до різного поглинання та відбиття світла [7].

### 1.4 Опис різнокольорових відбитих променів

В таблиці 1.1. представлено властивості різних кольорів та які параметри стану шкіри можна завдяки цьому відслідковувати.

Наприклад, значення електронного сигналу відбиття червоного світла, може використовуватись для оцінки кровообігу або виявлення запалень, зелений – для визначення рівня меланіну та виявлення гіперпігментації. Також зелений добре відбиває зволожена шкіра, тоді як суха – менше. Помаранчевий може допомогти оцінити рівень колагену та виявити ознаки старіння, жовтий колір відбивається від гною, який може утворюватися під час запалення, відповідно допоможе виявляти гнійні інфекції шкіри. Інфрачервоне випромінювання може використовуватись для вимірювання температури шкіри, а також оцінки рівня зволоження. Синій та фіолетовий кольори можуть бути використані безпосередньо для лікування, наприклад, вбивати деякі види бактерій або лікувати акне, а також стимулювати загоєння ран [8].

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Властивості кольорів

№	Назва кольору	Опис
1	Червоний	Цей колір поглинається гемоглобіном, тому його відбиття може дати інформацію про кровообіг у шкірі. Збільшення відбитого червоного сигналу може свідчити про запалення, а зменшення - про блідість або анемію.
2	Зелений	Цей колір поглинається хлорофілом, тому його відбиття може дати інформацію про активність меланоцитів (клітин, які виробляють меланін). Зелений колір використовується для оцінки зволоження шкіри. Вода поглинає зелене світло, тому його відбиття може дати інформацію про рівень зволоженості шкіри.
3	Синій	Цей колір поглинається колагеном, тому його відбиття може дати інформацію про еластичність та тургор шкіри. Збільшення відбитого синього сигналу може свідчити про пружну та здорову шкіру, а зменшення - про зморшки, в'ялість або рубці.
4	Жовтий	Цей колір поглинається каротиноїдами, тому його відбиття може дати інформацію про рівень каротиноїдів у шкірі. Збільшення відбитого жовтого сигналу може свідчити про надмірне вживання каротиноїдів, а зменшення - про дефіцит вітаміну А.
5	Помаранчевий	Оранжевий колір використовується для оцінки рівня каротиноїдів у шкірі. Збільшення відбитого оранжевого сигналу може свідчити про надмірне вживання каротиноїдів. Це зазвичай не є шкідливим, але може призвести до каротинемії, стану, який характеризується жовтим відтінком шкіри. Зменшення відбитого оранжевого сигналу може свідчити про дефіцит вітаміну А.
6	Білий	Цей колір відбивається від усіх компонентів шкіри, тому його відбиття може дати загальну інформацію про стан шкіри. Збільшення відбитого білого сигналу може свідчити про здорову та сяючу шкіру, а зменшення - про тьмяну або тьмяну шкіру.

### Висновки до Розділу 1

У першому розділі було проведено аналітичний огляд, що розкриває актуальність теми дослідження та огляд існуючих систем аналізу стану шкіри обличчя. Розвиток сучасних технологій сприяє впровадженню різноманітних

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

інноваційних рішень для покращення якості життя людей. Автоматизовані системи аналізу стану шкіри обличчя стають актуальними через тенденцію суспільства слідкувати за своїм здоров'ям та отримувати швидкий результат. Традиційні методи, такі як візуальний огляд дерматологом, можуть бути суб'єктивними та неточними, тому використовуючи системи автоматизації ми можемо забезпечити об'єктивний та точний аналіз. Ці системи можуть бути корисними як для домашнього використання, так і для косметичних компаній та дерматологів.

Було розглянуто декілька технологій, що використовуються для аналізу стану шкіри обличчя та які є актуальними в сьогоденні - штучний інтелект, нейронні мережі, термографія, спектроскопія та ультразвукова діагностика. Штучний інтелект може виявляти мікроскопічні зміни на шкірі, термографія допомагає виявити запалення та кровообіг, спектроскопія аналізує спектральні характеристики світла, а ультразвукова діагностика досліджує внутрішні структури шкіри. Усі ці методи дозволяють проводити детальний аналіз стану шкіри без пошкодження шкірного покриву.

Також не менш важливим під час роботи над оглядом літератури та інтернет-джерел було досліджено оптичні властивості шкіри, які і стали основою для розробки майбутнього пристрою. Шкіра має властивість поглинати та відбивати світлові промені, а за рахунок значення відбитого світла різних кольорів можна оцінювати стан шкіри обличчя за різними параметрами, як-от рівень кровообігу, зволоженість, колаген та запалення тощо.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2.

### ПІДБІР ДАТЧИКА ТА РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ

#### 2.1 Підбір датчика освітленості

Для дослідження рівня освітленості, для проведення контролю за даними параметром використовують спеціальний пристрій - різновид фотометра - люксометр. З його допомогою можна визначати інтенсивність джерел світла будь-якого походження - як природного, так і штучного. Найпростіша модель кишенькового приладу сконструйована з перетворювального селенового фотоелемента. Ця деталь трансформує енергію світлову в електричну і за допомогою мікроамперметра визначає її величину в люксах.

**RIXEN LXT-401A** – промисловий датчик освітленості (люксометр) для вимірювання освітленості в приміщеннях і поза ними (рис. 2.). Корпус приладу має ергономічний дизайн та захист від вологи і пилу IP65. Кремнієвий фотосенсор забезпечує хорошу відповідність світловому спектру й довготривалу стабільність вимірювання. [9].



Рис. 2.1. Датчик освітленості (люксометр) промисловий (4–20 ма) RIXEN LXT-401A

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Люксметр має 3 діапазони вимірювання освітленості (0–2000 LUX, 0–20000 LUX і 0–200000 LUX) та забезпечує швидкий результат вимірювання з високою точністю  $\pm 3\%$ . Калібрування RIXEN LXT-401A проводиться по двох точках (нуль і значення діапазону).

Також мною було розглянуто цифровий датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750 призначений для вимірювання рівня інтенсивності освітлення. Має високу чутливість і поширений послідовний інтерфейс I2C. Спектр чутливості збігається з кривою чутливості людського ока.

**GY-302** - це датчик освітленості на основі чіпа BH1750FVI ROHM, який використовується для вимірювання інтенсивності освітлення в люксах (рис. 2.2). Він має вбудований сенсор та цифровий перетворювач, що робить його простим у використанні та нечутливим до фонового світла. Датчик має широкий діапазон вимірювання (0-65535 лк) та високу точність (1 люкс), що робить його ідеальним для різних застосувань, таких як розробка пристроїв, що реагують на зміни освітленості, та творчі проекти. [10]

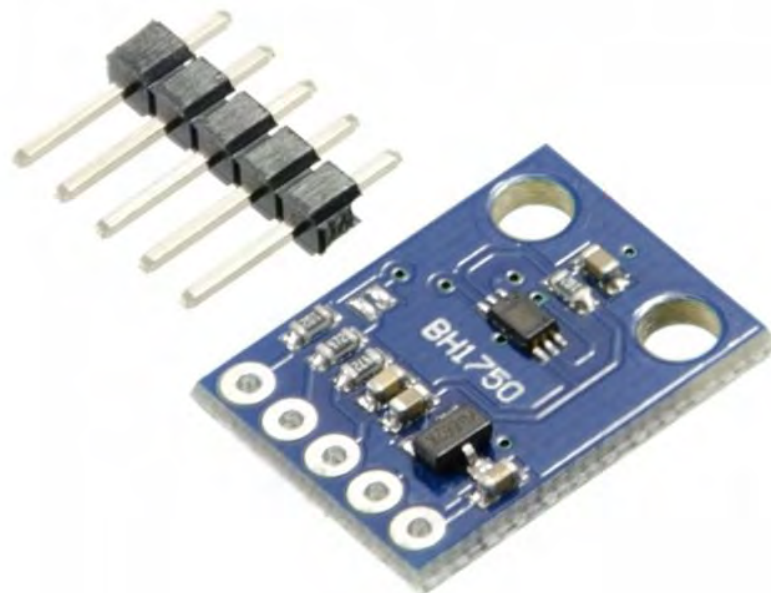


Рис. 2.2. Цифровий датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750

### Переваги GY-302:

- Простота інтеграції
- Низьке споживання енергії
- Точні та надійні вимірювання

### Характеристики:

- Тип: GY-302
- Чіп: BH1750FVI ROHM (оригінальний)
- Напруга живлення: 3-5 В
- Діапазон даних: 0-65535 лк
- Інтерфейс: I2C
- Розміри: 13.9 x 18.5 мм

У моєму випадку найкраще підійде саме GY-302 для точкового вимірювання стану шкіри, так як попередній датчик більш актуальний саме для вимірювання освітлення у приміщеннях. [11, 12]

## 2.2 Перетворення цифрового значення у відсоткове

Щоб перевести значення освітленості, отримані за допомогою датчика BH1750, у відсоткове значення, можна застосувати просту нормалізацію відносно максимального можливого значення датчика.

Датчик BH1750 має діапазон вимірювань від 0 до 65535 люкс. Припустимо, що ми хочемо отримати відсоткове значення, де 0 люкс відповідає 0%, а 65535 люкс відповідає 100%.

Формула для переведення у відсотки:

$$\text{ВІДСОТКИ} = (\text{ПОТОЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ЛЮКС} / \text{МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ ЛЮКС}) * 100$$

Приклад коду для Arduino:

```
#include <wire.h>
#include <bh1750.h>
```

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*BH1750 lightmeter;*

```
Void setup() {  
  serial.begin(9600);  
  wire.begin();  
  lightmeter.begin();  
  serial.println("bh1750 test");  
}
```

```
Void loop() {  
  float lux = lightmeter.readlightlevel();  
  float percentage = (lux / 65535.0) * 100.0;  
  
  serial.print("light: ");  
  serial.print(lux);  
  serial.print(" lx, ");  
  serial.print("percentage: ");  
  serial.print(percentage);  
  serial.println(" %");  
  
  delay(1000);  
}
```

Пояснення коду:

`float percentage = (lux / 65535.0) * 100.0;`: цей рядок розраховує відсоткове значення, ділячи поточне значення освітленості (lux) на максимальне значення (65535), а потім множачи результат на 100.

Зміна діапазону:

У випадку, якщо після проведення розрахунків потрібно змінити діапазон для нормалізації (наприклад, максимальна освітленість обличчя за допомогою розробленого пристрою ніколи не перевищить 10000 люкс), можна змінити формулу наступним чином:

```
FLOAT MAXLUX = 10000.0; // МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ  
ОСВІТЛЕНОСТІ ДЛЯ СЕРЕДОВИЩА
```

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВІДСОТКОВЕ ЗНАЧЕННЯ = (ПОТОЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОСВІТЛЕНОСТІ / МАКСИМАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ ОСВІТЛЕНОСТІ) \* 100.0;

### 2.3 Розрахунок можливої похибки датчика освітленості

Розрахунок можливої похибки під час роботи датчика освітленості BH1750 включає декілька аспектів:

1. Технічні характеристики датчика: типова точність вимірювань BH1750 становить  $\pm 20\%$  (як вказано в документації до датчика), чутливість датчика до температури, вологості та інших факторів.
2. Апаратні фактори: квалітет живлення (рівень шуму, стабільність напруги), електромагнітні завади.
3. Програмні фактори: час вибірки.

Формула розрахунку можливої похибки:

Для оцінки похибки можна скористатися відомою точністю  $\pm 20\%$ . Тобто, для будь-якого значення освітленості  $L$  в люксах, похибка  $E$  може бути розрахована як:

$$E = L * 0,20$$

Приклад коду для Arduino з оцінкою похибки:

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  Serial.println("BH1750 Test");
}

void loop() {
```

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



```

float lux = lightMeter.readLightLevel();
float percentage = (lux / 65535.0) * 100.0;
float error = lux * 0.20; // Похибка ±20%

Serial.print("Light: ");
Serial.print(lux);
Serial.print(" lx, ");
Serial.print("Percentage: ");
Serial.print(percentage);
Serial.print(" %, ");
Serial.print("Error: ±");
Serial.print(error);
Serial.println(" lx");

delay(1000);
}

```

Середнє значення (lux) показує поточний вимірний рівень освітленості. Відсоткове значення (percentage) показує нормалізоване значення освітленості у відсотках. Похибка (error) відображає можливу похибку вимірювання для поточного рівня освітленості.

Розрахунок похибки на основі  $\pm 20\%$  є досить складною оцінкою, яка базується на типових характеристиках датчика. У реальних умовах похибка може змінюватись в залежності від різних факторів. Однак, для більш точної оцінки, потрібно враховувати специфічні умови експлуатації та індивідуальні калібрування.

## Висновки до Розділу 2

У цьому розділі детально розглянуто вибір датчика освітленості для подальшої розробки пристрою для аналізу стану шкіри обличчя, а також спосіб розрахунку похибки вимірювань. Було розглянуто промисловий люксметр RIXEN LXT-401A, який забезпечує високу точність вимірювань і захист від впливу зовнішніх факторів. Однак, для специфічних вимог аналізу стану шкіри обличчя, краще підходить цифровий датчик GY-302 на чіпі BH1750 через його високу чутливість, низьке енергоспоживання і зручний інтерфейс I2C. Цей

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчик дозволяє отримувати точні вимірювання освітленості в діапазоні від 0 до 65535 люксів, що робить його найбільш доречним для розробки пристрою.

Також розглянуто методи перетворення отриманих значень освітленості в відсоткові, що спрощує їх інтерпретацію. Використовуючи формулу нормалізації, можна легко перевести виміряні значення в відсоткову шкалу, що є зручним для аналізу. Для цього був наведений приклад коду для Arduino, який показує, як здійснювати такі розрахунки.

Крім того, було проведено аналіз можливої похибки вимірювань датчика ВН1750. Типова похибка цього датчика становить  $\pm 20\%$ , що може впливати на точність отриманих даних. Враховуючи цей фактор, було розглянуто спосіб оцінки похибки вимірювання, а також наведено приклад коду для Arduino, який допомагає враховувати цю похибку під час аналізу даних. В цілому, розрахунок похибки базується на технічних характеристиках датчика та враховує можливі зовнішні фактори, які можуть вплинути на точність вимірювань.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

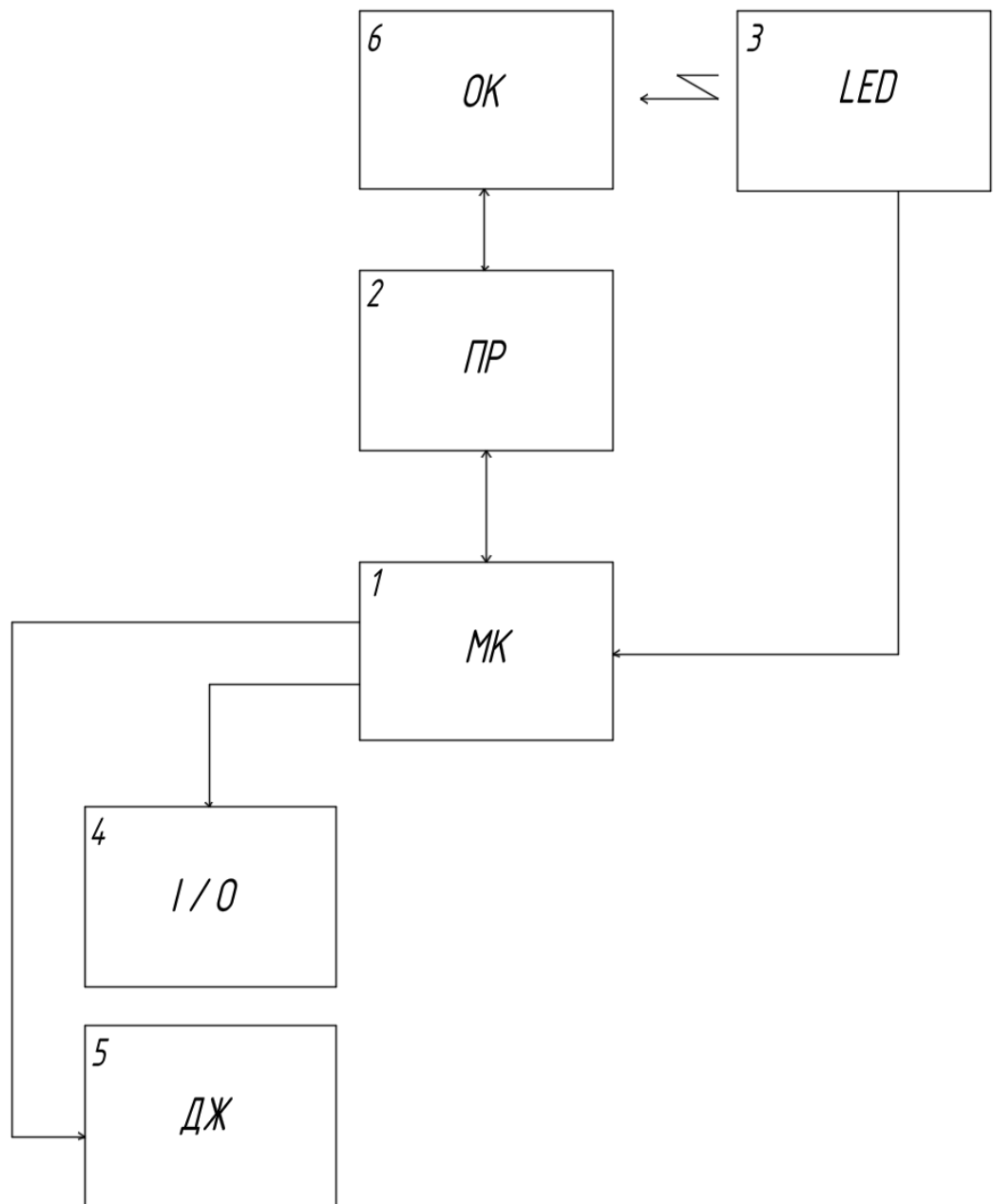
### 3.1. Структурна схема пристрою

На рис. 3.1 зображено структурну схему автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя. Вона складається з декількох основних компонентів, які взаємодіють між собою для забезпечення функціонування системи. Центральним компонентом є мікроконтролер (МК), який керує всіма іншими частинами системи. До мікроконтролера підключений приймач (ПР), який є датчиком освітленості і відповідає за вимірювання рівня освітленості. Дані з датчика освітленості надходять на мікроконтролер, який обробляє їх. Далі мікроконтролер вмикає світлодіод наступного кольору [13].

Світлодіоди освітлюють об'єкт контролю (ОК) і керуються мікроконтролером. Користувач може керувати процесом вимірювання за допомогою вимикача (I/O), який підключений до мікроконтролера. Вимикач дозволяє запускати або зупиняти процес вимірювання. Джерело живлення (ДЖ) забезпечує електричну енергію для всіх компонентів системи, підключаючи їх до мікроконтролера та інших елементів.

Коли користувач натискає вимикач, мікроконтролер активує світлодіоди, які освітлюють об'єкт контролю. Датчик освітленості зчитує рівень освітленості і передає ці дані мікроконтролеру, який обробляє їх та може передавати на зовнішні пристрої для подальшого аналізу. Процес вимірювання можна зупинити, натиснувши вимикач знову, що вимкне світлодіоди і зупинить зчитування даних. Усі ці компоненти працюють разом, щоб забезпечити точне вимірювання і аналіз стану шкіри обличчя.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1. МК - Мікроконтролер
2. ПР - Приймач, датчик освітленості
3. LED- світлодіоди різних кольорів
4. I/O - Вмикач
5. ДЖ - Джерело живлення
6. ОК - Об'єкт контролю

Рис. 3.1. Структурна схема пристрою

### 3.2. Функціональна схема пристрою

На рис. 3.2 представлена функціональна схема пристрою для автоматизованого аналізу стану шкіри обличчя, що складається з кількох ключових компонентів, кожен з яких виконує певну функцію в процесі роботи.

Джерело живлення (ДЖ) забезпечує електричне живлення всіх компонентів пристрою. Від джерела живлення енергія передається до всіх основних блоків системи, включаючи мікроконтролер (МК), вимикач (I/O), підсилювачі для світлодіодів (П1LED і П2LED), та датчик освітленості (ДО).

Вимикач (I/O) використовується для ввімкнення та вимкнення пристрою. Коли користувач натискає вимикач, мікроконтролер отримує сигнал і починає виконувати задану програму.

Мікроконтролер (МК) є центральним обчислювальним блоком пристрою. Він контролює всі інші компоненти – здійснює комунікацію з вимикачем, вмикає та приймає дані від датчика освітленості, обробляє ці дані і керує підсилювачами для світлодіодів.

Датчик освітленості (ДО) використовується для вимірювання рівня освітленості шкіри обличчя. Датчик зчитує інтенсивність світла, відбитого від шкіри, і передає ці дані мікроконтролеру. Ці дані необхідні для аналізу стану шкіри, оскільки різні стани шкіри можуть відбивати різне світло по-різному.

Підсилювачі для світлодіодів (П1LED, П2LED) відповідають за підсилення сигналів, що керують наборами світлодіодів різних кольорів. Підсилювачі забезпечують достатню потужність для роботи світлодіодів, дозволяючи їм випромінювати світло з необхідною інтенсивністю. П1LED керує наборами червоних (RLED), жовтих (YLED), синіх (BLED) і зелених (GLED) світлодіодів. П2LED керує наборами помаранчевих (OLED), фіолетових (VLED) і білих (WLED) світлодіодів.

Світлодіоди різних кольорів представлені на схемі як RLED, YLED, BLED, GLED, OLED, VLED, WLED. Кожен набір світлодіодів відповідає за

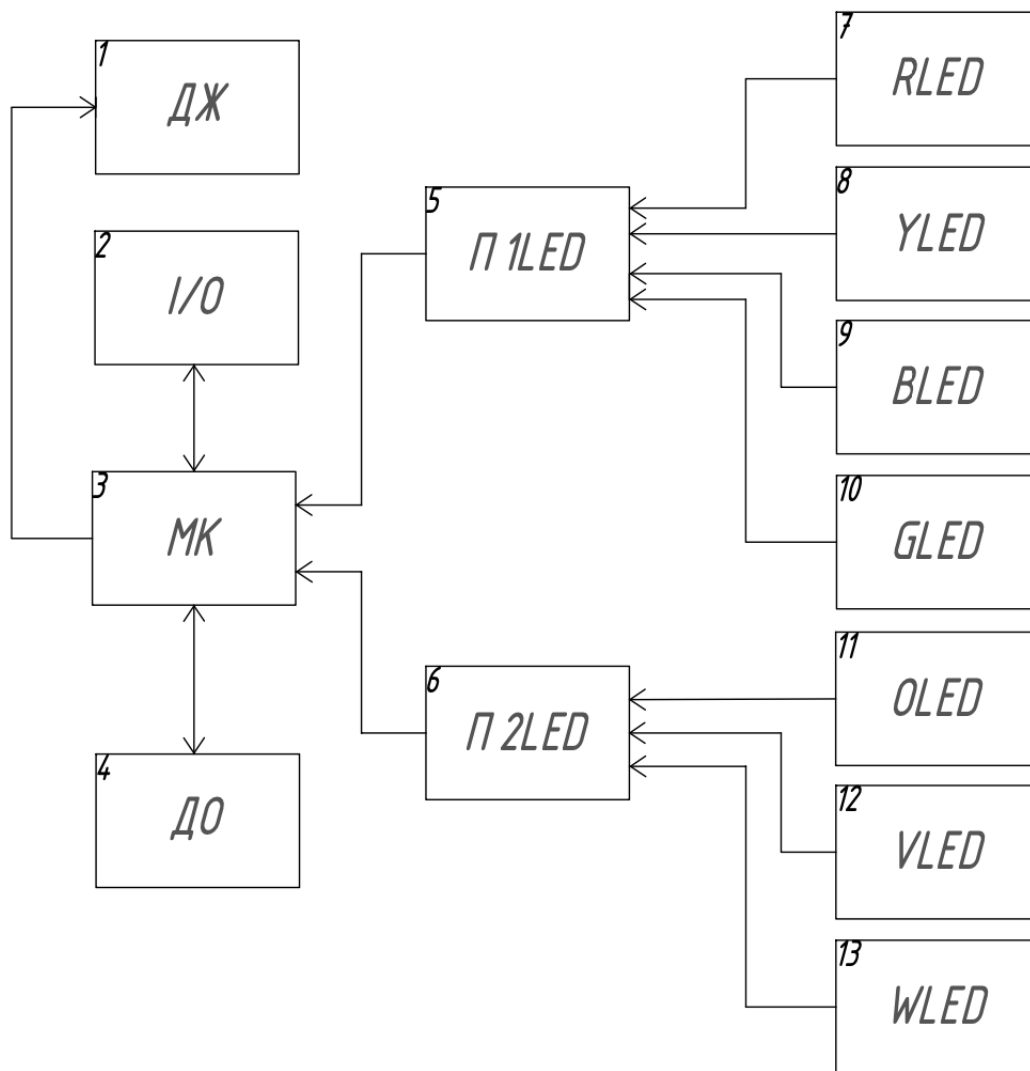
					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювання світла певного кольору на шкіру обличчя. Світло, що випромінюється відбивається від шкіри, а датчик освітленості вловлює його електронний сигнал. Мікроконтролер керує роботою світлодіодів, ввімкненням і вимкненням відповідно до заданої програми.

Пристрій функціонує наступним чином:

1. Увімкнення пристрою: користувач натискає вимикач, подаючи сигнал на мікроконтролер про початок роботи.
2. Ініціалізація системи: мікроконтролер активує всі необхідні компоненти, зокрема датчик освітленості та підсилювачі світлодіодів.
3. Активування світлодіодів: мікроконтролер по черзі активує світлодіоди різних кольорів через підсилювачі (P1LED, P2LED). Кожен набір світлодіодів випромінює світло певного кольору на шкіру.
5. Збір даних освітленості: Датчик освітленості зчитує рівень відбитого світла для кожного кольору світлодіодів і передає ці дані мікроконтролеру.
6. Обробка даних: Мікроконтролер аналізує зібрані дані, обчислює рівні освітленості для кожного кольору і записує.
7. Відображення результатів: Мікроконтролер може виводити результати аналізу на зовнішній дисплей або передавати їх на інший пристрій для подальшої обробки і збереження.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1. ДЖ - Джерело живлення
2. I/O - Вмикач
3. МК - Мікроконтролер
4. ДО - Датчик освітленості
5. П 1LED - Підсилювач для світлодіодів RLED, YLED, BLED, GLED
6. П 2LED - Підсилювач для світлодіодів OLED, VLED, WLED
7. RLED- Red LED, набір червоних світлодіодів
8. YLED- Yellow LED, набір жовтих світлодіодів
9. BLED- Blue LED, набір синіх світлодіодів
10. GLED- Green LED, набір зелених світлодіодів
11. OLED- Orange LED, набір помаранчевих світлодіодів
12. VLED- Violet LED, набір фіолетових світлодіодів
13. WLED- White LED, набір білих світлодіодів

Рис. 3.2. Функціональна схема пристрою

### 3.3. Принципова схема пристрою

Принципова схема (рис 3.3) розроблена для створення пристрою для автоматизованого аналізу стану шкіри обличчя.

1. Arduino UNO використовується як центральний контролер системи.

Входи/виходи використовуються для керування світлодіодами та взаємодії з датчиком BH1750.

Піни:

- пін Min підключений до джерела живлення.
- пін GND підключений до землі.
- піни 0 (Rx) та 1 (Tx) використовуються для серійного зв'язку.
- пін 3 підключений до кнопки «Start».
- піни 6-12 підключені до світлодіодів через резистори.

2. Світлодіоди:

- підключені через резистори до пінів 6-12 Arduino.
- кожна група світлодіодів підключена до відповідного піна драйвера, який керується Arduino.

3. Резистори встановлені в серію зі світлодіодами для обмеження струму.

4. Драйвер крокового двигуна:

- приймає сигнали керування від Arduino та забезпечує живлення світлодіодів.

- пін Vin підключений до джерела живлення.
- пін GND підключений до землі.

5. Кнопка «Start»:

- підключена до піна 3 Arduino через резистор.
- використовується для ініціалізації вимірювань.

6. Датчик освітленості BH1750 підключений до Arduino.

Піни:

- SCL підключений до піна A5 Arduino.
- SDA підключений до піна A4 Arduino.
- GND підключений до землі.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- Vcc підключений до джерела живлення.

Система починає роботу після натискання кнопки Start, яка підключена до пін 3 мікроконтролера Arduino. Коли кнопка натиснута, мікроконтролер активує послідовно світлодіоди, підключені до пінів 6-12 через резистори. Резистори обмежують струм, що проходить через світлодіоди, щоб запобігти їх пошкодженню.

Кожен світлодіод вмикається на короткий час (50 мс), під час якого датчик освітленості BH1750 зчитує рівень освітленості. Датчик підключений до мікроконтролера через інтерфейс I2C (SCL на піні A5 і SDA на піні A4). Отримані значення освітленості передаються на мікроконтролер, який обробляє ці дані.

Мікроконтролер відправляє зчитані дані через серійний порт (пін 0 для Rx і пін 1 для Tx) до комп'ютера або іншого пристрою для подальшої обробки та аналізу. Цей процес повторюється для кожного світлодіода, забезпечуючи послідовне вимірювання рівнів освітленості при різному освітленні об'єкта контролю.

Джерело живлення підключене до пінів Vin і GND мікроконтролера, забезпечуючи стабільне живлення всієї системи. Мікроконтролер також живить датчик освітленості через пін 5V.

Система функціонує наступним чином: після натискання кнопки Start мікроконтролер починає послідовно вмикати світлодіоди, датчик освітленості вимірює рівень освітленості при кожному вмиканні світлодіодів, і отримані дані передаються на комп'ютер через серійний порт. Після завершення циклу вимірювань процес можна повторити або зупинити, знову натиснувши кнопку Start.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

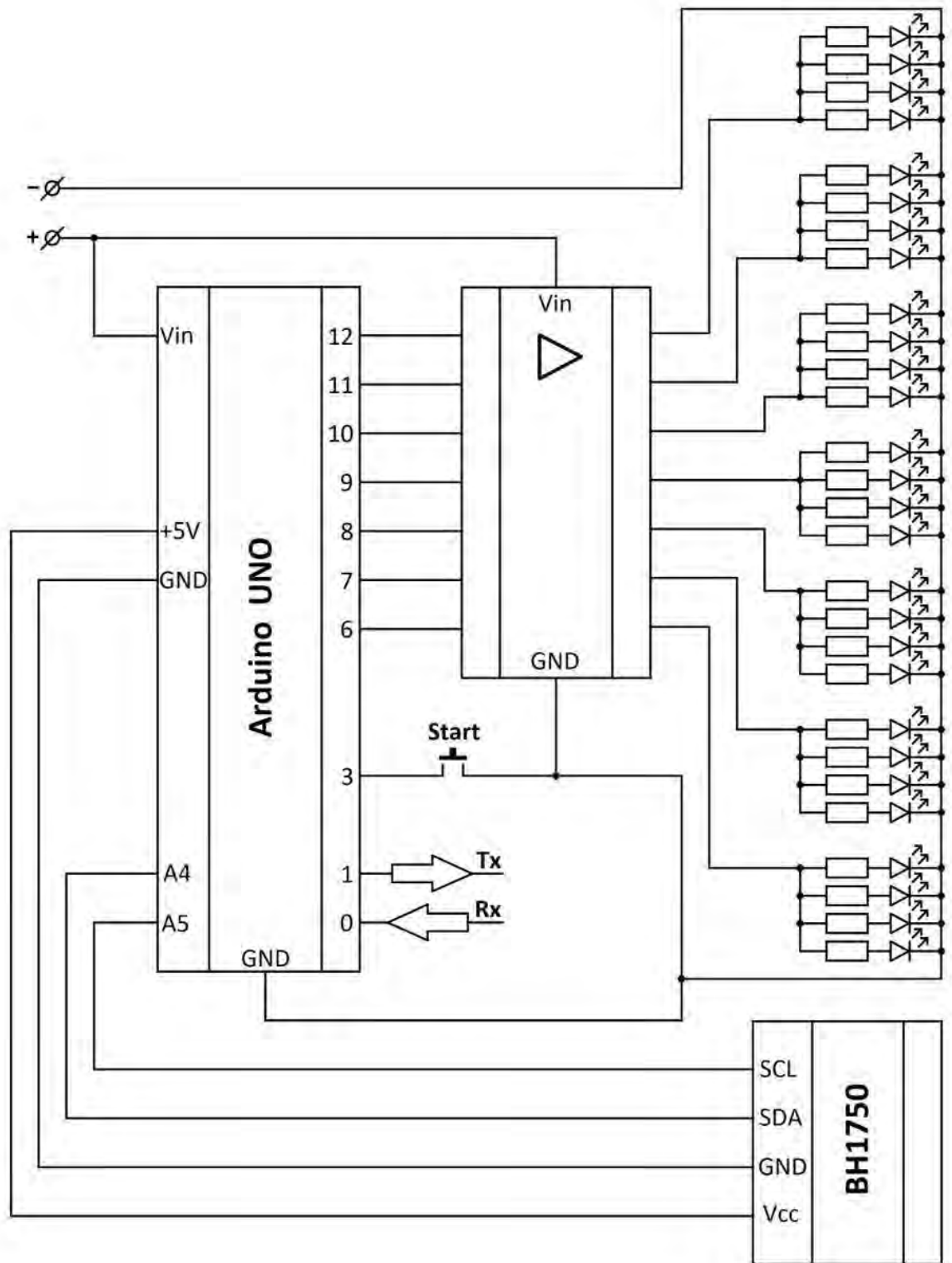


Рис. 3.3. Принципова схема для розробки автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.4. Підбір структурних елементів для автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя

Попередній огляд інтернет-джерел [14], дозволив виділити ряд структурних елементів, що можуть забезпечити розробку пристрою для автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя.

В основі пристрою використовується контролер Arduino UNO для керування усіма компонентами та виконання алгоритмів аналізу. Мікропроцесор зчитує дані з датчика, керує світлодіодами, обробляє дані та візуалізує результати. Програмований, доступний, простий у використанні. (рис. 3.4).

USB-UART перехідник використовує мікросхему CH340, яка зарекомендувала себе як надійний компонент з високою стабільністю та швидкістю передачі даних. Новий контролер має переваги порівняно з попередніми версіями завдяки додатковим контактам SDA і SCL для I2C інтерфейсу, а також виходами AREF для опорної напруги АЦП і IOREF для напруги живлення портів введення-виведення. Це дозволяє автоматично перемикає напругу периферії між 5В і 3.3В контролерами. У всіх інших аспектах, це все ще той самий контролер Arduino UNO на базі мікроконтролера Atmega328p з великою кількістю прикладів програм, бібліотек та детальними описами для побудови готових пристроїв.



Рис. 3.4. Мікроконтролер Arduino UNO

Цифровий датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750 (рис. 3.5), що призначений для вимірювання електронних сигналів та перетворення їхніх значень в цифрові. Детальні характеристики датчика були наведені в розділі вище.

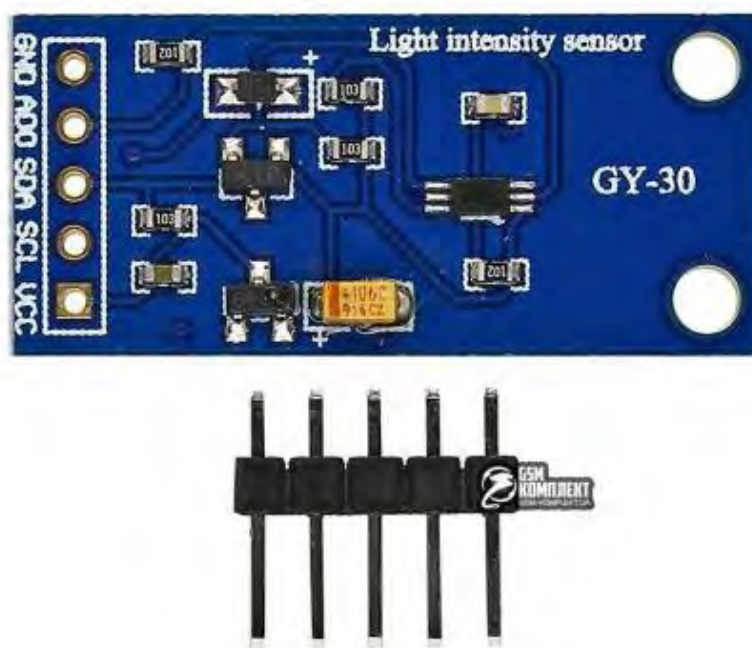


Рис. 3.5. Цифровий датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750

У якості підсилювача використовується Драйвер крокового двигуна Arduino L298N (рис. 3.6). Відмінними особливостями цього драйвера є наявність вимикача, який дозволяє швидко відключати навантаження, та окремого роз'єму для підключення крокових двигунів. Розташовані на платі індикатори стану виходів полегшують налагодження управління двигуном. При живленні драйвера напругою від 7 до 20 вольт можна використовувати вбудований стабілізатор напруги 5В. Якщо напруга менша, рекомендується використовувати напругу 5В від контролера. Якщо напруга більша, слід використовувати зовнішній стабілізатор або окреме джерело живлення на 5В.



Рис. 3.6. Драйвер крокового двигуна Arduino L298N

В таблиці 3.1. представлені параметри драйвера.

Таблиця 3.1 – Основні параметри драйвера

Параметр	Значення
Мікросхема драйвера	L298N здвоєний Н-мостовий драйвер двигунів постійного струму
Напруга живлення силової частини драйвера $V_s$	+5 V ~ +35 V
Піковий струм $I_o$	2A
Напруга живлення логічної частини $V_{ss}$	+5 V ~ +7 V (може житися від основної плати +5V)
Струм логічної частини	0 ~ 36mA
Діапазон напруг керуючих сигналів і входів	
Низький рівень	$-0.3V \leq V_{in} \leq 1.5V$
Високий рівень	$2.3V \leq V_{in} \leq V_{ss}$
Максимальна споживана потужність	20W (для температури $T = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ )
Температура зберігання	$-25 \text{ }^\circ\text{C} \sim +130 \text{ }^\circ\text{C}$
Габаритні розміри	48мм * 43мм * 33мм (з урахуванням висоти радіатора мікросхеми)
Вага	33 грама
Особливості	Наявність світлодіодних індикаторів керуючих сигналів і напруги живлення логічної частини драйвера

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Керування кроковим двигуном (рис 3.7) здійснюється за рахунок використання входи А, В, С і D. на Кожному з цих входів логічний рівень 0 відповідає низькому рівню на виходах драйвера. Високий рівень - напрузі живлення драйвера.

ENA	ENB	A1	A2	B1	B2	A	B	C	D
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 3.7. Схема керування драйвером крокового двигуна Arduino L298N

Для відслідковування різних параметрів стану шкіри пропонується використовувати світлодіоди різних кольорів: зеленого, червоного, жовтого, синього, фіолетового та білого (рис. 3.8). [15]

Характеристики у всіх світлодіодів майже однакові. Для розробки пристрою використовуємо світлодіоди діаметром 5 мм, з робочою напругою 3.0-4.0 В, струм 20 мА, кут огляду – 30°.



а) світлодіод зелений  
ультрафіолетовий



б) світлодіод червоний  
ультрафіолетовий



в) світлодіод зелений  
ультрафіолетовий



г) світлодіод зелений  
ультрафіолетовий



д) світлодіод зелений  
ультрафіолетовий



е) світлодіод зелений  
ультрафіолетовий

Рис. 3.8. Світлодіоди різних кольорів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Нижче представлено графік вольт-амперних характеристик світлодіодів різних кольорів і їх структура. Показано схематичне зображення світлодіода, де позначені анод (А) і катод (К). Стрілка вказує напрямок потоку електронів (від катода до анода).

На графіку зображено залежність прямого струму (I) від прямої напруги (V) для світлодіодів різних кольорів. Криві на графіку представляють світлодіоди різних кольорів. На осі Y: Струм (I) в міліамперах (mA). На осі X: Напруга (V) в вольтях (V).

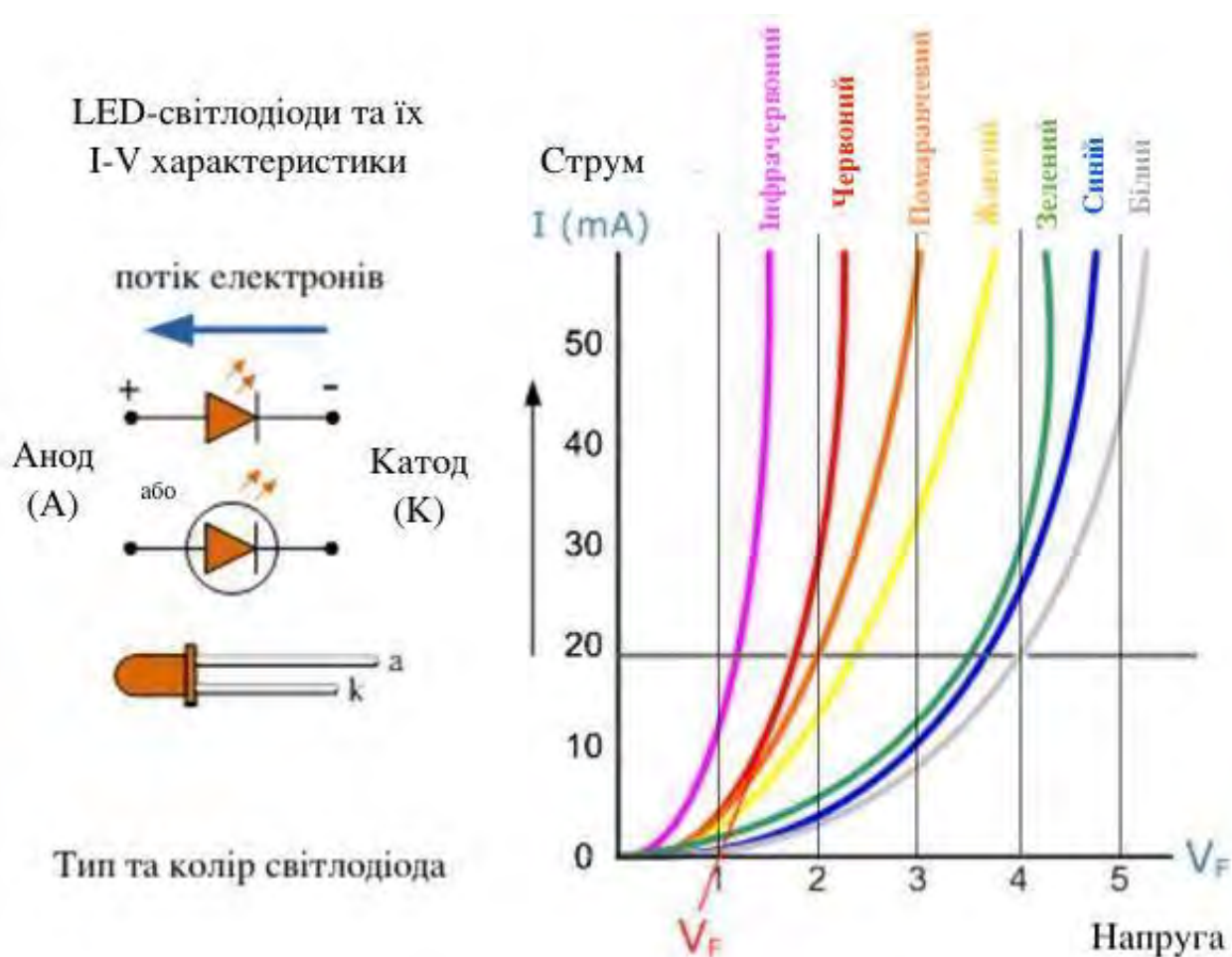


Рис. 3.9. Графік вольт-амперних характеристик світлодіодів різних кольорів і їх структура

Графік показує, що різні кольори світлодіодів мають різну пряму напругу ( $V_f$ ), при якій вони починають проводити струм. Ця інформація є корисною для



вибору резисторів, які обмежують струм через світлодіоди для запобігання їх пошкодженню.

Відповідно до попередньої інформації в пристрою будуть використані резистори 100 Ом номінальною потужністю 0,25 Вт для підключення світлодіодів як обмежувачів струму (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Резистори 100 Ом номінальною потужністю 0,25 Вт

У якості джерела живлення для пристрою, який використовує мікроконтролер Arduino UNO та інші компоненти, можна використовувати наступні джерела живлення:

1. USB-порт комп'ютера:

Напруга: 5V

Максимальний струм: Зазвичай до 500mA

Переваги: Легкість підключення, зручність при тестуванні та налагодженні.



Рис. 3.11. USB-порт комп'ютера

## 2. Блок живлення з виходом 9V:

Напруга: 9V

Максимальний струм: 1A або більше

Переваги: Зазвичай використовуються для живлення Arduino через роз'єм живлення.



Рис. 3.13. Блок живлення з виходом 9V

### 3.5 Алгоритм роботи пристрою

На рис. 3.14 представлений алгоритм роботи системи у вигляді блок-схеми. Робота пристрою починається з ініціалізації серійного зв'язку на швидкості 9600, що здійснюється командою `Serial.begin(9600)`. Після цього відбувається ініціалізація датчика освітленості BH1750 за допомогою команди `lightMeter.begin()`, що дозволяє зчитувати рівень освітленості. Далі налаштовуються піни 3, 6-12: пін 3 встановлюється як вхід для кнопки Start, а піни 6-12 як виходи для світлодіодів.

Алгоритм продовжується постійною перевіркою стану кнопки на пині 3. Якщо кнопка натиснута, починається виконання основного циклу. Спочатку активується світлодіод на відповідному пині (наприклад, пін 6 у першому циклі) за допомогою команди `digitalWrite(i, HIGH)`. Вводиться затримка 50 мс для

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

стабілізації системи перед зчитуванням даних. Після цього датчик освітленості BH1750 зчитує рівень освітленості, використовуючи команду `lightMeter.readLightLevel()`, і значення зберігається в змінній `lux`.

Зчитані дані освітленості виводяться у серійний порт для подальшого аналізу за допомогою команд `Serial.print` та `Serial.println`. Вводиться додаткова затримка 50 мс перед вимкненням світлодіода для забезпечення коректного запису даних. Після цього світлодіод на відповідному піні (наприклад, пін 6 у першому циклі) вимикається за допомогою команди `digitalWrite(i, LOW)`. Після виконання всіх дій для одного циклу вводиться затримка 100 мс перед початком нового циклу, щоб уникнути можливих дребезгів кнопки та забезпечити стабільність роботи пристрою.

Після завершення одного циклу алгоритм повертається до перевірки стану кнопки, щоб почати новий цикл для наступного піна (наприклад, пін 7 і так далі до піна 12). Цей процес повторюється для кожного піна від 6 до 12, після чого алгоритм знову перевіряє стан кнопки і, за необхідності, починає новий цикл. Таким чином, пристрій постійно може записувати цифрові значення відбитого світла, та, відповідно відслідковувати динаміку змін стану шкіри обличчя, використовуючи різні параметри освітленості під впливом світлодіодів різних кольорів.

У випадку, якщо кнопка не натиснута, жоден процес циклу не відбувається.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

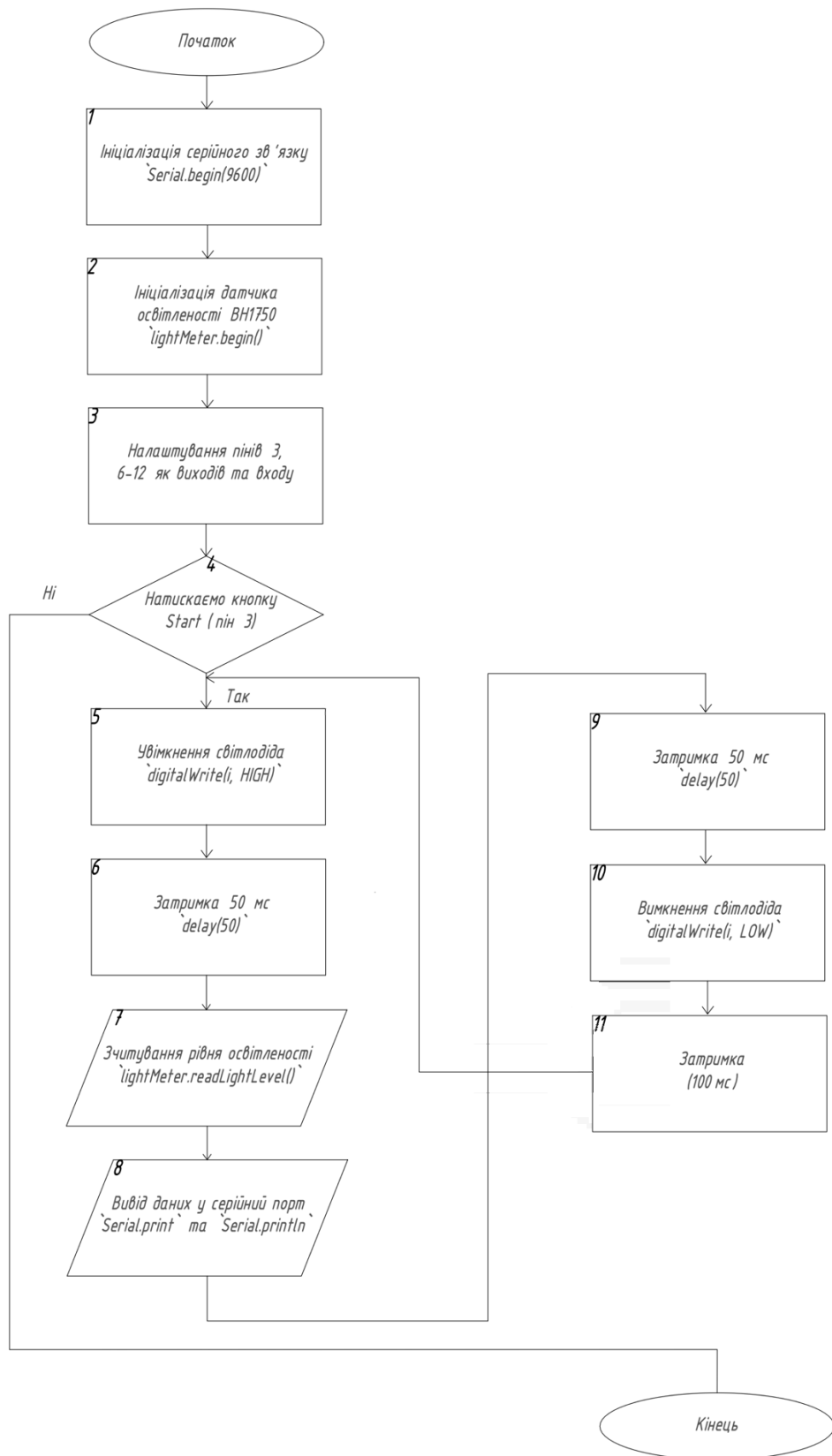


Рис. 3.14. Блок-схема роботи пристрою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.6 Розробка програмного забезпечення для реалізації прототипу пристрою

Для реалізації прототипу пристрою відповідно до зазначеного в попередньому підрозділі алгоритму було розроблено програмне забезпечення.

Приклад коду для Arduino:

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
BH1750 lightMeter;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lightMeter.begin();
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (digitalRead(3) == 0) {

    digitalWrite(6, HIGH);
    delay(50);
    uint16_t lux6 = lightMeter.readLightLevel();
    Serial.print("Kanal ");
    Serial.print( 6);
    Serial.print(" = ");
    Serial.print(lux6);
    Serial.println(" ");
    delay(50);
    digitalWrite(6, LOW);

    digitalWrite(7, HIGH);
    delay(50);
    uint16_t lux7 = lightMeter.readLightLevel();
    Serial.print("Kanal ");
    Serial.print( 7);
```

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Serial.print(" = ");
Serial.print(lux7);
Serial.println(" ");
delay(50);
digitalWrite(7, LOW);

digitalWrite(8, HIGH);
delay(50);
uint16_t lux8 = lightMeter.readLightLevel();
Serial.print("Kanal ");
Serial.print( 8);
Serial.print(" = ");
Serial.print(lux8);
Serial.println(" ");
delay(50);
digitalWrite(8, LOW);

digitalWrite(9, HIGH);
delay(50);
uint16_t lux9 = lightMeter.readLightLevel();
Serial.print("Kanal ");
Serial.print( 9);
Serial.print(" = ");
Serial.print(lux9);
Serial.println(" ");
delay(50);
digitalWrite(9, LOW);

digitalWrite(10, HIGH);
delay(50);
uint16_t lux10 = lightMeter.readLightLevel();
Serial.print("Kanal ");
Serial.print( 10);
Serial.print(" = ");
Serial.print(lux10);
Serial.println(" ");
delay(50);
digitalWrite(10, LOW);

digitalWrite(11, HIGH);
delay(50);
uint16_t lux11 = lightMeter.readLightLevel();
Serial.print("Kanal ");
Serial.print( 11);

```

```

Serial.print(" = ");
Serial.print(lux11);
Serial.println(" ");
delay(50);
digitalWrite(11, LOW);

digitalWrite(12, HIGH);
delay(50);
uint16_t lux12 = lightMeter.readLightLevel();
Serial.print("Kanal ");
Serial.print( 12);
Serial.print(" = ");
Serial.print(lux12);
Serial.println(" ");
delay(50);
digitalWrite(12, LOW);

delay (100);
}
}

```

Після тестування, програмний код було оптимізовано наступним чином:

```

#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
BH1750 lightMeter;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lightMeter.begin();
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
}
void loop() {
  if (digitalRead(3) == 0) {
    for ( int i = 6; i++; i <= 12) {
      digitalWrite(i, HIGH);
      delay(50);
    }
  }
}

```

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

```

uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
Serial.print("Kanal ");
Serial.print(i);
Serial.print(" = ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" ");
delay(50);
digitalWrite(i, LOW);
}
delay (100);
}
}

```

### 3.7 Реалізація прототипу пристрою

Під час виконання дипломного проєкту мною було розроблено прототип пристрою з використанням усіх структурних елементів, підібраних вище.

На рисунку 3.15 представлений набір структурних елементів для прототипування пристрою:



Рис. 3.15. Набір структурних елементів пристрою



Для перевірки роботи всіх елементів у вигляді повноцінного пристрою перший прототип було розроблено на макетній платі (рис.3.16).

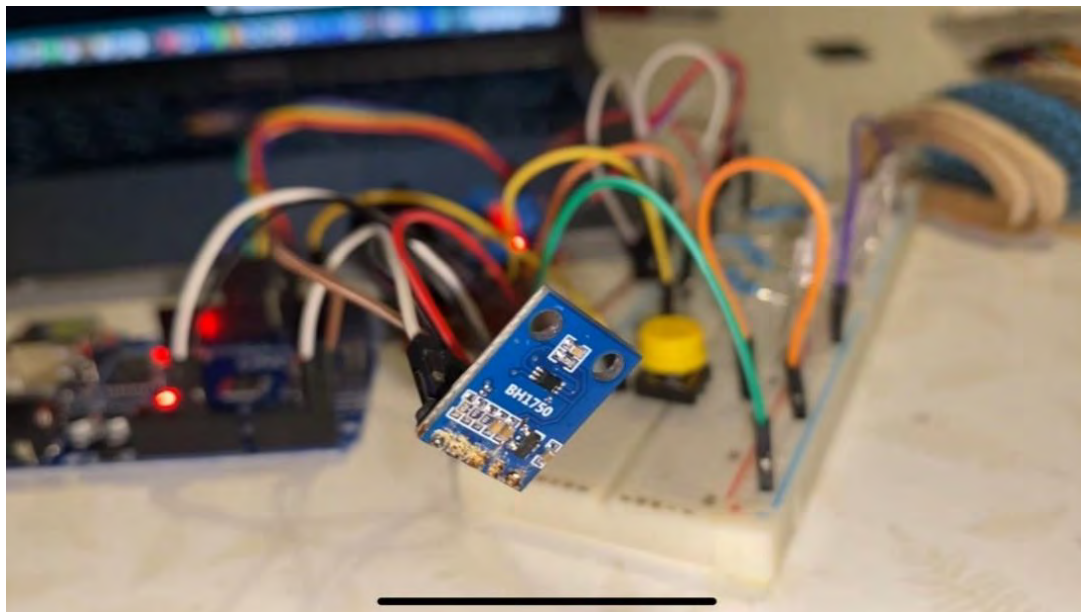


Рис. 3.16. Датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750 на макеті

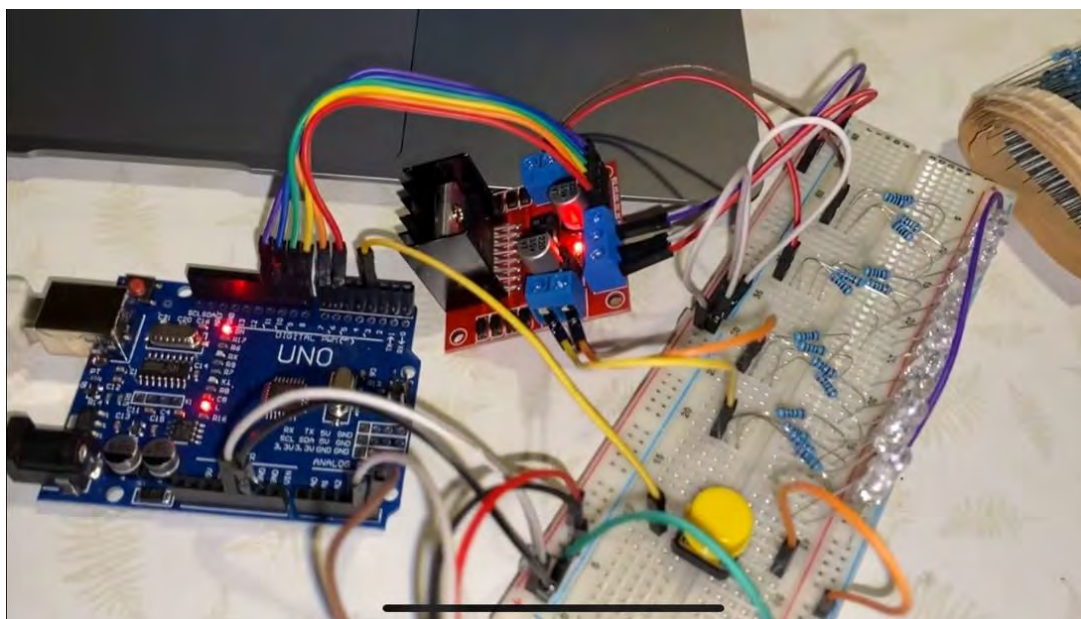


Рис. 3.17. Мікропроцесор Arduino UNO та драйвер крокового двигуна Arduino L298N на макеті

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

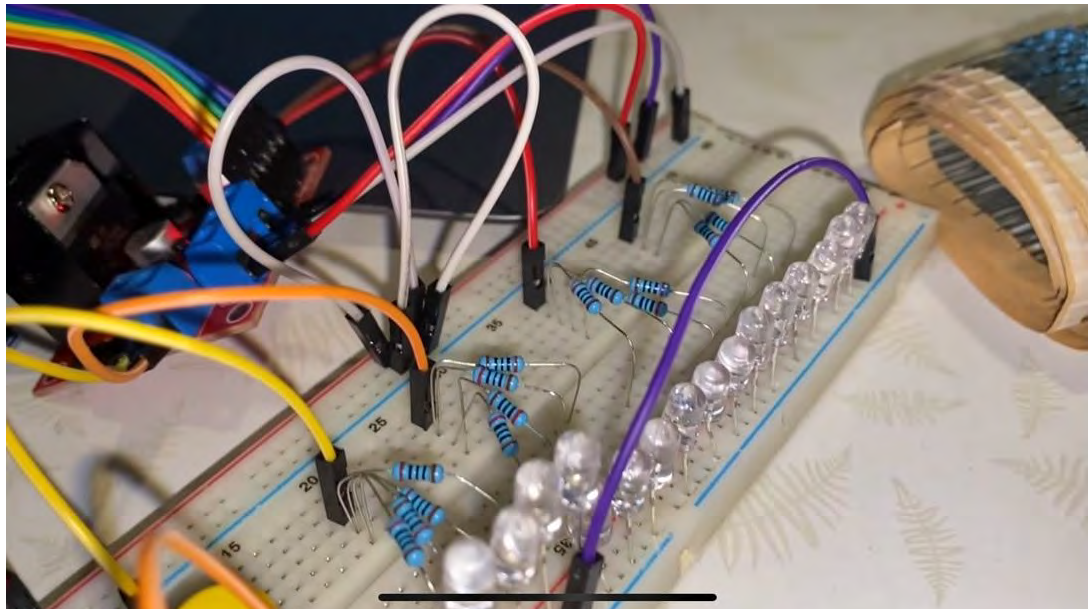


Рис. 3.18. Резистори та світлодіоди на макетній платі

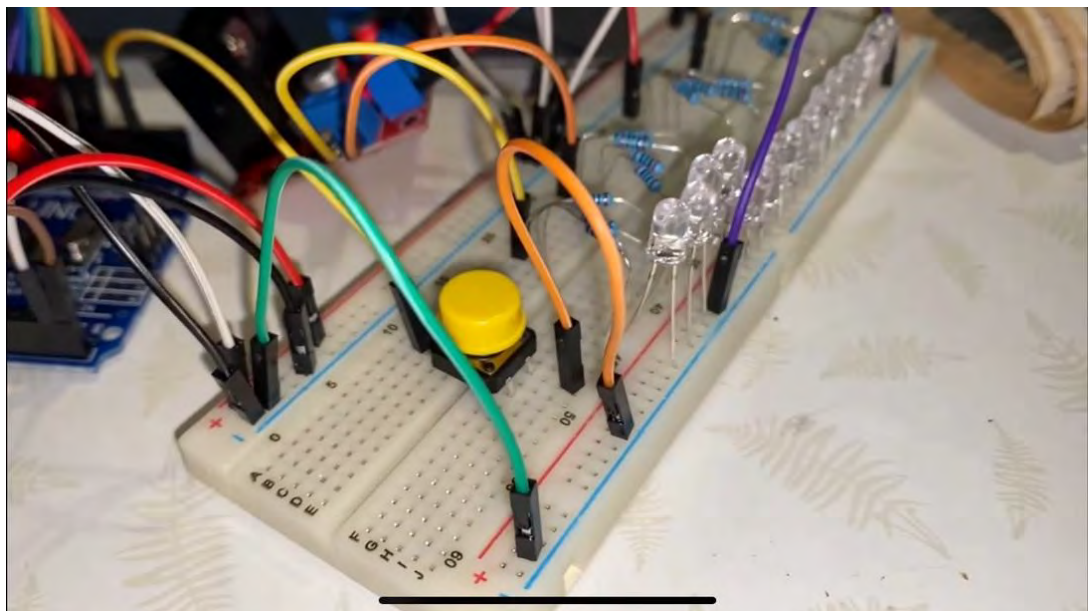
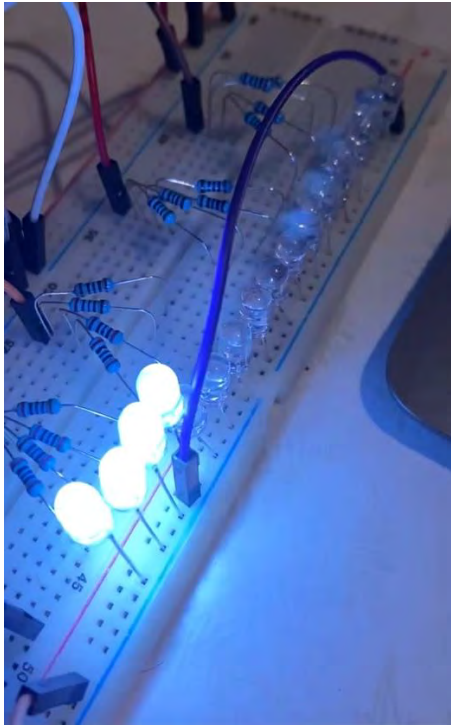


Рис. 3.19. Кнопка «Start» на макетній платі

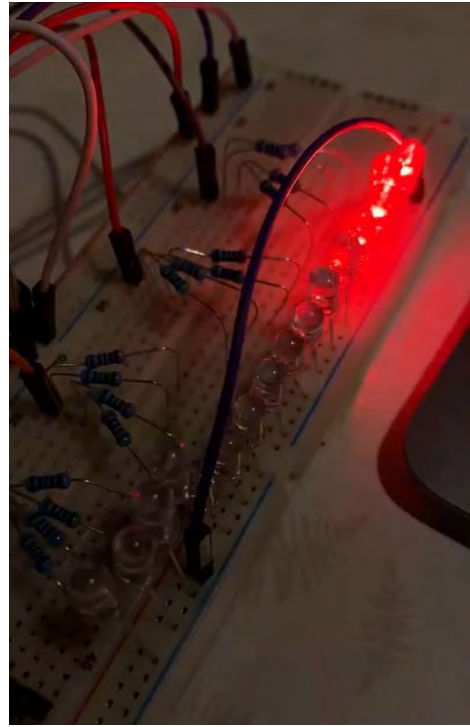
На рисунку 3.20 також зображено роботу пристрою на прикладі світлодіодів синього (рис. 3.20а), червоного (рис.3.20б), зеленого (рис. 3.20в) та жовтого кольорів (рис. 3.20г).

На рис. 3.21 можна побачити результат перетворення електронного сигналу відбитого світлового променя у цифрове значення.

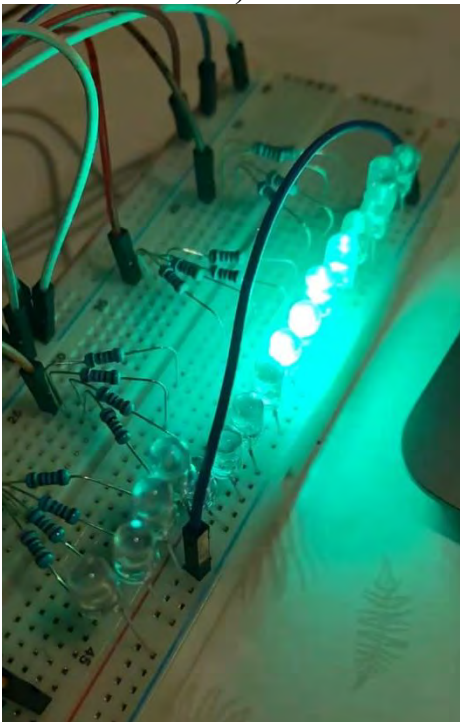




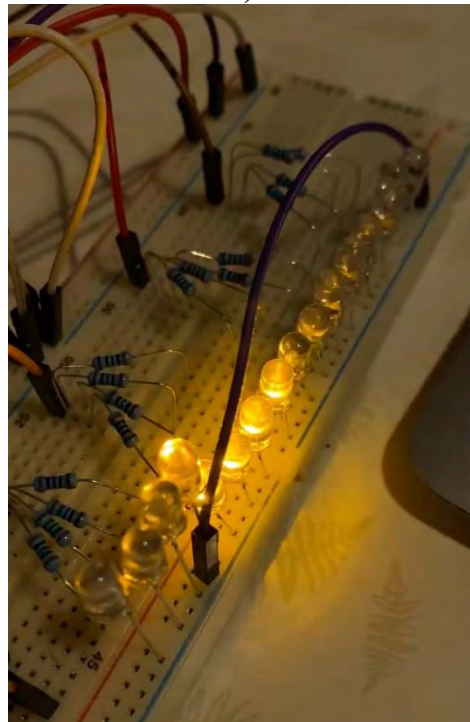
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.20. Приклад роботи пристрою на макетній платі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

05:30:45.409 -> Kanal 6 = 15  
05:30:45.596 -> Kanal 7 = 4  
05:30:45.784 -> Kanal 8 = 76  
05:30:46.017 -> Kanal 9 = 20  
05:30:46.204 -> Kanal 10 = 32  
05:30:46.391 -> Kanal 11 = 66

На рис. 3.21 зображено приклад отримання даних з датчика

Після перевірки роботи пристрою на макетній платі мною було розроблено прототип пристрою. Такий прототип можна використовувати для отримання реального результату та відслідковування динаміки стану шкіри обличчя.

### Висновки до Розділу 3

У третьому розділі розглянуто конструкторсько-технологічну частину розробки автоматизованої системи аналізу стану шкіри обличчя. Систему побудовано на основі мікроконтролера Arduino UNO, який керує всіма основними компонентами, такими як датчик освітленості BH1750, підсилювачі для світлодіодів, вимикач, і світлодіоди різних кольорів.

Такою було озроблено та представлено структурну і функціональну схеми пристрою. Структурна схема включає основні блоки, такі як мікроконтролер, датчик освітленості, вимикач, підсилювачі для світлодіодів і джерело живлення. Функціональна схема показує взаємодію між цими блоками, де мікроконтролер отримує дані від датчика освітленості, керує світлодіодами через підсилювачі, а користувач може запускати або зупиняти процес вимірювання за допомогою вимикача. Принципова схема детально описує підключення кожного компонента до мікроконтролера.

Алгоритм роботи пристрою включає початкову ініціалізацію серійного зв'язку і датчика освітленості, налаштування пінів для роботи зі світлодіодами і

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимикачем, та основний цикл зчитування даних освітленості кожного разу, коли вмикаються світлодіоди. Кожен цикл завершується передачею зібраних даних у серійний порт для подальшого аналізу.

Розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера та описано реалізацію прототипу пристрою на макетній платі для перевірки роботи всіх елементів.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 4.1 Обробка отриманих результатів

Для обробки отриманих значень електронних сигналів у форматі Excel-таблиці та відслідковування динаміки стану шкіри за допомогою діаграм, програмний код було оновлено.

Для додавання функції експорту значень в таблицю Excel, ми скористаємося інструментом PLX-DAQ (Parallax Data Acquisition Tool). [16] Цей інструмент дозволяє зберігати дані з Arduino прямо в Excel через послідовний порт.

#### 1. Встановлення PLX-DAQ:

- Завантажуємо та встановлюємо PLX-DAQ [16]

#### 2. Модифікація коду Arduino:

Додаємо спеціальні команди для роботи з PLX-DAQ в код. В основному це команди для ініціалізації та відправки даних через послідовний порт у форматі, який розпізнає PLX-DAQ.

Модифікований код для Arduino:

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lightMeter.begin();
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
}
```

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

```

pinMode(11, OUTPUT);
pinMode(12, OUTPUT);
// Ініціалізація PLX-DAQ
Serial.println("CLEARDATA"); // Очищення попередніх даних
Serial.println("LABEL,Time,Kanal,Lux"); // Встановлення заголовків
стовпців
}
void loop() {
  if (digitalRead(3) == 0) {
    for (int i = 6; i <= 12; i++) {
      digitalWrite(i, HIGH);
      delay(50);
      uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
      Serial.print("DATA,TIME,");
      Serial.print(i);
      Serial.print(",");
      Serial.println(lux);
      delay(50);
      digitalWrite(i, LOW);
    }
    delay(100);
  }
}
}

```

### 3. Налаштування PLX-DAQ:

- Для налаштування необхідно запустити PLX-DAQ на комп'ютері.
- Обрати потрібний СОМ-порт і встановити швидкість 9600 біт/с.
- Відкрити новий документ Excel і підключити PLX-DAQ.

Цей код буде відправляти дані про рівень освітленості для кожного каналу в таблицю Excel. Дані будуть відображатися у вигляді таблиці з трьома стовпцями: час, канал, рівень освітленості.

### 4.2 Обговорення отриманих результатів

Для перевірки роботи прототипу пристрою мною було проведено дослідження та предсталлено його на прикладі одного користувача.

У таблиці 4.1 відображено результат роботи пристрою, а на рис. 4.1 динаміку змін стану шкіри протягом тижня користування пристроєм, а також проаналізовано отримані результати. Користувач 1 спостерігав значні

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коливання у відбитих значеннях освітленості для різних кольорів. Розглянемо динаміку змін цих значень:

Червоний колір - відбиті значення червоного кольору (15, 13, 9, 8, 8, 27, 24) свідчать про початково низький рівень відбиття, що може вказувати на нормальний рівень кровообігу. Однак, на шостий і сьомий день спостерігається значне збільшення відбитого сигналу, що може свідчити про посилений кровообіг [17].

Жовтий колір - відбиті значення жовтого кольору (4, 5, 3, 3, 4, 10, 10) залишаються досить низькими протягом перших п'яти днів, що може свідчити про дефіцит каротиноїдів або вітаміну А. Значне зростання на шостий і сьомий день може вказувати на збільшення споживання каротиноїдів або покращення харчування.

Зелений колір - відбиті значення зеленого кольору (76, 66, 51, 53, 87, 80, 74) демонструють зниження протягом перших трьох днів, що може свідчити про погано зволожену шкіри. Після четвертого дня значення значно збільшуються, що може бути ознакою покращення рівня зволоженості.

Синій колір - відбиті значення синього кольору (20, 25, 22, 27, 23, 41, 38) показують відносну стабільність на початку, з незначними коливаннями. Після п'ятого дня значення збільшуються, що може свідчити про покращення еластичності шкіри, можливо, завдяки використанню зволожувальних засобів або іншої догляду за шкірою.

Фіолетовий колір - відбиті значення фіолетового кольору (32, 32, 24, 39, 41, 49, 37) варіюються протягом тижня. Зниження на третій день може вказувати на тимчасове погіршення стану шкіри.

Білий колір - відбиті значення білого кольору (66, 38, 34, 41, 33, 33, 39) демонструють низький рівень з першого дня користування пристроєм, що може свідчити про поганий загальний стан шкіри. Незначні коливання протягом решти тижня можуть вказувати на стабілізацію або повільне покращення.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Таблиця 4.1 – Приклад роботи пристрою для користувача 1

Значення (в люксах) Колір	day 1	day 2	day 3	day 4	day 5	day 6	day 7
<b>red</b>	15	13	9	8	8	27	24
<b>yellow</b>	4	5	3	3	4	10	10
<b>green</b>	76	66	51	53	87	80	74
<b>blue</b>	20	25	22	27	23	41	38
<b>violet</b>	32	32	24	39	41	49	37
<b>white</b>	66	38	34	41	33	33	39

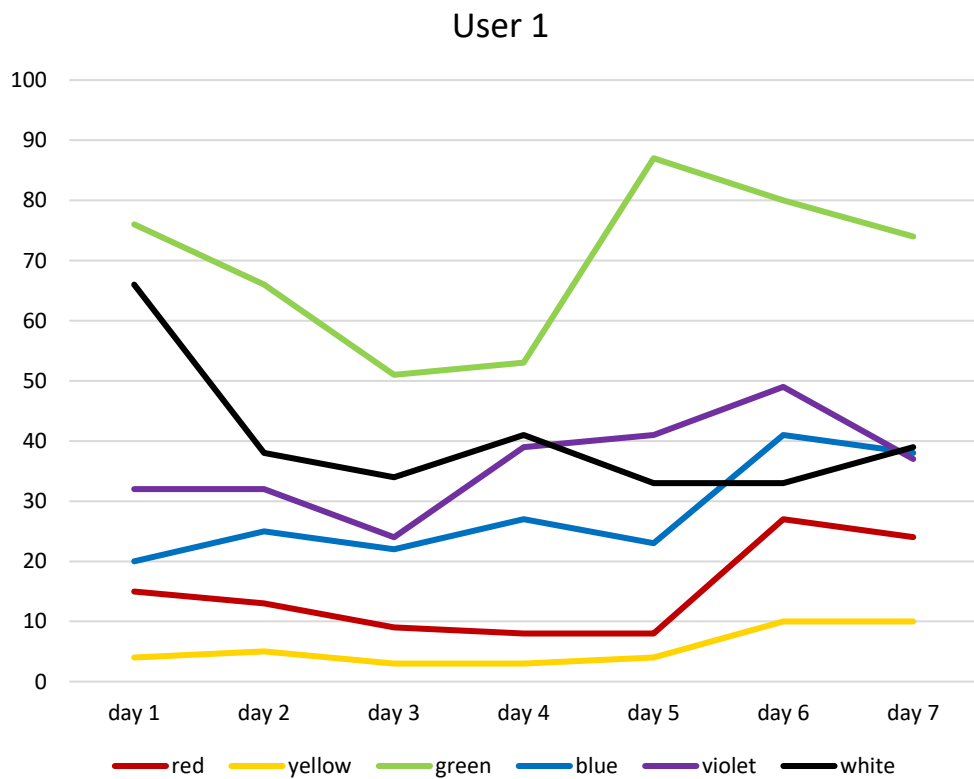


Рис. 4.1. Результат користування пристроєм користувача 1 протягом семи днів

#### Висновки до розділу 4

У четвертому розділі наведено спосіб експорту отриманих даних в таблицю Excel, а також наведено результати користування пристроєм протягом семи днів. Вони яскраво демонструють динаміку змін стану шкіри користувача. Початкове зниження показників для більшості кольорів може свідчити про початкові проблеми зі шкірою, такі як зневоднення або недостатнє харчування. Однак, значне покращення у показниках на шостий і сьомий день для червоного, жовтого, зеленого та синього кольорів вказує на покращення стану шкіри, можливо завдяки більш ефективному догляду або змінам у способі життя користувача.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проєкті було розроблено пристрій для швидкого аналізу стану шкіри обличчя людини. Було проаналізовано зовнішні джерела та наукові статті про оптичні властивості шкіри та властивості кольорів, відповідно до яких сформовано повноцінний пристрій, що може аналізувати різні параметри шкіри за допомогою вимірювання значень електронних сигналів світлових променів різного кольору, що відбиваються від епідермісу та дерми.

Запропонований пристрій може використовуватися для різноманітних потреб людини, як-от:

- Діагностика проблем зі шкірою: за допомогою аналізу пігментації, текстури, зволоження, зморшок та стану капілярів можна виявити такі проблеми, як акне, екзема, старіння шкіри тощо.
- Рекомендацій щодо догляду за шкірою: на основі результатів аналізу можна дати рекомендації щодо використання зволожуючих кремів, сонцезахисних засобів, антивікових сироваток тощо.
- Індивідуального підбору косметичних засобів: пристрій може допомогти підібрати косметичні засоби, які відповідають потребам вашої шкіри.

Переваги використання цієї системи:

- Автоматизація: аналіз проводиться без ручного втручання, що робить його більш об'єктивним та зручним.
- Об'єктивність: дані з датчика більш точні, ніж візуальна оцінка.
- Гнучкість: алгоритми аналізу можна налаштувати для різних потреб.
- Персоналізація: пристрій може надавати персоналізовані рекомендації

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Куц, Ю. В. Новітні системи та технології. Частина I. Загальні питання побудови та опрацювання даних в комп'ютерно-інтегрованих системах НКТД [Електронний ресурс] / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.

[2] Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.

[3] Tom Lister, Philip A. Wright, and Paul H. Chappell "Optical properties of human skin," Journal of Biomedical Optics 17(9), 090901 (24 September 2012). <https://doi.org/10.1117/1.JBO.17.9.090901>

[4] Автоматизація проєктування елементів оптичних приладів. Практикум: Навчальний посібник / О. В. Муравйов. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 68 с.

[5] R. R. Anderson and J. A. Parrish «Optical Properties of Human Skin», 1932, 147-154

[6] Wunsch A, Matuschka K. A controlled trial to determine the efficacy of red and near-infrared light treatment in patient satisfaction, reduction of fine lines, wrinkles, skin roughness, and intradermal collagen density increase. Photomed Laser Surg. 2014 Feb;32(2):93-100. doi: 10.1089/pho.2013.3616.

[7] Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: 71 матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.

[8] Visible Light Spectrum Wavelengths and Colors). [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://sciencenotes.org/visible-light-spectrum->

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[wavelengths-and-colors/](#)

[9] RIXEN LXT-401A – промисловий датчик освітленості (люксметр) для вимірювання освітленості в приміщеннях і поза ними. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://rixen.ua/>.

[10] BH1750FVI Datasheets [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/350139/ROHM/BH1750FVI.html>

[11] Chen and J. Hwang, Sensor systems for biomedical applications: management strategies, CRC Press, 2013.

[12] Kim J. Sensors, Circuits, and Systems for Biomedical Applications. Sensors. 2023; 23(6):3295. <https://doi.org/10.3390/s23063295>

[13] Галаган Р.М. Комп'ютерне проєктування електронних схем. Комп'ютерний практикум: навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.

[14] Огляд структурних елементів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/>

[15] Barolet D. Light-emitting diodes (LEDs) in dermatology. Semin Cutan Med Surg. 2008 Dec;27(4):227-38. doi: 10.1016/j.sder.2008.08.003. PMID: 19150294.

[16] Parallax Data Acquisition Tool (PLX-DAQ). [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>.

[17] Mamalis A, Koo E, Garcha M, Murphy WJ, Isseroff RR, Jagdeo J. High fluence light emitting diode-generated red light modulates characteristics associated with skin fibrosis. *J Biophotonics* 2016;9(11–12):1167–1179.

[18] Технології теплового неруйнівного контролю. Лабораторний практикум: навчальний посібник / А.Г. Протасов, Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 90 с.

[18] Муравйов, О., Петрик, В., Лисенко, Ю., Богдан, Г., & Наконечная, А. (2022). Автоматизация Методу Термографічної Діагностики Патологій Організму Людини. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (1), 47-53.

					ПК 01.03.1760.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61