

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: **Комп'ютеризована система вимірювання та контролю
освітленості виробничих приміщень**

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТ-3м

Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Кузьменко Артем Олексійович

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.е.н., к.т.н. професор

Єфіменко Надія Анатоліївна

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Житомир – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« 14 » листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Кузьменко Артема Олексійовича

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень

Керівник роботи: д.т.н., професор Подчашинський Юрій Олександрович

затверджена наказом по університету від « 14 » листопада 2025 р. № 654/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 23 » грудня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Вимірювання освітлення приміщень, включення та виключення системи, вивід вимірюваних показів освітленості на дисплей в люксах; передача вимірюваних показів освітленості на веб-сторінку в вигляді графіка та значень; звуковий сигнал в випадку критичних значень освітлення, галузь застосування охороні праці, комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд аналогічних систем вимірювання освітленості, вибір методу вимірювання освітленості, розробка структурної та принципової схеми системи, вибір складових елементів вимірювальної системи, розробка блок-схеми алгоритму та програми для вимірювальної системи, оцінка вимірюваних значень освітленості та розрахунок метрологічних характеристик для вибірки вимірюваних значень

5. Перелік графічного матеріалу

Структурна та принципова схема вимірювань освітленості, блок-схема алгоритму роботи програми

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-2	Єфименко Н.А.		
3-4	Єфименко Н.А.		

7. Дата видачі завдання 14 листопада 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих систем для вимірювання освітленості	24.11.25 – 27.11.25	Виконано
2	Вибір методу вимірювань освітленості	28.11.25 – 29.11.25	Виконано
3	Розробка структурної схеми	30.11.25 – 1.12.24	Виконано
4	Вибір технічних складових елементів вимірювальної сиситеми	2.12.25 – 4.12.25	Виконано
5	Розробка блок-схеми алгоритму та програми для системи	5.12.25 – 9.12.25	Виконано
6	Розробка програми веб-сторінки	10.12.25 – 12.12.25	Виконано
7	Розробка програми для оцінки метрологічних характеристик	13.11.25 – 14.12.25	Виконано
8.	Вимірювання експерименту з виміряними даними освітленості	15.12.25 – 16.12.25	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації	17.12.25 – 18.12.25	Виконано

Студент

(підпис)

Кузьменко А.О.

Керівник роботи

(підпис)

Єфименко Н.А.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена розробці комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи для вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень з можливістю дистанційного моніторингу вимірювальних даних.

Актуальність теми зумовлена зростаючими вимогами до умов праці, охорони здоров'я та безпеки персоналу, а також необхідністю підвищення енергоефективності виробничих процесів. Належний рівень освітленості безпосередньо впливає на продуктивність праці, точність виконання виробничих операцій, рівень зорової втоми та ймовірність виникнення травматизму. Сучасні засоби вимірювання освітленості, представлені переважно імпортними люксометрами, часто мають високу вартість, обмежену функціональність у частині автоматизованого збору та аналізу даних, а також не забезпечують можливості віддаленого моніторингу.

Метою магістерської роботи є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень з виведенням результатів вимірювань на локальний дисплей та веб-сторінку для дистанційного доступу.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі основні задачі: проведено аналіз існуючих методів і засобів вимірювання освітленості; обґрунтовано вибір методу вимірювання на основі фотоелектричного датчика; розроблено структурну та принципову схеми комп'ютеризованої системи; виконано вибір та обґрунтування елементної бази; розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення для вимірювання, обробки та зберігання даних; здійснено оцінювання метрологічних характеристик і статистичний аналіз результатів вимірювань.

Об'єктом дослідження є процеси вимірювання освітленості виробничих приміщень.

Предметом дослідження є комп'ютеризована система вимірювання та контролю освітленості.

Методи дослідження ґрунтуються на застосуванні фотометричних методів прямого вимірювання освітленості, цифрових методів обробки сигналів, комп'ютерного імітаційного моделювання, а також статистичних методів обробки результатів вимірювань для оцінювання точності та достовірності отриманих даних.

У першому розділі роботи виконано огляд сучасних засобів і методів вимірювання освітленості у виробничих приміщеннях. Проаналізовано переваги та недоліки існуючих люксометрів, а також розглянуто фотометричні, спектральні та лабораторні методи вимірювання. За результатами аналізу для подальшої розробки системи обрано метод вимірювання освітленості з використанням фотоелектричного датчика.

У другому розділі розроблено структурну схему комп'ютеризованої системи вимірювання освітленості, яка включає датчик освітленості, мікроконтролер, дисплей, сигнальний елемент та Wi-Fi модуль для передачі даних на веб-сторінку. Обґрунтовано функціональне призначення кожного елемента та показано взаємозв'язок між складовими системи.

Третій розділ присвячено вибору елементної бази та розробці принципової схеми системи. В якості основних компонентів використано мікроконтролер C8051F304, датчик освітленості MAX44007, Wi-Fi модуль ESP-12S, дисплей LCD 1602 з інтерфейсом I2C та кнопку керування. Запропоновано схему живлення з використанням зовнішнього джерела та стабілізатора напруги, що забезпечує надійну роботу системи.

У четвертому розділі розроблено програмне забезпечення для мікроконтролера та веб-інтерфейс для відображення вимірювальних даних. Реалізовано алгоритми збору, обробки, зберігання та передачі інформації з використанням бездротового зв'язку. Проведено статистичний аналіз добових вимірювань освітленості, визначено основні характеристики вибірки та виконано перевірку даних на наявність грубих похибок за критеріями Ірвіна, Романовського та Діксона, що підтвердило достовірність отриманих результатів.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні структури комп'ютеризованої системи вимірювання освітленості шляхом інтеграції бездротового каналу передавання даних, а також у подальшому розвитку алгоритмів обробки вимірювальної інформації на основі статистичного аналізу та веб-орієнтованого представлення результатів.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання розробленої системи для контролю освітленості виробничих приміщень, підвищення точності та достовірності вимірювань, а також організації дистанційного моніторингу параметрів освітлення в режимі реального часу.

Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків, містить 79 сторінок основного тексту, 32 рисунки, 5 таблиць та 27 літературних джерел.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальні системи, освітленість, люксметр, фотоелектричний датчик, мікроконтролер, похибки визначення вимірювань, фотометричні вимірювання, Wi-Fi модуль, дистанційний моніторинг, веб-інтерфейс.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1.ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕННОСТІ....	13
1.1. Основні поняття, призначення та історія створення люксометрів	13
1.2. Огляд існуючих рішень вимірювання освітленості	14
1.3. Фізичний принцип та методи вимірювання освітленості.....	23
Висновки до 1 розділу.....	26
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	27
2.1. Обґрунтування побудови структурної схеми.....	27
2.2. Обґрунтування мікроконтролеру.....	28
2.3.Обґрунтування вибору wi-fi модуля.....	30
2.4. Обґрунтування вибору датчика освітленості.....	31
2.5. Обґрунтування вибору дисплея.....	33
2.6. Обґрунтування вибору кнопки.....	36
2.7. Обґрунтування вибору живлення.....	38
2.8.Обґрунтування звукового оповісчувача	40
2.9.Структурна схема.....	41
Висновки до 2 розділу.....	42
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	43
3.1. Вибір мікроконтролеру.....	43
3.2. Вибір wi-fi модуля.....	44
3.3. Вибір датчика освітленості.....	46
3.4. Вибір дисплею.....	48
3.5. Вибір кнопки.....	50
3.6. Вибір динаміка	51
3.7. Вибір блока живлення	52
3.8.Побудова електрично-принципової схеми	56
Висновок до 3 розділу.....	57
4.РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ТА	58

МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	
4.1.Розробка алгоритму.....	58
4.2.Розробка програми для мікроконтролеру.....	60
4.3. Розробка програми для веб-сторінки.....	62
4.4.Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації.....	67
Висновок до 4 розділу.....	74
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
ДОДАТКИ.....	80
Додаток А.....	81
Додаток Б.....	86
Додаток В.....	89
Додаток Г.....	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АКБ – акумуляторні батареї

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ДП – друкована плата

КІВС – комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система

МК – мікроконтролер

ОЗП – оперативно-запам'ятовуюча пам'ять

ПВ – перетворювач вторинний

ПЗП – постійно запам'ятовуюча пам'ять

СКВ – середнє квадратичне відхилення

УФ – ультрафіолет

УФВ – ультрафіолетове випромінювання

ВСТУП

Актуальність теми. Якість освітлення є критичним фактором, що безпосередньо впливає на здоров'я та комфорт людей у приміщеннях. Неналежне освітлення спричиняє зорову втому, головний біль, загальне виснаження та може призводити до хронічних захворювань очей. Натомість, ергономічно спроектоване освітлення не лише зберігає гостроту зору, але й позитивно впливає на психоемоційний стан працівників, що особливо важливо в умовах тривалого перебування в приміщенні.

У робочому середовищі оптимальне освітлення є визначальним чинником продуктивності. Правильно освітлене робоче місце підвищує концентрацію уваги, знижує кількість помилок, спричинених недостатньою видимістю, та сприяє ефективнішому виконанню виробничих завдань. Особливо критичним цей аспект стає у виробничих приміщеннях, де належне освітлення є ключовим елементом охорони праці та безпеки. Воно запобігає нещасним випадкам та травматизму, забезпечуючи належну видимість у зонах експлуатації небезпечного обладнання та інструментів.

Енергоефективність сучасних систем освітлення набуває особливого значення в контексті глобальних екологічних викликів та зростання вартості енергоресурсів. Впровадження LED-технологій, датчиків присутності та інтелектуальних систем автоматичного регулювання дозволяє скоротити енергоспоживання на 40-70% порівняно з традиційними рішеннями, що забезпечує істотне зменшення експлуатаційних витрат та знижує вуглецевий слід підприємства.

Сучасні вимоги до гнучкості використання приміщень обумовлюють необхідність адаптивних систем освітлення. Можливість динамічного регулювання інтенсивності світлового потоку та колірної температури дозволяє створювати оптимальні умови для різноманітних видів діяльності – від точних робіт до зон відпочинку, що підвищує функціональність простору.

Для моніторингу рівня освітленості застосовуються люксметри. На українському ринку представлені переважно зарубіжні марки: LX-1010BS,

Ezodo, TM-213 UVAB, TENMARS. Однак ці прилади мають суттєві недоліки: висока вартість, що обмежує доступність для малих підприємств; складність калібрування та обслуговування через відсутність сертифікованих сервісних центрів у багатьох регіонах України; невисока інтуїтивність інтерфейсу для користувачів без спеціальної підготовки; обмежена підтримка програмного забезпечення та відсутність локалізації документації.

Отже, розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень є **актуальною**, оскільки дозволить:

- забезпечити постійний моніторинг відповідності освітленості санітарним нормам (ДСП 3.3.6.042-99, ДСТУ EN 12464-1);
- створити доступне та економічно ефективне рішення для українських підприємств;
- автоматизувати процес збору та аналізу даних про освітленість;
- оперативно виявляти відхилення та формувати рекомендації щодо коригування систем освітлення;
- інтегрувати систему з іншими елементами автоматизації будівлі для комплексного управління мікрокліматом.

Метою даної роботи є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень з виводом вимірянних даних на дисплей та веб-сторінку.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вибір методу вимірювання освітленості для виробничих приміщень;
- розробка структурної та принципової схеми комп'ютеризованої системи вимірювання освітленості виробничих приміщень для виробничих приміщень;
- вибір та обґрунтування складових елементів системи;
- розробка блок-схеми алгоритму та програми для вимірювання освітленості виробничих приміщень;
- розробка програми для розрахунку метрологічних похибок вимірянних значень освітленості виробничих приміщень.

Об'єкт дослідження – процеси вимірювання освітленості виробничих приміщень.

Предмет дослідження – комп'ютеризована система для вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень.

Методи дослідження комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень базуються на застосуванні фотометричних методів прямого вимірювання освітленості, методу порівняння з еталонним джерелом, використанні цифрових методів обробки сигналів (аналого-цифрове перетворення, цифрова фільтрація), методах комп'ютерного імітаційного моделювання у середовищах Tinkercard для верифікації алгоритмів, а також статистичних методах обробки результатів для оцінювання точності та відтворюваності вимірювань.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

1) Удосконалено структуру комп'ютеризованої системи вимірювання освітленості з реалізацією бездротового каналу передавання вимірювальної інформації;

2) Удосконалено алгоритми обробки вимірювальних даних освітленості на основі статистичного аналізу та веб-орієнтованого представлення результатів.

Практична цінність даної роботи полягає в:

1) Розроблена комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система може бути використана для контролю освітленості виробничих приміщень;

2) Результати розрахунку метрологічних похибок забезпечують підвищення точності та достовірності вимірювань освітленості;

3) Реалізація бездротової передачі вимірювальних даних з використанням Wi-Fi модуля та веб-інтерфейсу дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг параметрів освітленості в режимі реального часу.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 4 основні розділи, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 79 сторінках основного тексту і містить 32 рисунки, 5 таблиць та 27 джерел.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕННОСТІ

1.1. Основні поняття, призначення та історія створення люксометрів

Люксометр – це портативний або стаціонарний вимірювальний прилад для контролю освітленості, що складається з фотоелектричного давача, чутливого до видимого спектра випромінювання, та електронного блоку, який перетворює фотострум у цифрові значення освітленості, виражені в люксах (лк).

Люксометри застосовуються для таких прикладних задач, як:

1. Контроль відповідності освітленості робочих місць санітарним нормам та вимогам охорони праці (ДСП 3.3.6.042-99, ДСТУ EN 12464-1);
2. Атестацію робочих місць на виробничих підприємствах, в офісах, навчальних закладах та медичних установах;
3. Перевірку ефективності систем штучного та природного освітлення при введенні об'єктів в експлуатацію;
4. Оптимізацію енергоспоживання шляхом визначення надлишкової або недостатньої освітленості приміщень;
5. Проектування систем освітлення з розрахунком необхідної кількості та потужності світильників;
6. Контроль якості освітлення у фотостудіях, музеях, виставкових залах та торгових приміщеннях;
7. Дослідження впливу природного освітлення через віконні прорізи в різні пори доби та року;
8. Налаштування та калібрування систем автоматичного регулювання освітлення;
9. Проведення експертиз та технічних обстежень будівель і споруд;
10. Наукові дослідження у галузі світлотехніки, фізіології зору та ергономіки робочих місць.

Перші люксометри з'явилися на початку XX століття після винаходу фотоелементів. У 1920-х роках німецька компанія Carl Zeiss випустила один з перших комерційних люксометрів на основі селенових фотоелементів, які

генерували електричний струм під дією світла. Ці прилади використовували стрілочні гальванометри для відображення результатів вимірювання. У 1950-1960-х роках з розвитком напівпровідникової техніки почали застосовуватися кремнієві фотодіоди, що значно підвищило точність та стабільність вимірювань. У 1970-1980-х роках впровадження мікропроцесорів дозволило створити цифрові люксметри з автоматичним вибором діапазону вимірювання, пам'яттю даних та можливістю калібрування. Сучасні люксметри (з 2000-х років) оснащуються бездротовими інтерфейсами, GPS-модулями, можливістю передачі даних на комп'ютер або смартфон, а також функціями реєстрації та аналізу освітленості в режимі реального часу, що робить їх невід'ємною частиною систем "розумних будинків" та автоматизованого контролю виробничих процесів [1].

1.2.Огляд існуючих рішень вимірювання освітленості

На сьогодні ринок пропонує широкий вибір люксметрів для різних задач, від недорогих, простих у користуванні моделей, до складних вимірювальних систем з масою додаткових аксесуарів.

Найпростіші моделі люксметрів (такі як LX-1010BS рис.1.1 та Ezodo SP-216 рис.1.2) характеризуються відносно невисокою вартістю та призначені для вимірювань оціночного характеру, що не вимагають високої прецизійності. Відсутність світлових фільтрів зумовлює точність порядку 10 Вт/м², проте цього цілком достатньо для контролю рівня освітленості у рослинництві, метеорології, у закритих приміщеннях різного призначення, а також на відкритому просторі. До переваг цих люксметрів можна віднести великий рідкокристалічний екран, зрозуміле меню приладу, гнучке з'єднання чутливого елемента з приладом, що забезпечує можливість вимірювань у важкодоступних місцях.



Рис. 1.1. Люксметр LX-1010BS

Проста і водночас недорога модель, яка рекомендується споживачам з обмеженим бюджетом. В разі необхідності, на прилад може бути отримане Свідоцтво про метрологічне калібрування ISO 17025.

Особливості:

1. Портативний люксметр LX-1010BS розрахований на точкове вимірювання широкого діапазону освітлення.
2. Увесь діапазон розбитий на три частини (2 000, 20 000, 100 000 LUX), що дозволяє проводити більш точні виміри.
3. Прилад має функцію запам'ятовування результату вимірювання.
4. Великий LCD-екран легко читається, а меню приладу просте у використанні.

Технічні характеристики люксметра LX-1010BS:

- Діапазон вимірювання: 0 ~ 100 000 LUX;
- Дисплей: 1/2 цифри LCD;
- Частота дискретизації: 0,5 с;
- Повторюваність: $\pm 2\%$;
- Температурні характеристики: $\pm 0.1\%/^{\circ}\text{C}$;
- Точність: $\pm 4\% \pm 10$ одиниць ($\pm 5\% \pm 10$ одиниць для діапазону $>10,000$ Lux);

- Найбільш точні результати можна отримати за умов: $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$, $0 \sim 80\%$ вологості;
- Джерело живлення: 9 В «крона»;
- Габарити: $116 \times 70 \times 29$ мм;
- Вага: 200 г.
- До комплекту поставки входять: люксометр LX-1010BS, футляр, інструкція, батарейка [2].

Тестер інтенсивності світлового потоку EZODO SP-216 представлений на рис.1.2.



Рис.1.2. Тестер інтенсивності світлового потоку EZODO SP-216

Технічні характеристики EZODO SP-216:

- Дисплей: 3-1/2 поділок LCD з максимальним значенням 1999;
- Діапазон вимірювання: $0 \dots 1999 \text{ Вт/м}^2$ або $0 \dots 634 \text{ BTU}$;
- Роздільна здатність: 0.1 Вт/м^2 або 0.1 BTU ;
- Точність: $\pm 10 \text{ Вт/м}^2$ ($\pm 3 \text{ BTU}$) або $\pm 5\%$ при температурі вищій за 25°C ,
- кожен наступний $^{\circ}\text{C}$: $\pm 0.38 \text{ Вт/м}^2$ ($\pm 0.12 \text{ BTU}$);
- Час спрацьовування: 0.25 с;
- Живлення: DC 9В розраховано на 100 годин роботи;
- Габарити: $132 \times 60 \times 38$ мм;

- Вага: 150 г;
- Комплектація: прилад, інструкція з експлуатації, чохол батарея 9В.

Особливості:

1. Ezodo SP-216 - тестер інтенсивності світлового потоку.
2. Помірна ціна, висока точність вимірювань, стабільність протягом тривалого часу експлуатації.
3. Прилад призначений для вимірювання інтенсивності світлового потоку (сили сонячної енергії) всіх видимих джерел світла.
4. Одиниці вимірювань: Вт/м² або BTU (British thermal unit).
5. Прилад відповідає стандарту EN61326 (1997 р) + A1 (1998 р) + A2 (2001 р)[3].

Люксметр ТМ-213 UVAB (рис.1.3.) розроблений спеціально для вимірювання потужності ультрафіолетового випромінювання (УФВ). Цей люксметр знайде своє застосування для санітарного та технічного контролю, для контролю стану навколишнього середовища (пляж, відкрита місцевість, солярії) на предмет УФВ, для лабораторно-дослідних потреб.



Рис.1.3. Люксметр ТМ-213 UVAB

Особливості:

- 3 3/4 LCD дисплей із підсвічуванням, максимальне значення 3999;
- утримування результату на екрані;

- індикація розряду батареї;
- функція «Zero»;
- перевищення робочого діапазону – індикація «OL»;
- підходить для всіх типів джерел УФ випромінювання.

Технічні характеристики:

- Діапазони вимірювання: 4000 мкВт/см², 20 мВт/см²;
- Роздільна здатність: 1 мкВт/см², 0,01 мВт/см²;
- Точність: ± 5 (%) повного діапазону + 2 символи);
- Довжина хвилі: 290~390 нм;
- Час спрацьовування близько: 0.4 секунди;
- Живлення: 2 батарейки 1.5В ААА;
- Час автономної роботи близько 100 годин;
- Вага 90 г;
- Розміри 133(L)x48(W)x23(H) мм.[4]

Люксметри, що їх відносяться до наступної групи, призначені для аналізу світла неонових і світлодіодних джерел, а також стандартних джерел світла класу А (на основі вольфрамової нитки розжарювання). Дані люксметри обладнані світлофільтрами та високочутливими кремнієвими фотоелементами, спектральний відгук яких наближено до світлової спектральної ефективності СІЕ. Все це, разом із застосуванням косинусної кутової корекції для випадку поперечного освітлення, забезпечує високу точність вимірювань (± 3 % при калібруванні за стандартною лампою розжарювання 2856 °К, +6 % за іншими видимими джерелами світла). Додаткові можливості для контролю рівня освітленості надає 1,5 метровий гнучкий кабель з'єднання сенсора з вимірювальним блоком. Зручними і корисними для користувача люксметра є функції мінімального, максимального та усередненого значень, вимірювання освітленості в різних одиницях (люксах чи фут-канделах), фіксація результатів вимірювань (99 точок).

Люксметр (LED) TENMARS TM-201L представлений на рис.1.4.



Рис.1.4. Люксметр (LED) TENMARS TM-201L

Особливості:

- згідно з JISC 1609 : 1993 та CNS 5119 відповідає специфікації класу А;
- спектральний відгук наближений до світлової спектральної ефективності CIE;
- вимірювання інтенсивності освітлення в люксах і фут канделах;
- сенсор: кремнієвий фотодіод і фільтр;
- вимірювання усіх видимих джерел світла;
- довжина кабелю сенсора близько 1,5 м.

Технічні характеристики:

- Діапазони вимірювання: 200, 2000, 20000, 200000 люкс, 20, 200, 2000, 20000 футкандел;
- Точність: $\pm 3\%$ при калібруванні по стандартній лампі розжарювання 2856° К та корекції до спектра світлодіода денного світла $\pm 8\%$ по інших видимих джерелах світла;
- Габарити приладу (ДхШхВ): 130x55x38 мм;

- Габарити сенсора (ДхШхВ): 80х55х25 мм;
- Вага (з батареями): 250 г.[5]

До наступного класу віднесемо професійні високоточні люксметри з розширеними можливостями завдяки використанню різних датчиків. Люксметр ТМ-208 може вимірювати сонячну енергію, ультрафіолетове випромінювання, а також освітленість від різних штучних джерел випромінювання. Широкий діапазон вимірювань, реєстратор даних на 45 000 точок, USB-інтерфейс для передачі даних на ПК з метою візуалізації та подальшої обробки. Кремнієвий фотодіод, спектральний відклик якого наближений до СІЕ, фільтр та косинусна кутова корекція забезпечують високу точність вимірювання освітленості. Знайде своє застосування для контролю медичних джерел випромінювання, у фізичних та оптичних лабораторіях, для перевірки фотоелектричних модулів у польових умовах, та для багатьох інших задач.

Особливо слід виділити професійні люксметри від відомого європейського виробника вимірювальних приладів Delta OHM. Ці люксметри можна назвати універсальними завдяки можливостям їх роботи з широким модельним рядом сенсорів випромінювання від цього ж виробника. Це дає змогу працювати в різних частинах спектру від інфрачервоного до ультрафіолетового діапазону.

Оптичні сенсори серії LP471 дозволяють вимірювати кількісні значення фотометричних та радіометричних величин таких, як освітленість (люкс, фут-кандела), яскравість (кд/м²), інтенсивність випромінювання (Вт/м², мкВт/см²) у видимій (VIS-NIR) та ультрафіолетовій (UVA, UVB, UVC) частині спектру, а також кількість фотонів, прийнятих за одиницю часу на одиницю площі в діапазоні фотосинтетично-активного випромінювання (PAR) з довжиною хвилі від 400 до 700 нм (мкмоль/м²·с). Сенсори LP471 для люксметрів комплектуються дифузором косинусної корекції. В сенсорах для вимірювання УФ випромінювання дифузор виготовлений зі шліфованого кварцу, для інших – як правило виготовляється з акрилу або тефлону (LP471 PHOT).

Люксметр TENMARS TM-208A представлений на рис.1.5.



Рис.1.5. Люксметр TENMARS TM-208A

Опис приладу:

- РК дисплей із підсвічуванням на 3 3/4 розряди з макс. значенням 3999;
- конструкція 3 в 1, вимірювання УФ, сонячного і штучного випромінювання;
- USB-реєстратор на 45000 результатів;
- годинник реального часу та календар;
- функція Rel (відносне) / налаштування нуля.

Технічні характеристики люксметра TENMARS TM-208A представлені в таблиці 1.1[6].

Таблиця 1.1. Технічні характеристики люксметра TENMARS TM-208A

	Вимірювання УФ-А	Вимірювання освітленості	Вимірювання сонячної енергії
Діапазон вимірювання	40,0 мкВт, 400 мкВт, 4,000 мкВт, 20 мВт	40, 400, 4000, 40000, 400000 люкс 40, 400, 4000, 40000 фугкандел	40, 400 мкВт/м2, 20.00 Вт/м2 13, 127, 634 Btu/ft2.h
Роздільна здатність	0,01 мкВт, 0,1 мкВт, 1 мкВт; 0,01 мВт	0.01, 0.1, 1, 10, 100 люкс 0.01, 0.1, 1, 10	0.01, 0.1, 1 Вт/м2 0.01, 0.1, 1 Btu/ft2.h

		футкандел	
Точність	$\pm 4 \%$	$\pm 3\%$ (калібрування за стандартною лампою розжарювання 2856° K) $\pm 6 \%$ (за іншими видимими джерелами)	$\pm 5 \%$
Довжина хвилі	320~400 нм	400~1100 нм	400~1100 нм
USB реєстратор	45000 результатів		
Частота дискретизації	4 рази на секунду		
Вихід даних	USB-інтерфейс		
Живлення	9В батарея (NEDA 1604 IEC 6F 22 JIS 006P)		
Термін служби батареї	близько 100 годин		
Загальна вага	близько 1200 г		
Аксесуари	інструкція користувача		
	9В батарея (NEDA 1604 IEC 6F 22 JIS 006P)		
Зонд	Зонд для УФ	Зонд сонячної енергії	Зонд освітленості
	Ø49x28(В) мм	80x55x25мм	80x55x25 мм
Габарити приладу	130(Д)x55(Ш)x38(Т) мм		

Сучасні люксметри, подібні до тих, що були розглянуті вище, мають кілька ключових переваг. Вони надійні, працюють на основі фотоелемента та забезпечують достатню точність для більшості побутових і професійних задач. Такі прилади універсальні: існують моделі з гнучкими датчиками, зі світловими фільтрами та косинусною корекцією, що дає можливість точно вимірювати освітленість за різних умов. Крім того, вони зручні у використанні – мають функції фіксації показань, вимірювання мінімуму й максимуму, різні одиниці вимірювання та автоперемикання. Люксметри важливі в контролі норм освітлення на робочих місцях, у навчальних і

виробничих приміщеннях, а також допомагають оптимізувати умови для рослин у теплицях.

Втім, готові пристрої мають і свої недоліки. Дешеві моделі можуть показувати низьку точність, особливо за відсутності світлових фільтрів. Точність вимірювання також сильно залежить від типу джерела світла: без корекції LED-освітлення або правильного врахування кута падіння світла результати можуть бути спотвореними. Багато серійних люкметрів не підходять для спеціалізованих завдань, де потрібні високоточні або спектральні вимірювання. Крім того, такі прилади потребують періодичного калібрування, оскільки фоточутливі елементи з часом втрачають стабільність.

Саме тому в окремих випадках може бути важливо розробити власний люкметр. Це дає можливість повністю адаптувати прилад до конкретних потреб – наприклад, під певний спектр світла, спеціальні умови або наукові задачі. Власна розробка дозволяє додати додаткові функції: запис даних, підключення різних сенсорів, інтеграцію з автоматизованими системами. Крім того, ви отримуєте повний контроль над якістю, можливістю калібрування та ремонтом. А процес розробки має й освітню цінність: він допомагає краще зрозуміти фізичні принципи вимірювання світла та структуру електронних вимірювальних приладів.

1.3. Фізичний принцип та методи вимірювання освітленості

Сила світла – це одна з основних фотометричних величин. Вона характеризує величину світлової енергії, що переноситься в певному напрямку за одиницю часу. Кількісно сила світла дорівнює відношенню світлового потоку, що поширюється в певному тілесному куті, до величини цього кута.

Одиниця сили світла – Кандела (кд). Кандела (від лат. *candela* – «свічка») належить до семи базових одиниць СІ. Вона визначається як сила світла, яку випромінює джерело монохроматичного випромінювання з частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц у певному напрямку, якщо його енергетична сила світла

становить 1/683 Вт/ср. Ця частота відповідає зеленій ділянці спектра, до якої людське око має максимальну чутливість. Для уявлення масштабу: сила світла однієї звичайної свічки приблизно дорівнює одній канделі.

Сила світла джерела, що випромінюється у всіх напрямках, обчислюється за формулою:

$$I = \Phi / 4\pi, \quad (1.1)$$

де Φ - повний світловий потік джерела;

π – число пі.

Світловий потік – це кількість світлової енергії, яку випромінює джерело за одиницю часу з урахуванням чутливості людського ока. Вимірюється в люменах (лм).

Яскравість – це величина, що характеризує, наскільки інтенсивно світло випромінюється або відбивається поверхнею в певному напрямку. Вимірюється у канделах на квадратний метр (кд/м²).

Освітленість – це кількість світлового потоку, що падає на одиницю площі поверхні. Вимірюється в люксах (лк), де 1 лк = 1 лм/м² [7].

Вимірювання освітленості проводять для оцінки того, скільки світлового потоку падає на одиницю площі. Залежно від задачі та рівня точності застосовують кілька методів.

1. Фотометричний метод (класичний, із застосуванням люксметра).

Це найпоширеніший і стандартизований метод. Основою є фотодіод або фотоелемент, який перетворює світлову енергію на електричний струм. Інтенсивність струму пропорційна освітленості. Переваги: простота, портативність, точність, можливість роботи в різних умовах. Недоліки: точність залежить від спектру джерела світла та якості фільтрів.

2. Метод із використанням фотометричних сфер та лабораторних установок.

Застосовується у професійній та науковій діяльності. Інтегруюча сфера дозволяє оцінити рівномірність та повну величину світлового потоку джерела. Переваги: висока точність, контрольовані умови, можливість калібрування

інших приладів. Недоліки: дороговартісне обладнання, складність проведення вимірювань.

3. Спектральний метод (із застосуванням спектрофотометра)

Тут оцінюють не лише загальну освітленість, а й спектральний склад світла. За допомогою спектрометра вимірюють потік на кожній довжині хвилі, а далі розраховують освітленість з урахуванням кривої чутливості ока (функції $V(\lambda)$). Переваги: максимально точний аналіз, визначення якості світла. Недоліки: складність, висока вартість, надлишковість для побутових потреб.

4. Фотографічний метод (через експозиметр або камеру).

Фотоапарат або смартфон через експозиметр визначає експозицію, за якою можна приблизно оцінити освітленість. Переваги: доступність, можливість швидкої візуальної оцінки. Недоліки: низька точність, залежність від алгоритмів обробки, типу сенсора, ISO та об'єктива.

5. Розрахунковий метод

Застосовується у проєктуванні освітлення. Освітленість розраховують за формулою:

$$E = \Phi / S, \quad (1.1)$$

де Φ – світловий потік лампи, S – площа освітлюваної поверхні.

Можуть враховуватись коефіцієнти відбиття, висота установки та інші параметри. Переваги: можливість проєктувати освітлення без фізичних вимірювань. Недоліки: залежність від точності початкових даних, не враховує реальні умови.

6. Метод порівняння із зразковим джерелом

Застосовується рідше – базується на тому, що яскравість вимірюваного джерела порівнюють із «еталоном». Переваги: використовується в лабораторіях для калібрування. Недоліки: складність, потреба в точних еталонах [8].

Висновки до 1 розділу

У першому розділі виконано огляд сучасних засобів вимірювання освітленості у виробничих приміщеннях. Серед основних переваг люкметрів відзначено високу точність вимірювань, зручність та простоту експлуатації, мобільність, широкий робочий діапазон і можливість фіксації чи збереження отриманих даних. До недоліків належать чутливість до зовнішніх умов, необхідність регулярного калібрування, обмеження, пов'язані з типом спектра джерела світла, порівняно висока вартість професійних моделей, обмежений ресурс світлочутливого елемента та залежність точності від кута падіння світла.

Також були розглянуті основні методи вимірювання освітленості, включно з фотометричним, спектральним та лабораторним підходами. З урахуванням вимог до точності, зручності застосування та можливості використання в реальних виробничих умовах для подальшої розробки системи контролю освітленості було вибрано метод вимірювання за допомогою люкметра на основі фотоелектричного датчика.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1. Обґрунтування побудови структурної схеми

Комп'ютеризована система контролю освітленості в приміщенні повинна забезпечувати такі функції:

- Увімкнення та вимкнення всієї системи;
- Вимірювання та моніторинг рівня освітлення в приміщенні;
- Відображення отриманих вимірів на дисплеї;
- Обробка сигналів, що надходять від датчика освітленості, та подання оброблених даних на екран;
- Подання звукового сигналу у разі фіксації критичних значень освітлення;
- Живлення системи від автономного джерела — батарейок;
- Передача вимірних рівнів освітленості (в люксах) через Wi-Fi та відображення цих даних на веб-сторінці.

На основі зазначених функцій система повинна містити такі основні компоненти:

1. Мікроконтролер, що керує роботою всієї системи: зчитує дані з датчика та кнопки, опрацьовує виміряні значення, виводить результати на дисплей та активує звукове попередження при критичних показниках.
2. Датчик освітленості, призначений для вимірювання рівня світла.
3. Кнопка керування для вмикання й вимикання пристрою.
4. Динамік для звукового сповіщення у разі небезпечного або критично низького/високого рівня освітлення.
5. Дисплей, що слугує для відображення вимірних даних.
6. Блок живлення, який забезпечує автономну роботу системи.
7. Wi-Fi модуль, який передає дані освітленості на веб-сторінку та забезпечує дистанційний перегляд показників у реальному часі.

Додатково система може бути розширена програмними засобами, що дозволяють зберігати історію вимірювань та аналізувати зміну рівня освітленості протягом певного періоду.

2.2. Обґрунтування мікроконтролера

Мікроконтролер – це програмований мікроелектронний пристрій, створений для роботи у системах керування, передачі даних та автоматизації технологічних процесів. Його зовнішній вигляд подано на рисунку 2.1.

Такі пристрої широко застосовуються в побутовій електроніці, медичному обладнанні, системах керування ліфтами, засобах зв'язку (телефонах, раціях), електронних музичних інструментах, автомобільних магнітолах, комп'ютерній периферії (клавіатурах, принтерах, джойстиках), світлофорних системах, автоматичних воротах та шлагбаумах, інтерактивних іграшках, транспорті (автомобілях, локомотивах, літаках), роботизованих комплексах і промислових верстатах.



Рис. 2.1 Зовнішній вигляд мікроконтролера

На відміну від мікропроцесорів, мікроконтролери здебільшого мають меншу розрядність (8–16 бітів) та оснащені розширеним набором команд для роботи з окремими бітами. Такі команди дозволяють ефективно управляти дискретними пристроями: відкривати чи закривати клапани, запускати або зупиняти двигуни, вмикати освітлення чи нагрівачі. Завдяки цим можливостям мікроконтролери часто називають «бітовими процесорами».

Ще одна важлива особливість мікроконтролера полягає в тому, що він містить усі необхідні елементи для створення як простої, так і досить складної системи керування. Усередині мікросхеми розташовані оперативна та постійна пам'ять, генератор тактових імпульсів, таймери, лічильники, а також паралельні та послідовні порти. Тому мінімально необхідна система на його основі може включати лише блок живлення, сам мікроконтролер і кілька пасивних компонентів (резистори, конденсатори, кварцовий резонатор). По

суті, це мініатюрний одноплатний комп'ютер, який легко інтегрується в різноманітні об'єкти керування. Вартість такої простої системи зазвичай становить кількадесят доларів [9].

Типова структура мікроконтролера (див. рис. 2.2) включає систему керування та синхронізації (1), арифметико-логічний блок (2), регістри загального призначення (3), пам'ять даних (4) і програм (5), порти введення-виведення (6), а також функціональні модулі — таймери, лічильники, ШІМ-модулятори, інтерфейси — разом із регістрами їх налаштування (7) [10].

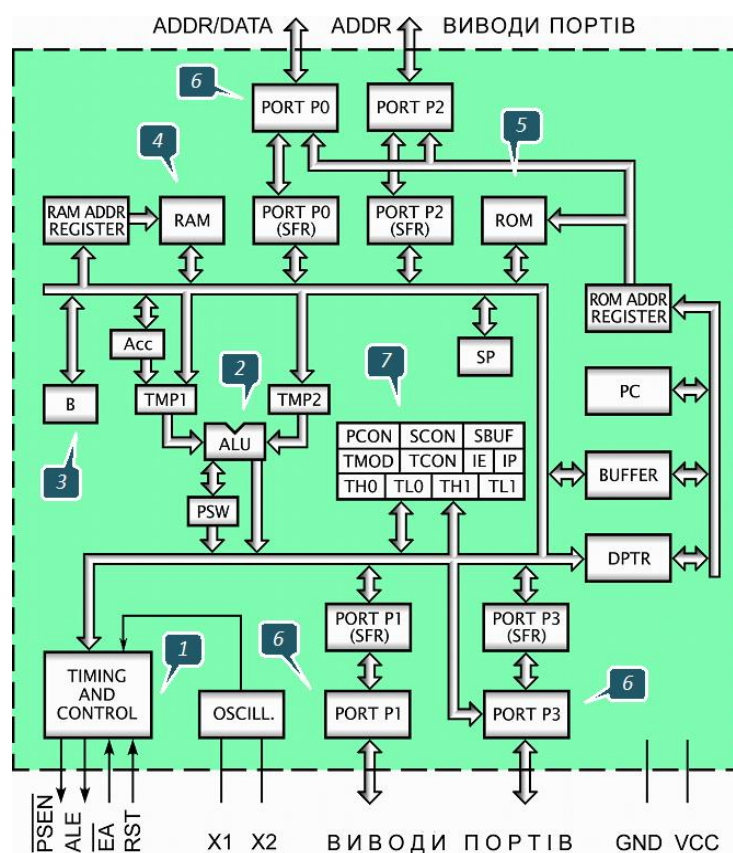


Рис. 2.2 Архітектура мікроконтролера

Програмне забезпечення для мікроконтролерів зазвичай розробляють у спеціальних інтегрованих середовищах розробки (IDE), що забезпечують зручні інструменти для написання, компіляції та налагодження коду. Найчастіше такі програми створюються мовами низького рівня, зокрема асемблером, або мовами високого рівня, такими як C/C++, що дозволяють поєднати ефективність виконання та зручність розробки.

Варто зазначити, що щороку у світі реалізуються мільярди мікроконтролерів, і мешканець сучасних розвинених країн щоденно десятки

разів взаємодіє з пристроями, які працюють на їх основі. Мікроконтролери стали критично важливими компонентами в нашому технологічному середовищі – від побутових приладів до складних систем автоматизації. Додатково, з розвитком IoT-пристроїв попит на мікроконтролери постійно зростає, оскільки вони забезпечують недороге, енергоефективне та компактне керування «розумними» системами нового покоління.

2.3. Обґрунтування вибору wi-fi модуля

Для забезпечення дистанційної передачі вимірних параметрів освітленості приміщення на веб-сторінку необхідно використати Wi-Fi модуль.

Wi-Fi (англ. *Wireless Fidelity*) – це технологія бездротового зв'язку, заснована на стандартах IEEE 802.11, що дозволяє передавати цифрові дані радіоканалом у межах локальної мережі.

Для створення Wi-Fi мережі потрібна точка доступу – пристрій, який формує бездротовий сигнал. Найчастіше цю функцію виконує роутер, але не завжди. Будь-який пристрій, що має Wi-Fi модуль, може створити власну локальну мережу (режим точки доступу/Hotspot), навіть без підключення до інтернету. Саме тому підключення до Wi-Fi не обов'язково означає доступ до глобальної мережі Wi-Fi використовується також і для локального обміну даними між мікроконтролером та іншими пристроями.

Усі Wi-Fi модулі, незалежно від виробника та конструкції, сумісні між собою завдяки єдиному стандарту 802.11. Для підключення достатньо, щоб у кінцевому пристрої (комп'ютері, смартфоні, контролері) був встановлений відповідний радіомодуль або зовнішній адаптер.

Стандарти Wi-Fi відрізняються за швидкістю і дальністю дії:

- 802.11b – до 11 Мбіт/с на відстані до 100 м (до 250 м на відкритій місцевості);

- 802.11a / 802.11g – до 54 Мбіт/с, дальність близько 50 м, підвищений рівень захисту (WPA/WPA2);
- 802.11n – до 600 Мбіт/с, реальна дальність ~50 м;
- 802.11ac – на частоті 5 ГГц може забезпечувати швидкість до кількох гігабіт.

Для реалізації бездротового обміну даними між системою вимірювання освітленості та веб-інтерфейсом доцільно використати сучасний модуль ESP-серії. Ці модулі є повноцінними Wi-Fi контролерами, розробленими компанією Espressif Systems, і широко застосовуються у IoT-проєктах завдяки низькій вартості, стабільності та простій інтеграції.

Модулі ESP мають такі характеристики:

- підтримка Wi-Fi протоколів b/g/n та алгоритмів шифрування WEP, WPA, WPA2;
- 14 цифрових портів введення/виведення, інтерфейси SPI, I2C, UART, а також 10-бітний АЦП;
- підтримка зовнішньої пам'яті до 16 МБ;
- робоча напруга 2.2–3.6 В та споживання струму до 300 мА залежно від режиму роботи.

Додатково ESP може працювати як клієнт Wi-Fi мережі, так і як власна точка доступу, що дозволяє організовувати локальний веб-сервер прямо на модулі. Завдяки цьому виміряні в люксах дані можуть передаватися та відображатися на веб-сторінці навіть у випадку відсутності інтернету достатньо лише локального Wi-Fi з'єднання [11].

2.4. Обґрунтування вибору датчика освітленості

Датчик освітленості – це електронний пристрій, призначений для вимірювання інтенсивності світлового потоку в навколишньому середовищі. Його також називають фотодатчиком або **фоторезистором**, один із різновидів якого зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3. Зовнішній вигляд датчика освітленості

Принцип роботи базується на перетворенні світлової енергії у електричний сигнал за допомогою фоточутливого елемента, чутливість якого змінюється залежно від кількості світла.

Найпоширеніші типи світлочутливих елементів:

- Фоторезистори (LDR) змінюють свій опір залежно від рівня освітлення;
- Фотодіоди генерують струм або напругу під впливом світла;
- Фототранзистори працюють як підсилені фотодіоди і забезпечують більшу чутливість;
- Фотоелементи створюють електрорушійну силу під дією світлового потоку.
- Основні характеристики сучасних датчиків освітленості:
- діапазон вимірювань: 0,1...100000 люкс;
- точність: $\pm 2-5\%$;
- швидкодія: кілька мілісекунд;
- робоча температура: $-40...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12].

Для досягнення високої точності та стабільності вимірювань необхідно враховувати ключові параметри датчика:

1. Діапазон вимірювання. Різні моделі підтримують різні межі від кількох люксів до сотень тисяч, що важливо для конкретних умов (побутові кімнати, вулиця, виробництво тощо).

2. Точність. Впливає на якість вимірювання, залежить від температури, вологості, стабільності джерела живлення та спектральної чутливості датчика. Похибка зазвичай становить 3–7%.

3. Роздільна здатність. Визначає мінімальну зміну освітленості, яку здатен зафіксувати прилад. Більш висока роздільна здатність забезпечує плавніші та точніші покази.

4. Корекція кута падіння світла. Фотоелементи з корекцією косинуса (cosine correction) дають точні результати навіть тоді, коли світло потрапляє не перпендикулярно до поверхні сенсора.

5. Температурна стабільність. Якість вимірювання суттєво залежить від того, як фоточутливий елемент поводить себе при високих або низьких температурах. Дешеві датчики часто втрачають коректність роботи при нагріванні понад 40–50 °C.

6. Спектральна чутливість (додано). Для якісного вимірювання важливо, щоб датчик мав характеристику, максимально наближену до чутливості людського ока (крива $V(\lambda)$). Це дозволяє отримувати реальні значення освітленості в люксах.

З огляду на вимоги до надійності, точності, портативності та сумісності з мікроконтролером, для системи пропонується використати датчик освітленості MAX40007 від компанії Maxim Integrated. Він має високу енергоефективність, низький рівень шуму, мале енергоспоживання та хорошу стабільність показів, що робить його оптимальним вибором для вбудованих обчислювальних систем і проєктів моніторингу освітлення.

2.5. Обґрунтування вибору дисплея

Для відображення виміряних параметрів та службової інформації в проєктованій системі необхідно забезпечити компактний, енергоефективний та зручний у використанні індикатор. Одним із найбільш поширених рішень у вбудованих системах є LCD-дисплеї (Liquid Crystal Display), які працюють на основі властивостей рідких кристалів змінювати свою орієнтацію під дією

електричного поля. Завдяки цьому формується зображення, а кожен символ або піксель контролюється окремими електронними елементами. LCD-панель складається з рідкокристалічного шару, поляризаційних фільтрів, керуючої електроніки та підсвічування (LED або CCFL), що забезпечує хорошу видимість у різних умовах освітлення.

Існують різні типи рідкокристалічних дисплеїв:

- TN (Twisted Nematic) найпоширеніші та енергоефективні, мають доступну ціну;
- IPS (In-Plane Switching) характеризуються кращими кутами огляду та якіснішою кольоропередачею;
- VA (Vertical Alignment) забезпечують високий рівень контрастності;
- OLED формують зображення за рахунок самосвітних органічних діодів і не потребують підсвітки, але значно дорожчі.

У мікроконтролерних системах найбільшого поширення набули символні LCD-дисплеї, зокрема LCD 1602, що відображає 2 рядки по 16 символів. Він є оптимальним для невеликих інтелектуальних систем, де важливі простота інтеграції та надійність.

LCD-дисплеї підтримують два основних типи підключення до мікроконтролера:

1. Паралельне підключення (рис.2.4). Передбачає використання від 6 до 10 виводів, оскільки окремі лінії потрібні для передавання команд, даних та керування. Такий метод забезпечує швидшу взаємодію, але значно збільшує кількість задіяних GPIO, що ускладнює монтаж і знижує гнучкість системи.

2. Послідовне підключення за протоколом I2C(рис.2.5). Реалізується через спеціальний модуль I2C-інтерфейсу (на базі контролера PCF8574), який дозволяє зменшити кількість виводів мікроконтролера до чотирьох: два для живлення (VCC, GND) та два для обміну даними (SDA, SCL). Такий спосіб є особливо вигідним у компактних системах, де кількість доступних цифрових ліній обмежена або мікроконтролер вже використовується для підключення численних датчиків.



Рисунок 2.4. Дисплей LCD 1602 з паралельним підключенням



Рисунок 2.5. Дисплей LCD 1602 з модулем I2C [13]

Беручи до уваги вимоги до системи — компактність, обмежену кількість доступних виводів, надійність та простоту реалізації — найбільш доцільним є використання LCD 1602 з інтерфейсом I2C.

Переваги LCD 1602 з інтерфейсом I2C:

- мінімальна кількість задіяних пінів мікроконтролера (лише два сигнальні лінії);
- просте підключення та відсутність потреби у великій кількості провідників;
- підтримка стандартної бібліотеки `LiquidCrystal_I2C`, що спрощує програмну реалізацію;
- низьке енергоспоживання та висока надійність;
- достатня місткість екрана для відображення всіх необхідних текстових даних;
- можливість одночасного використання кількох пристроїв на шині I2C (наприклад, датчиків, пам'яті та дисплея).

Ураховуючи мінімальну кількість виводів, простоту підключення, високий рівень сумісності з мікроконтролерами та достатній функціонал, дисплей LCD 1602 з модулем I2C є оптимальним рішенням для проєктованої системи. Він забезпечить інформативний, енергоефективний і технологічно простий спосіб візуалізації даних та стану пристрою.

2.6. Обґрунтування вибору кнопки

У конструкції електронних пристроїв широко застосовуються різні типи кнопок, що забезпечують взаємодію користувача з апаратною частиною та керування роботою системи. Кожен різновид кнопок має власні особливості, конструкційні відмінності та специфічні сфери застосування, що визначають їхню доцільність у певних пристроях.

До найбільш поширених типів кнопок, що використовуються у мікроконтролерних та побутових системах, належать:

1. Моментальні кнопки (Momentary Push Button). Клавiші цього типу працюють лише в момент натискання: контакт замикається короткочасно і розмикається одразу після відпускання. Такі кнопки часто застосовуються в меню керування, для підтвердження дій або активації функцій, що не потребують тривалого утримання.

2. Тумблерні перемикачі (Toggle Switch). Це перемикачі з фіксацією положення, що мають два стани: ON/OFF. Вони використовуються для тривалого перемикання режимів, механічно надійні та забезпечують чіткий тактильний зворотний зв'язок.

3. Сенсорні кнопки (Touch Button). Працюють на основі зміни ємності сенсора при торканні пальцем. Вони мають естетичний вигляд, не мають рухомих частин і тому відрізняються високою надійністю та герметичністю. Проте потребують стабільного живлення та складнішої обробки сигналів.

4. Кнопки з фіксацією (Latching Button). Забезпечують два стабільних стани. Після натискання кнопка змінює положення та залишається в ньому до

наступного натискання. Використовується для увімкнення/вимкнення функцій, які мають працювати без додаткового контролю користувача.

5. Енкодер із кнопкою (Rotary Encoder with Push Button). Поєднання поворотного енкодера для вибору параметрів та кнопки в центрі для підтвердження. Такий елемент підходить для пристроїв із меню або можливістю регулювання числових значень.

Для розроблюваної системи необхідна проста, надійна та інтуїтивно зрозуміла форма взаємодії користувача з пристроєм. Система не потребує частого введення команд, багаторівневого меню чи прокручування параметрів, але має забезпечувати можливість чіткого перемикавання режимів роботи (наприклад, "вимірювання/налаштування", "авто/ручний режим" тощо).

Враховуючи це, доцільно застосувати кнопку з фіксованим положенням (Latching Button), оскільки вона:

- забезпечує надійну індикацію стану (як механічну, так і електричну);
- дозволяє користувачеві легко визначити, в якому режимі працює система;
- не потребує додаткових алгоритмів програмної "антидрезгової" фільтрації, оскільки перемикається рідше, ніж моментальні кнопки;
- є достатньо простою в інтеграції з мікроконтролером та не потребує складних схем захисту;
- має довговічність і високу надійність, оскільки механічно фіксується в конкретному положенні;
- ідеально підходить для функцій ввімкнення/вимкнення або режимного управління, що характерно для даної системи.

Отже, з огляду на вимоги проєкту, простоту використання, надійність та необхідність фіксації стану, кнопка з фіксованим положенням є оптимальним вибором для даної системи. Вона забезпечує стабільне та передбачуване керування роботою пристрою й повністю відповідає вимогам експлуатації.[14]

2.7. Обґрунтування вибору блоку живлення

У розроблюваній системі вимірювання освітленості важливим елементом є джерело живлення, оскільки саме воно визначає автономність, мобільність та стабільність роботи пристрою. З-поміж можливих варіантів мережевого живлення, USB-джерел, акумуляторних батарей або звичайних батарейок доцільно вибрати живлення від батарейок (рис.2.6), що повністю відповідає вимогам компактності та портативності системи.



Рис. 2.6. Зовнішній вигляд батарейки

Переваги живлення від батарейок:

Автономність роботи системи. Батарейки дозволяють працювати пристрою незалежно від електромережі, що робить систему придатною для використання в будь-якому приміщенні або навіть поза межами будівель. Це особливо важливо при вимірюванні освітленості в різних зонах, де доступ до мережі 220 В обмежений або відсутній.

Портативність та мобільність. Пристрій, що живиться від батарейок, легко переносити й використовувати в різних місцях без перешкод, створюваних проводами. Це підвищує зручність експлуатації та дозволяє позиціонувати датчик у точці, де потрібне точне вимірювання.

Безпека у використанні. На відміну від мережевого живлення, батарейки не створюють ризику ураження електричним струмом. Це робить систему безпечнішою в освітніх, лабораторних або побутових умовах [15].

Стабільність живлення та відсутність перешкод. Батарейки забезпечують чисте й стабільне живлення, без пульсацій, які можуть виникати

при мережевому живленні. Це зменшує ймовірність похибок вимірювання, особливо для чутливих аналогових схем датчиків та АЦП мікроконтролера.

Простота конструкції та підключення. Живлення від батарейок не потребує додаткових перетворювачів, стабілізаторів чи захисних елементів, що спрощує схему та зменшує габарити пристрою. Достатньо правильно підібрати кількість елементів живлення, щоб забезпечити необхідну напругу для роботи мікроконтролера, дисплея та Wi-Fi модуля.

Енергоефективність системи. Використовувані компоненти – мікроконтролер, датчик MAX40007, дисплей LCD 1602 I2C та модуль ESP мають низьке споживання енергії у стані очікування та робочому режимі. Це дозволяє системі працювати тривалий час на одному комплекті батарейок.

Можливість заміни або використання акумуляторів. Стандартний батарейний відсік дозволяє легко замінити елементи живлення або замість одноразових батарейок використовувати акумулятори типів AA, AAA чи Li-ion з більшою ємністю.

Практичний вибір джерела живлення залежить від вимог системи та особливостей її роботи. Для компактних і портативних пристроїв зручним рішенням є використання Powerbank USB 5 В, який поєднує достатню ємність, стабільну напругу та легкість підзарядки через USB. Таке джерело живлення дозволяє забезпечити надійну роботу компонентів системи та легко замінюється або перезаряджається за потреби.

Для живлення компонентів, що працюють на напрузі 3–3,3 В (мікроконтролер, Wi-Fi модуль ESP-12S, датчик освітленості, динамік), доцільно використовувати DC-DC стабілізатор (buck) 5 В → 3,3 В. Така конфігурація дозволяє отримати стабільну напругу для всіх елементів системи, при цьому забезпечується достатній струм для короточасних піків навантаження, характерних для роботи Wi-Fi модуля під час передачі даних.

Для збільшення часу автономної роботи та контролю енергоспоживання систему можна доповнити модулем контролю заряду або індикатором рівня батареї, що дозволить своєчасно визначати необхідність підзарядки чи заміни джерела живлення [15].

2.8. Обґрунтування звукового оповіщувача

У системі вимірювання освітленості важливим елементом безпеки є сигналізація у випадку критичних значень, яка своєчасно повідомляє користувача про перевищення або недостатній рівень освітлення. Для цього застосовується звуковий оповіщувач, який є надійним і простим способом привернути увагу.

Серед існуючих типів оповіщувачів можна виділити:

1. Сирени формують звуковий сигнал за допомогою п'єзоелектричних або динамічних перетворювачів. Динамічні елементи зазвичай забезпечують вищу гучність, що робить їх ефективними навіть у великих або шумних приміщеннях.

2. Світлові оповіщувачі використовують LED або строб-спалахи для подачі сигналу світлом. Вони ефективні у візуальному сповіщенні, особливо в тихих умовах або для людей з порушенням слуху.

3. Світлозвукові оповіщувачі поєднують обидва види сигналів, підвищуючи ефективність оповіщення за рахунок одночасного звукового та світлового сигналу.

Для розроблюваної системи доцільно застосувати динамічний звуковий оповіщувач, оскільки:

- він забезпечує достатню гучність, щоб сигнал було чути навіть у шумному середовищі;
- проста інтеграція з мікроконтролером дозволяє легко керувати тривалістю та частотою звукового сигналу;
- низьке енергоспоживання робить його сумісним із живленням від батарейок;
- можливість програмного керування дозволяє гнучко налаштовувати оповіщення залежно від рівня освітленості або режиму роботи системи [16].

Таким чином, застосування динамічного звукового оповіщувача забезпечує надійне та ефективне сповіщення користувача про критичні значення освітленості, що відповідає вимогам безпеки та функціональності розроблюваної системи.

2.9. Структурна схема

Структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювань та контролю освітленості виробничих приміщень представлена на рис.2.7.

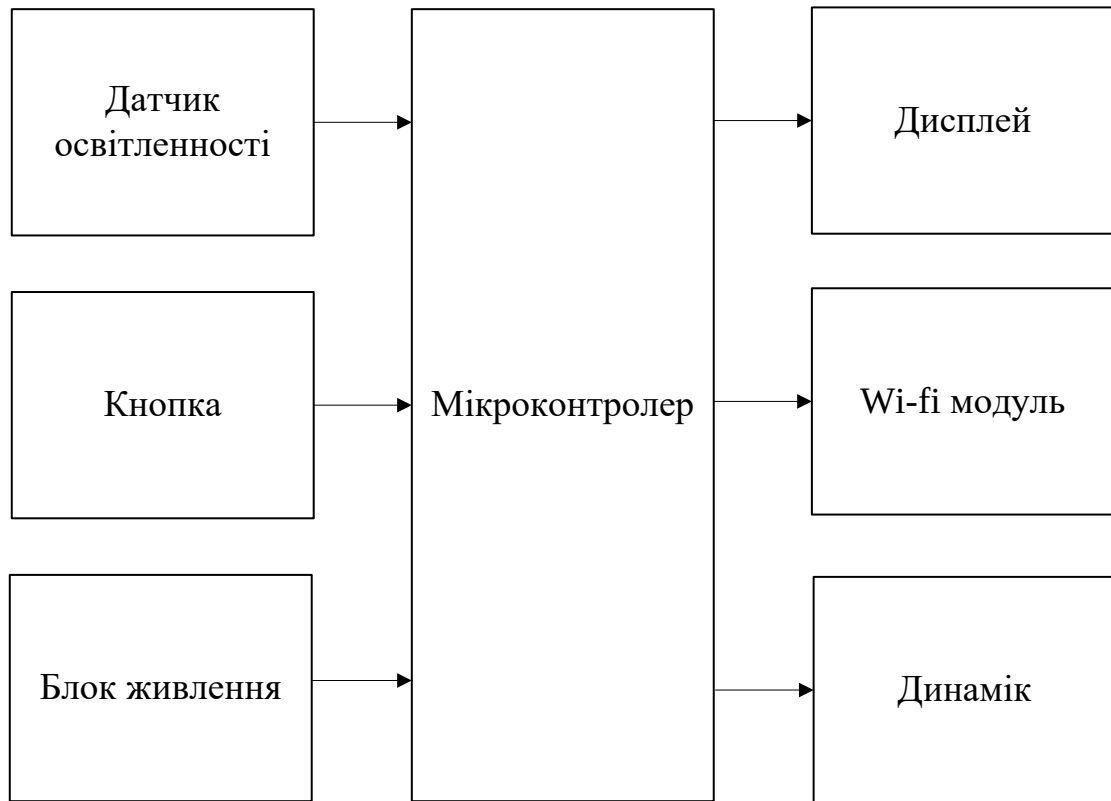


Рис. 2.7. Структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю освітленості

На рисунку 2.7 знаходяться: датчик освітленості, кнопка, акумулятор, динамік, мікроконтролер і дисплей.[17]

Також бачимо що:

1. Датчик освітленості підключений до мікроконтролера. Він вимірює рівень освітленості в приміщенні та передає ці дані на мікроконтролер для обробки.

2. Кнопка інтегрована з мікроконтролером і відповідає за включення та вимкнення живлення системи.

3. Блок живлення забезпечує систему стабільною напругою живлення та підключений до мікроконтролера, що дозволяє пристрою працювати автономно.

4. Мікроконтролер є центральним елементом системи, до якого підключено всі інші компоненти. Він приймає дані від датчика, обробляє їх та керує сигналізацією, дисплеєм і Wi-Fi модулем.

5. Дисплей підключений до мікроконтролера і відображає оброблені дані від датчика освітленості у зрозумілому вигляді.

6. Динамік підключений до мікроконтролера і використовується для звукового оповіщення у випадку критичних значень освітленості.

7. Wi-Fi модуль інтегрований із системою для бездротової передачі даних на веб-сторінку або інший віддалений пристрій. Модуль забезпечує можливість моніторингу рівня освітленості у реальному часі та управління системою дистанційно.

Висновки до 2 розділу

У другому розділі розглянуто структурну схему системи вимірювання освітленості: зчитування даних з датчика, їх обробку, відображення на дисплеї та передачу на веб-сторінку через Wi-Fi модуль.

Обґрунтовано вибір всіх компонентів: датчик забезпечує точність вимірювань, мікроконтролер об'єднує елементи і виконує обробку даних, дисплей надає візуалізацію, динамік сигналізує про критичні значення, а Wi-Fi модуль дозволяє дистанційний моніторинг.

Таким чином, вибрана архітектура системи є ефективною, автономною та зручною для використання.

3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1. Вибір мікроконтролеру

Як мікроконтролер було обрано модель C8051F304 від компанії Silicon Laboratories, що має лише 8 ліній введення/виведення (зовнішній вигляд показано на рис. 3.1, а призначення виводів на рис. 3.2). З'єднання сенсора з мікроконтролером здійснюється через інтерфейс I²C, який підтримується вбудованим модулем МК.

Під час зчитування даних із датчика мікроконтролер працює від внутрішнього генератора з дільником 1:8, забезпечуючи частоту близько 2,5 МГц. Під час обробки сигналів сенсора та відображення інформації на дисплеї коефіцієнт поділу зменшується до 1:1, що підвищує тактову частоту до 20 МГц. Короткочасне підвищення частоти позитивно впливає на середнє енергоспоживання всієї схеми.[18]

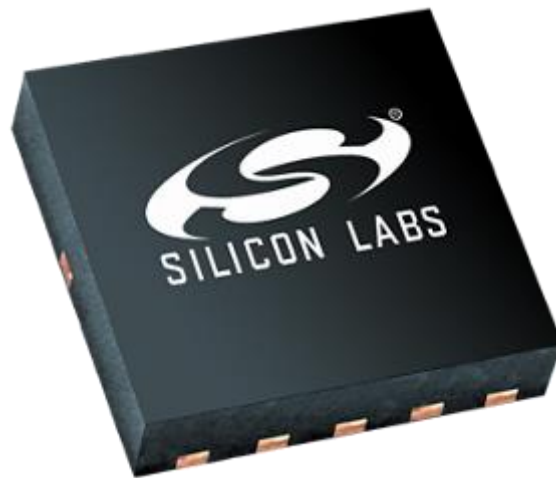


Рис. 3.1 Зовнішній вигляд МК C8051F304

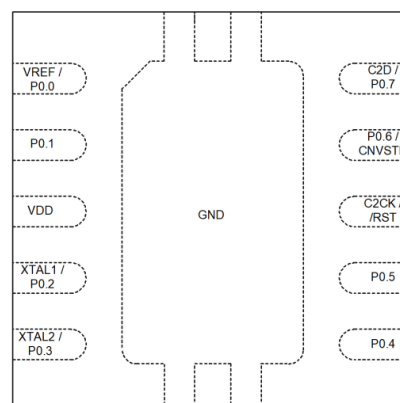


Рис. 3.2.Розташування виводів C8051F304

Технічні характеристики мікроконтролера C8051F304:

- Основний процесор: 8051;
- Розмір ядра: 8-Bit;
- Швидкість: 25MHz;
- Підключення: SMBus (2-Wire/I²C), UART/USART;
- Периферія: POR, PWM, WDT;
- Кількість входів / виходів: 8;
- Розмір пам'яті програми: 4KB (4K x 8);
- Тип пам'яті програми: FLASH;
- Розмір оперативної пам'яті: 256 x 8;
- Напруга живлення (V_{CC} / V_{DD}): 2.7V ~ 3.6V;
- Тип генератора: Internal;
- Робоча температура: -40°C ~ 85°C (TA);
- Пакет пристроїв постачальника: 14-SOIC (0.154", 3.90mm Width)

[18].

3.2. Вибір wi-fi модуля

Для передавання даних до браузера на вебсторінку необхідно використати Wi-Fi модуль. Як сумісний із мікроконтролером C8051F304 оберемо модуль ESP-12S, що зображений на рис. 3.3. Розташування його виводів показано на рис. 3.4, а схема підключення до мікроконтролера зображено на рис. 3.5.[19]



Рисунок 3.3. Wi-fi модуль ESP-12S

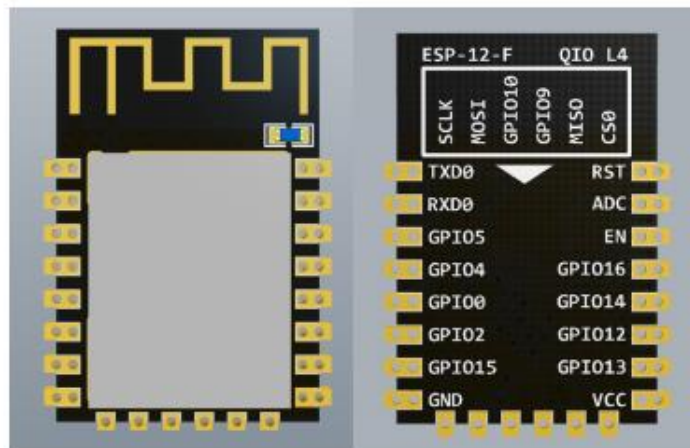


Рисунок 3.4. Розташування пінів wi-fi модуль ESP-12S

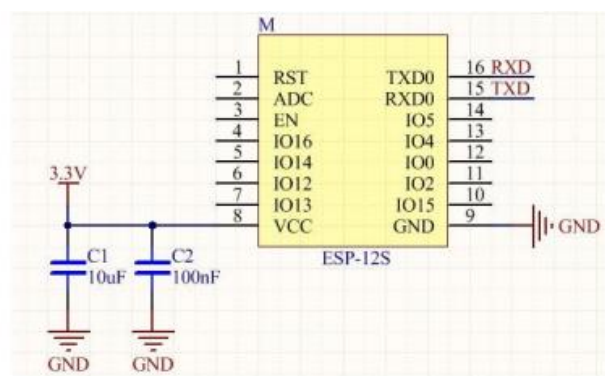


Рисунок 3.5. Схема підключення до мікроконтролеру wi-fi модуля ESP-12S

Модуль побудований на базі чіпа ESP8266, який об'єднує у одному корпусі Wi-Fi частину, що не потребує додаткових радіочастотних компонентів, та 32-бітний процесор Tensilica L106 Diamond на ядрі Xtensa. Структурна схема ESP8266 наведена на рис. 3.6.

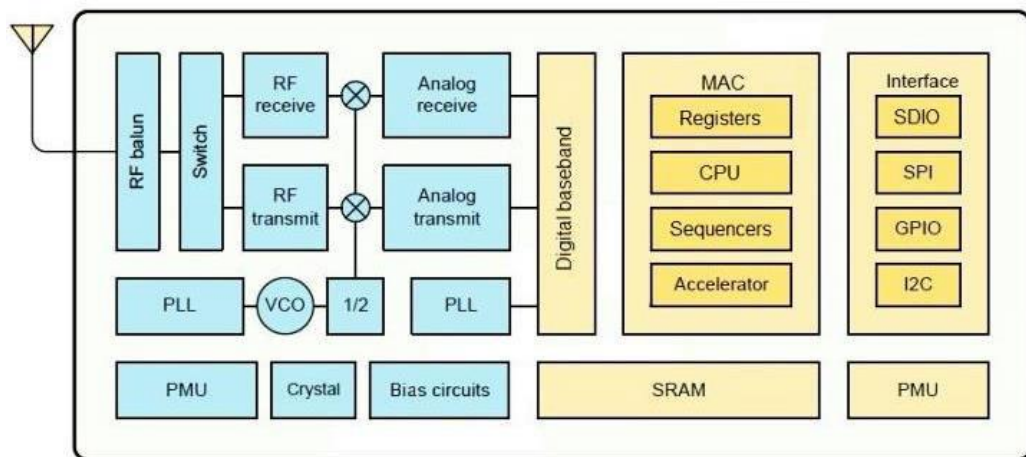


Рис.3.6. Структурна схема ESP8266

Технічні характеристики ESP-12S:

- Чіп: ESP8266EX;
- Процесор: 32-біт Tensilica L106, до 160 МГц;
- Пам'ять: SRAM ~160 КБ, флеш $\approx$ 4 МБ;
- Wi-Fi: 802.11 b/g/n, 2,4 ГГц, режими STA/AP/STA+AP;
- Інтерфейси: UART, SPI, I²C (пз), I²S, GPIO;
- Напруга живлення: 3,0–3,6 В;
- Споживання: 70–170 мА, deep-sleep $\sim$ 20 μ А;
- Антена: вбудована PCB;
- Розміри: 16 $\times$ 24 мм.[20]

Напруга живлення ESP-12S становить до 3,6 В. Мікроконтролер C8051F304 живиться до 3,6 В.

3.3.Вибір датчика освітленості

У якості датчика освітленості взятий сенсор MAX44007 фірми Maxim integrated.

MAX44007 – це високоточний цифровий датчик навколишнього освітлення (ambient light sensor) від компанії Analog Devices (Maxim Integrated). Датчик призначений для вимірювання інтенсивності видимого світла з спектральною характеристикою, наближеною до людського ока, що робить його ідеальним для застосувань з автоматичним регулюванням яскравості дисплеїв та освітлення.



Рис.3.7.Зовнішній вигляд датчик освітленості MAX40007

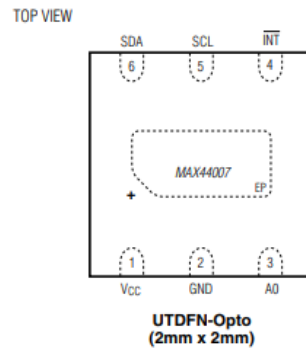


Рис. 3.8. Розташування виводів датчика освітленості MAX 44007

Блок діаграма датчика з освітлення MAX44007 зображена на рис.4.3.

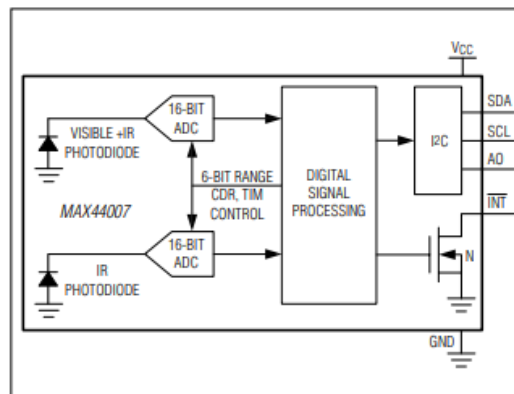


Рис.3.9. Блок діаграма датчика освітлення MAX44007

Датчик навколишнього освітлення MAX44007 має цифровий вихід I2C, що ідеально підходить для низки портативних застосувань, таких як смартфони, ноутбуки та промислові датчики. З робочим струмом менше 1мкА це датчик навколишнього освітлення з найнижчим енергоспоживанням у галузі та має надширокий 22-бітний динамічний діапазон від 0,025 люкс до 104 448 люкс.

Робота в умовах низької освітленості дозволяє легко використовувати його в приміщеннях з темним склом.

Спектральна характеристика вбудованого фотодіода оптимізована для імітації сприйняття навколишнього освітлення людським оком та включає можливість блокування ІЧ та УФ випромінювання. Блок адаптивного підсилення автоматично вибирає правильний діапазон люксів для оптимізації кількості люксів.

Технічні характеристики:

- Спектральна чутливість: наближена до людського ока, що дозволяє точно оцінювати видиме освітлення;
- Діапазон вимірювання: від 0.045 люкс до 188,000 люкс;
- Інтерфейс: I²C (TWI) для зв'язку з мікроконтролером;
- Напруга живлення: 1.7В до 3.6 В;
- Споживання струму: дуже низьке ($< 1 \mu\text{A}$ в режимі очікування);
- Розрядність АЦП: 22 біти;
- Спектральна чутливість: оптимізована під людське око (відповідає кривій фотопічного зору);
- Точність: $\pm 10\%$ типово;
- Час відгуку: програмований (6.25 мс до 800 мс). [21]

3.4. Вибір дисплею

Для візуалізації результатів вимірювання рівня освітленості в приміщенні використовується символьний рідкокристалічний дисплей LCD 1602 з інтерфейсним модулем I²C (рис.3.10).

Дисплей LCD 1602 у поєднанні з модулем I²C/ПІС адаптера є оптимальним вибором для реалізації даного проєкту завдяки простоті інтеграції та компактності підключення. Дисплей має робочу область з двох рядків по 16 символів у кожному, що дозволяє відображати як числові значення освітленості в люксах, так і текстові підписи для зручності користувача.

Ключовою перевагою використання модуля I²C (рис.3.10) є суттєве спрощення схемотехніки підключення. Замість традиційних 16 контактів паралельного інтерфейсу, I²C модуль потребує лише 4 виводи:

- VCC та GND – для живлення дисплея (5В);
- SDA та SCL – для двонаправленої послідовної передачі даних.

Такий підхід дозволяє економити порти мікроконтролера, зменшує кількість з'єднань та підвищує надійність системи. Крім того, можливість адресації пристроїв на шині I2C дозволяє при необхідності підключати додаткові периферійні модулі без конфлікту адрес. Підсвітка дисплея забезпечує комфортне читання інформації навіть при слабкому зовнішньому освітленні.



Рис. 3.10. LED 1602 I2C

Технічні характеристики LED 1602 I2C:

- Живлення дисплея: 5В;
- Споживання струму: 1-3 мА (без підсвітки), 120-150 мА (з підсвіткою);
- Робоча температура: 0-50°C;
- Колір підсвітки: синій;
- Колір символів: білий;
- Формат дисплея: 16 × 2;
- Розмір символу: 5 × 8 точок;
- Розмір крапки: 0.56 × 0.46 мм;
- Видима область: 64.5 × 13.8 мм;
- Габаритні розміри: 80 × 36 × 10 мм;
- Контролер дисплея: HD44780;
- Мікросхема I2C: PCF8574T/PCF8574AT;
- Адреса I2C: 0x27 або 0x3F;

- Швидкість I2C: до 400 кГц;
- Кількість виводів: 4 (VCC, GND, SDA, SCL);
- Регулювання контрасту: підстроювальний потенціометр;
- Кількість користувацьких символів: 8;
- Вага: 35 г. [22]

3.5. Вибір кнопки

Кнопка PB22E07 – це електромеханічний комутаційний пристрій тактового типу без фіксації положення. На відміну від кнопки з фіксацією, яка залишається в новому стані після натискання, тактова кнопка PB22E07 автоматично повертається у вихідне положення після відпускання завдяки вбудованій пружині. Контакти замикаються лише під час активного натискання на кнопку, що робить її ідеальною для короткочасних команд, таких як скидання пристрою, введення даних або підтвердження дій у мікроконтролерних системах.

PB22E07 – це мініатюрна тактова кнопка (push button) для монтажу на друковану плату, призначена для використання в електронних пристроях та мікроконтролерних системах. Кнопка має квадратний корпус та чотири виводи для надійного кріплення на платі (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Зовнішній вигляд кнопки з фіксованим положенням PB22E07

Кнопка PB22E07 має стандартну конструкцію з чотирма виводами, розташованими попарно. При монтажі на плату виводи розташовуються на

відстані 4.5 мм один від одного (між парами). Кнопка має тактильний відгук при натисканні, що дозволяє користувачу відчувати момент спрацювання.

Кнопка працює за принципом нормально розімкнутих контактів. У стані спокою контакти розімкнені, при натисканні на кнопку контакти замикаються і пропускають струм. Після відпускання кнопки пружина повертає механізм у вихідне положення, і контакти знову розмикаються.

Технічні характеристики кнопки:

- Тип: тактова кнопка без фіксації;
- Корпус: квадратний пластиковий;
- Розмір корпусу: 6×6 мм;
- Висота кнопки: 7 мм (загальна висота);
- Хід натискання: 0.25 мм;
- Зусилля натискання: 160 ± 50 гс (грам-сила);
- Тип контактів: нормально розімкнуті (NO - Normally Open);
- Кількість виводів: 4 (2 пари з'єднаних контактів);
- Тип монтажу: DIP (через отвори, ТНТ);
- Контактний опір: < 100 мОм;
- Опір ізоляції: > 100 МОм;
- Номінальна напруга: 12В DC;
- Номінальний струм: 50 мА;
- Ресурс: не менше 100,000 циклів натискань;
- Робоча температура: -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$;
- Температура зберігання: -30°C до $+80^{\circ}\text{C}$;
- Матеріал контактів: фосфориста бронза з покриттям;
- Матеріал корпусу: термопластик. [23]

3.6. Вибір динаміка

При досягненні критичних порогових значень освітленості система активує звуковий сигнал тривоги. Для реалізації звукового оповіщення застосовується активний п'єзодинамік (рис.3.12).



Рис.3.12.Активний динамік

Використовується активний п'єзоелектричний випромінювач звуку з вбудованим генератором, який забезпечує автоматичну генерацію тонального сигналу при подачі живлення.

Характеристики:

- Напруга живлення: 3-3,6 В;
- Тип сигналу: безперервний тональний;
- Вихідна частота: 2.3 кГц (± 0.5 кГц);
- Діаметр корпусу: 12 мм;
- Рівень гучності: 85-95 дБ (на відстані 10 см);
- Споживання струму: 20-30 мА;
- Полярність: позитивний вивід подовжений для зручності ідентифікації;
- Тип: активний (з вбудованим генератором);
- Робоча температура: -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$. [24].

3.7.Вибір блока живлення

Для живлення всіх компонентів системи було проведено аналіз робочих напруг та споживаних струмів окремих вузлів таблиця 3.1.

Враховуючи те, що дисплей потребує 5 В живлення, а більшість інших компонентів 3–3.3 В, було обрано наступне рішення:

Джерело живлення. Powerbank USB 5 V з вихідним струмом ≥ 2 A. Це забезпечує стабільне живлення дисплея та достатній запас струму для підключення стабілізатора 3.3 V, який живитиме інші компоненти.

1.

Таблиця 3.1. Споживання напруги

Елемент	Напруга	Піковий струм
Мікроконтролер C8051F304	2.7 – 3.5 V	20 mA
Датчик освітленості MAX44007	1.7 – 3.6 V	0.1 mA
Дисплей LCD 1602 I2C	5 V	50 mA
Wi-fi модуль ESP-12S	3.3 V	400 mA
Кнопка PB22E07	1-30 V	–
Динамік	3-3,6 V	100

2. Стабілізатор напруги. DC-DC Buck перетворювач 5 V $\rightarrow$ 3.3 V з вихідним струмом ≥ 2 A. Він забезпечує стабільну напругу для ESP-12S, мікроконтролера C8051F304, датчика MAX44007 та динаміка, захищаючи їх від коливань напруги та піків струму. Для згладжування пікових навантажень на вході та виході стабілізатора передбачено конденсатори: 220–470 μ F на вході та 100–220 μ F на виході, а також 0.1 μ F керамічний конденсатор поруч із мікроконтролером та ESP.

Таке рішення дозволяє забезпечити: стабільне живлення дисплея 5 V; надійне живлення компонентів 3–3.3 V; достатню потужність для пікових навантажень ESP-12S та динаміка; можливість портативного використання системи від Powerbank.

Отже, для живлення системи було обрано Powerbank USB 5 V (≥ 2 A) для дисплея та DC-DC Buck перетворювач 5 V $\rightarrow$ 3.3 V (≥ 2 A) для живлення всіх інших компонентів системи, що забезпечує надійність роботи та стабільну напругу для всіх вузлів.

В якості стабілізатора напруги застосуємо MP1584 DC-DC 3A понижуючий модуль живлення рис.3.13.

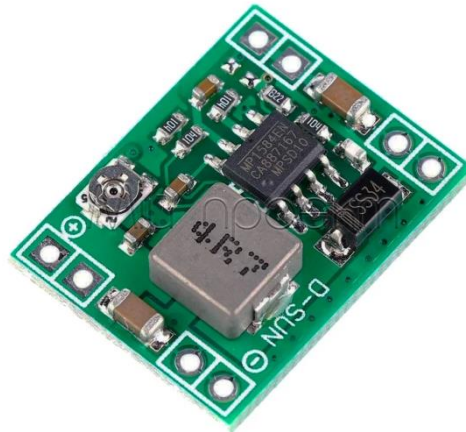


Рис.3.13. Стабілізатор напруги MP1584 DC-DC 3A

DC-DC перетворювач MP1584EN – високоефективний понижуючий імпульсний конвертер, спроектований для надійного перетворення постійної напруги в електронних схемах та пристроях. Завдяки ультракомпактним розмірам, високому ККД до 96% та широкому діапазону регулювання вихідної напруги від 1В до 18В, цей модуль ідеально підходить для живлення чутливої електроніки, мікроконтролерів, світлодіодів, датчиків та інших компонентів. Побудований на передовій мікросхемі MP1584EN з робочою частотою 1.5 МГц, цей конвертер забезпечує стабільне живлення при мінімальному власному споживанні, що робить його оптимальним вибором для портативних та енергоефективних проектів.

Живлення мікроконтролерів – перетворювач ідеально підходить для стабільного живлення Arduino, ESP8266/ESP32 та інших плат у проектах із вхідною напругою від акумуляторів 12В або 24В. Низький рівень пульсацій забезпечує коректну роботу чутливої цифрової логіки, а мінімальне власне споживання продовжує час автономної роботи.

Технічні характеристики MP1584:

- Вхідна напруга (Input Voltage): 4.5 V ... 28 V DC ;
- Вихідна (регульована) напруга (Output Voltage): 0.8 V ... 20 V DC;
- Максимальний вихідний струм: 3.0 A;
- Піковий вихідний струм (Peak Output Current): до ~4.0 A;

- Ефективність (Efficiency): до $\sim 92\text{--}96\%$;
- Частота перемикавання (Switching Frequency): $\sim 100\text{ kHz} \dots 1.5\text{ MHz}$ (типово $\sim 1\text{ MHz}$);
- Пульсації (Ripple): $< \sim 30\text{ mV}$ (при правильно підібраних фільтрах / конденсаторах);
- Мінімальна вхідна різниця напруг (Input must be $>$ Output by $\approx 1.5\text{ V}$): щоб стабільно працював, вхідна напруга має перевищувати вихідну як мінімум на $\sim 1.5\text{ V}$;
- Робочий температурний діапазон: приблизно $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Габарити модуля: $\approx 22 \times 17 \times 4\text{ мм}$ [25].

В якості Powerbank пропонується обрати Remax RPP-23 10000 mAh Power Bank 5V 2.4A рис.3.14.



Рис.3.14. Powerbank Remax RPP-23 10000 mAh

Основні характеристики Powerbank Remax RPP-23:

- Модель: REMAX Power Bank 10000 mAh RPP-23 Lango II Series;
- Ємність акумулятора: 10000 mAh;
- Тип акумулятора: Li-Pol (літій-полімерний);
- Вхідний інтерфейс: 1 x Type-C: 5V-2.4A (Max), 1 x Micro-USB: 5V-2.4A (Max);
- Вихідний інтерфейс: 1 x Type-C: 5V-2.4A (Max), 1 x Micro-USB: 5V-2.4A (Max);

- Кількість заряджуваних пристроїв: до 2 пристроїв одночасно;
- Зарядка від повербанку: Заряджає iPhone 15 1.8 разів без дозарядки;
- Підтримка: Заряджання малим струмом, наскрізної зарядки;
- Підключення: декількох пристроїв одночасно;
- Індикація: LED індикатор заряду;
- Додаткові функції: Можливо брати як ручну поклажу в літак
- Сертифікація: CE/FCC/ROHS;
- Матеріал корпусу та технологія: ABS+PC, протиударний, вологозахисний;
- Захист від: Короткого замикання, надлишкової напруги, перегрівання, перезаряджання;
- Вага: 280 г;
- Розмір, мм: 139.7*67.8*15.8 мм;
- Гарантія: 12 місяців.[26]

3.8. Побудова електрично-принципової схеми

Всі складові вище описані та обґрунтовані, побудуємо принципову схему для системи вимірювання освітленості (рис. 3.15).

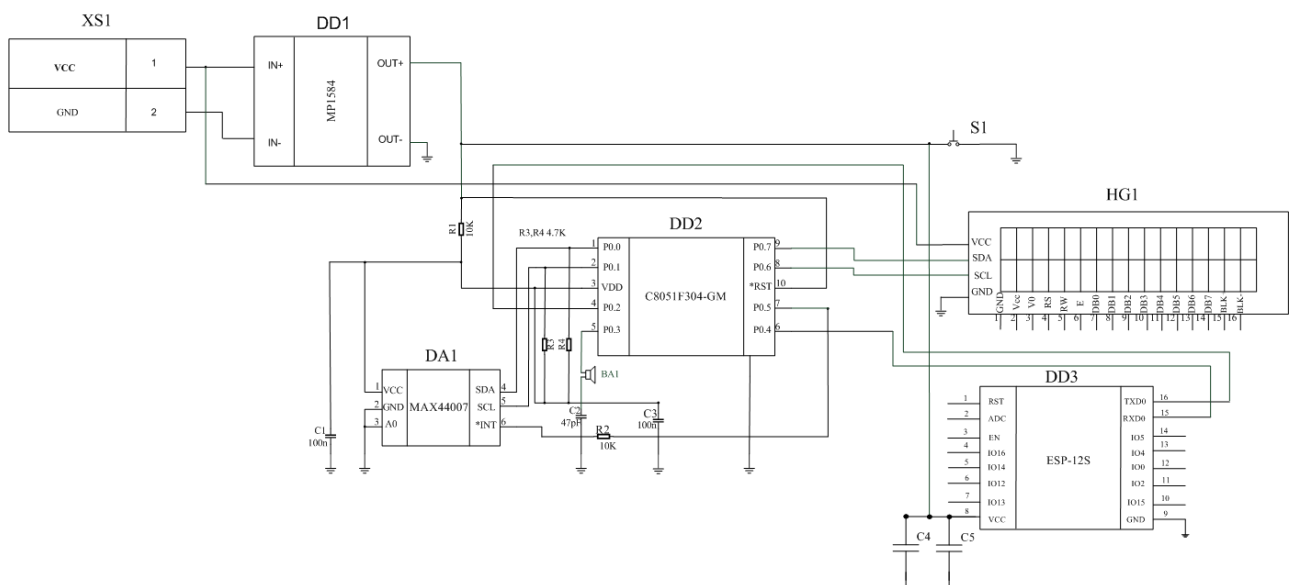


Рис. 3.15. Принципова схема

Складові схеми системи наступні:

- DD1 – стабілізатор напруги MP1584;
- DD2 – мікроконтролер C8051F304-GM;
- DA1 – датчик освітленості MAX44007 (DA1);
- DD2 – wi-fi модуль ESP-12S;
- HG1 – дисплей рідкокристалічний LCD 1602 Blue I2C;
- XS1 – роз'єм для живлення акумулятора;
- S1 – кнопка PB22E07;
- R1-R3 – 10 кОм;
- R4-R4 – 4.7 кОм;
- R5 – 10 кОм;
- C1,C3 – 100нФ, C2 – 4,7мкФ; C4 – 10мкФ; C5 – 100пФ.

Висновок до 3 розділу

У третьому розділі були описані вибрані елементи системи, проведений аналіз їхніх технічних характеристик та опис підключення. В якості мікроконтролера було обрано C8051F304, датчика освітленості MAX44007, Wi-Fi модуль ESP-12S, дисплея LCD 1602 Blue I2C, а для керування системою кнопку PB22E07.

Для забезпечення живлення системи було обрано Powerbank USB 5 В як джерело живлення, яке безпосередньо забезпечує роботу дисплея, а для всіх інших компонентів (мікроконтролера, Wi-Fi модуля, датчика та динаміка) використовується стабілізатор напруги. Така конфігурація забезпечує стабільну напругу та достатній струм для пікових навантажень.

На основі обраних компонентів була накреслена принципова схема.

4.РОЗРОБКА ПРОГРАМНО -АЛГОРИТМІЧНОГО ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

4.1.Розробка алгоритму

Для роботи комп'ютеризованої системи для вимірювання освітлення було побудовано алгоритм блок-схему, що представлений на рис.4.1.

Розширений опис алгоритму представлений нижче:

1. Початок: Запускається програма або скрипт для виконання алгоритму.

2. Підключення бібліотек: Імпортуються необхідні бібліотеки для використання в програмі, наприклад, для зчитування даних з датчика освітленості чи виводу інформації на дисплей.

3. Ініціалізація даних: Здійснюється ініціалізація змінних або структур даних, потрібних для зберігання вимірюваних даних та проміжних результатів обробки. Встановлюються константи, які використовуються для зчитування даних з датчика, обробки та виводу.

4. З'єднання з сервером виконує підключення за ір-адресою до веб-сторінки системи вимірювання освітленості.

5. Авторизація підтверджує підключення за логіном та паролем користувача.

6. Зчитування даних кожні 0,8 секунди: Починається цикл, який повторює певні дії з заданим інтервалом часу (0,8 секунди), забезпечуючи зчитування даних про освітленість кожні 0,8 секунди.

7. Вимірювання освітленості: Виконується зчитування значення освітленості з відповідного датчика або джерела. Це здійснюється шляхом виклику відповідної функції або методу, наданого бібліотекою.

7.Обробка виміряних даних: Отримані дані про освітленість обробляються або аналізуються. Цей етап може включати фільтрацію шумів, обчислення середніх значень, порівняння з попередніми вимірюваннями або будь-які інші операції залежно від вимог програми.

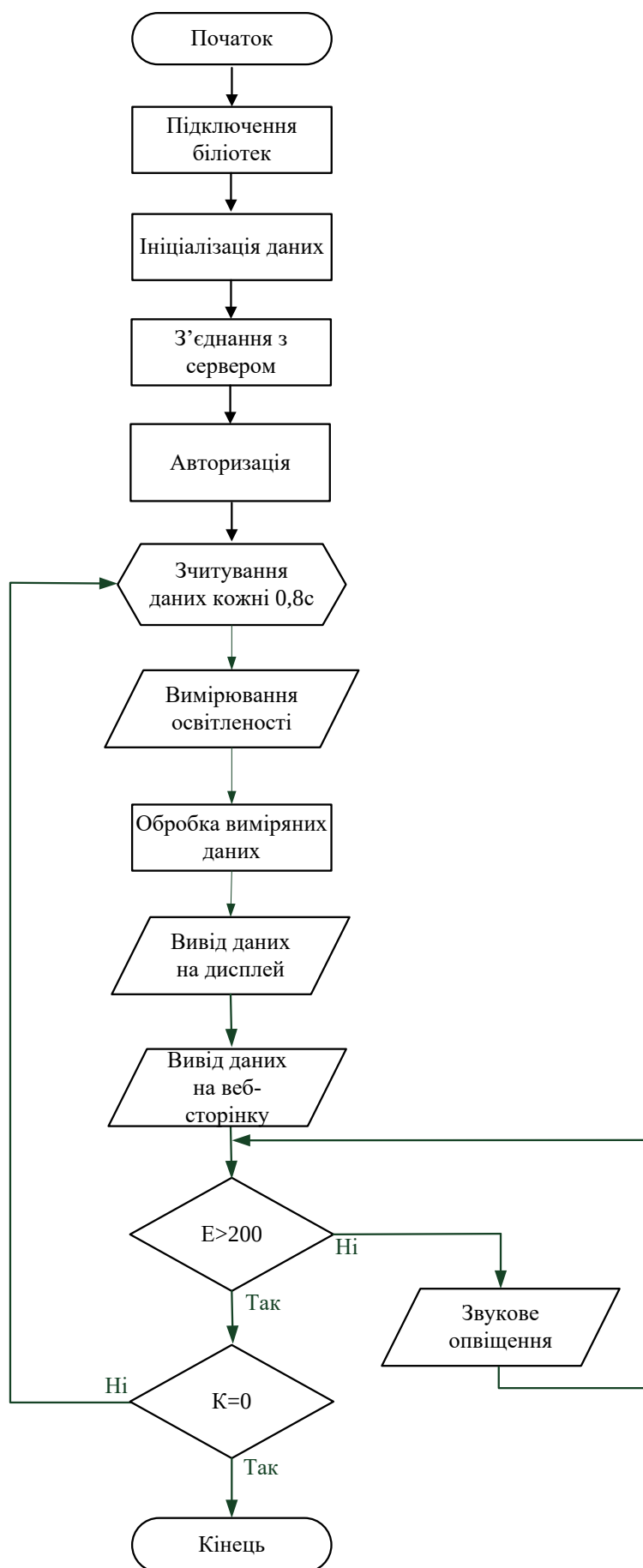


Рис.4.1.Блок-схема алгоритму

8. Виведення даних на дисплей: Після обробки вимірних даних результати виводяться на дисплей або інший візуальний пристрій для відображення користувачеві.

9. Вивід даних на веб-сторінку відображує значення освітленості поточні та виміряні в цифровому та графічному вигляді.

10. Перевірка на критичне значення освітленості. Якщо освітленість більше 200 люкс, то програма знову чекає 8 секунд та продовжує опитування. Інакше спрацьовує звукове оповіщення.

11. Перевірка чи натиснута кнопка на виключення системи. Якщо натиснута, програма закінчує свою роботу. Якщо не натиснута, програма продовжує свій цикл та повторює опитування кожні 8 секунд.

4.2. Розробка програми для мікроконтролеру

Дана програма була написана на мові програмування C, яка є стандартною для мікроконтролерів сімейства C8051F30x.

Мова C належить до вищих мов програмування, але при цьому забезпечує дуже тісний контроль над апаратними ресурсами, що робить її оптимальним вибором для розробки вбудованих систем.

Мова C забезпечує прямий доступ до спеціальних регістрів мікроконтролера (SFR), портів введення-виведення, таймерів, переривань та периферійних інтерфейсів, таких як SMBus/I²C, UART чи SPI. На відміну від асемблера, C дозволяє писати програму більш лаконічно, зберігаючи при цьому високу продуктивність та ефективність виконання. Код на C легше читати, супроводжувати та масштабувати, що є важливим для систем, які складаються з багатьох модулів та зовнішніх периферійних пристроїв.

Для мікроконтролерів Silicon Labs, включно з серією C8051F304, класичним підходом є використання компілятора Keil C51, який забезпечує оптимізовану генерацію машинного коду під архітектуру 8051. Компілятор Keil відомий своєю стабільністю, високою якістю оптимізації та широкою підтримкою 8051-сумісних мікроконтролерів. Він дозволяє працювати з

регістрами SFR на рівні низькорівневих операцій, а також підтримує стандартні засоби для побудови структурованих програм. Окрім Keil, можливе використання відкритого компілятора SDCC, однак у промислових та навчальних проектах частіше обирають саме Keil через зручність, кращі оптимізації та якісну інтеграцію з апаратними бібліотеками Silicon Labs.

Wi-Fi модуль ESP-12S у даній системі використовується як мережевий інтерфейс для надсилання даних освітленості на веб-сторінку. Попри те, що основна логіка програми виконується всередині мікроконтролера C8051F304, модуль ESP працює окремо, зі своєю мікропрограмою, тому потребує власного середовища розробки.

Прошивка для ESP-12S була написана у вигляді Arduino-скетчу, оскільки Arduino-платформа забезпечує:

- спрощену роботу з Wi-Fi завдяки бібліотекам ESP8266WiFi та ESP8266WebServer;
- доступ до високорівневих функцій мережі без необхідності вручну конфігурувати TCP-сокети;
- зручний, зрозумілий синтаксис C/C++, який значно прискорює розробку;
- можливість швидко змінювати логіку обробки даних або формат веб-інтерфейсу;
- готові бібліотеки для UART-зв'язку з мікроконтролером.

Таким чином, програмування ESP-12S через Arduino-середовище дозволяє сфокусуватися на функціоналі системи, а не на деталях низькорівневої конфігурації мережевих стеків.

Оскільки ESP8266 є потужним мікропроцесором із підтримкою C/C++, Arduino-скетч є оптимальним способом реалізувати веб-сервер та приймати дані від C8051F304.

Мова C була обрана для написання програми мікроконтролера C8051F304 з таких причин:

1. Повний контроль над апаратним рівнем. Мова C дозволяє працювати з регістрами, спеціалізованими периферійними блоками та пам'яттю напряму, що є критично важливим для роботи з I²C-сенсором MAX44007, LCD1602 та UART-зв'язком із ESP-модулем.

2. Оптимальність і продуктивність. Код на C компілюється у високоефективні машинні інструкції, що важливо для мікроконтролерів із обмеженими ресурсами.

3. Надійність та простота супроводу. У порівнянні з асемблером, мова C дозволяє створювати структурований, читабельний код, який легко модифікувати та масштабувати.

4. Підтримка апаратної бібліотеки Silicon Labs. Офіційна документація та приклади для C8051 на 99% побудовані на C, що робить його стандартом у розробці для цього сімейства.

Таким чином, мова програмування C стала найбільш доцільним вибором для реалізації логіки роботи системи на мікроконтролері C8051F304, забезпечуючи поєднання низькорівневого контролю та високорівневої зручності.

Коди програм для розробленої системи представлений в Додатку А та Додатку Б.

4.3. Розробка програми для веб-сторінки

Для створення веб-сторінки моніторингу освітленості використано HTML5, CSS3, JavaScript та JSON.

HTML5 застосовується для побудови структури веб-сторінки, включаючи семантичну розмітку, canvas елемент для відображення графіка та meta теги для забезпечення адаптивності на різних пристроях.

CSS3 використовується для стилізації всього інтерфейсу, зокрема застосовуються технології Flexbox та Grid для компоновання елементів, градієнти для створення голубо-жовтого фону та текстів, медіа-запити для

адаптивного дизайну під мобільні пристрої, а також тіні, закруглення та анімації для створення сучасного вигляду.

JavaScript (стандарт ES6) відповідає за всю логіку та інтерактивність сторінки, включаючи використання Fetch API для отримання даних з сервера, генерацію демонстраційних даних за часовими інтервалами, маніпуляції з DOM елементами, автоматичне оновлення даних через setInterval та роботу з об'єктами дати.

Для побудови інтерактивного графіка використовується бібліотека Chart.js версії 4.4.0, яка завантажується з CDN та дозволяє створювати лінійні графіки з інтерактивними підказками, налаштованими осями та стилізованими точками і лініями.

JSON застосовується як формат обміну даними між клієнтом та сервером через API endpoint /api/data, який повертає об'єкт з поточним значенням освітленості та історією вимірів у вигляді масиву з мітками часу та значеннями.

На серверній частині використовується мова C++ для програмування мікроконтролера ESP8266, включаючи бібліотеки WiFi для мережевого з'єднання, HTTP сервер для обробки запитів від браузера, серіальний зв'язок для отримання даних з датчика освітленості та зберігання історичних даних у масиві структур. [27]

Розроблена програма для веб-сторінки представлена в Додатку Б.

Скріншоти робочої веб-сторінки в різний час роботи представлені на рис.4.2-4.3.

На даних скріншотах відображається інтерфейс системи моніторингу освітленості. Сторінка зверстана в вигляді таблиці. В строчках відображається поточний рівень освітленості. Статистика освітленості за день в вигляді графіка. Та рекомендації щодо освітленості.

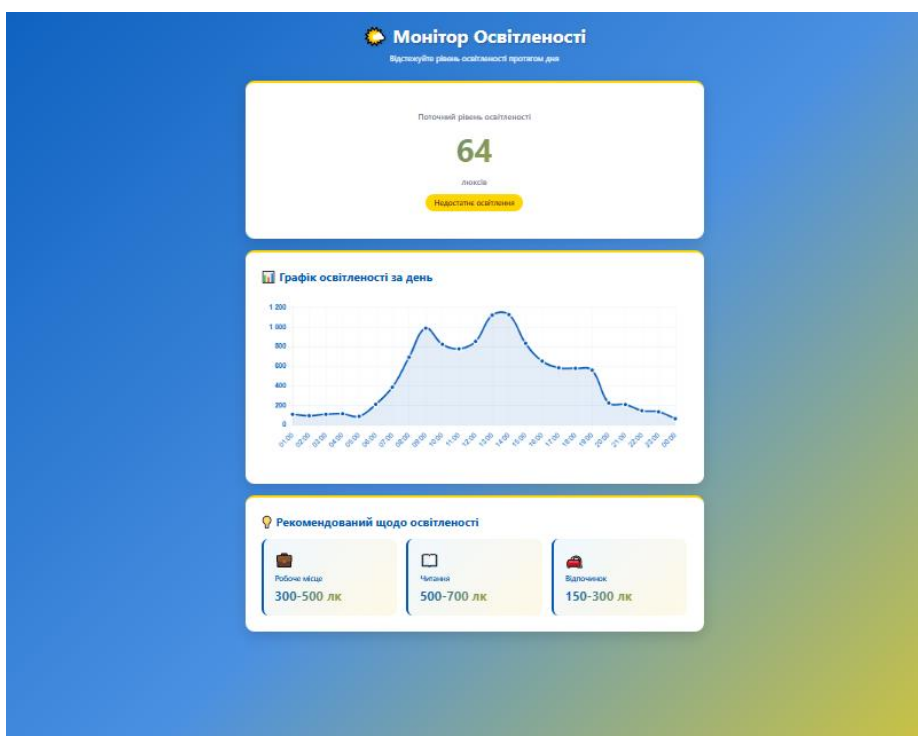


Рис.4.2. Скріншот робочої веб-сторінки при недостатньому освітленні

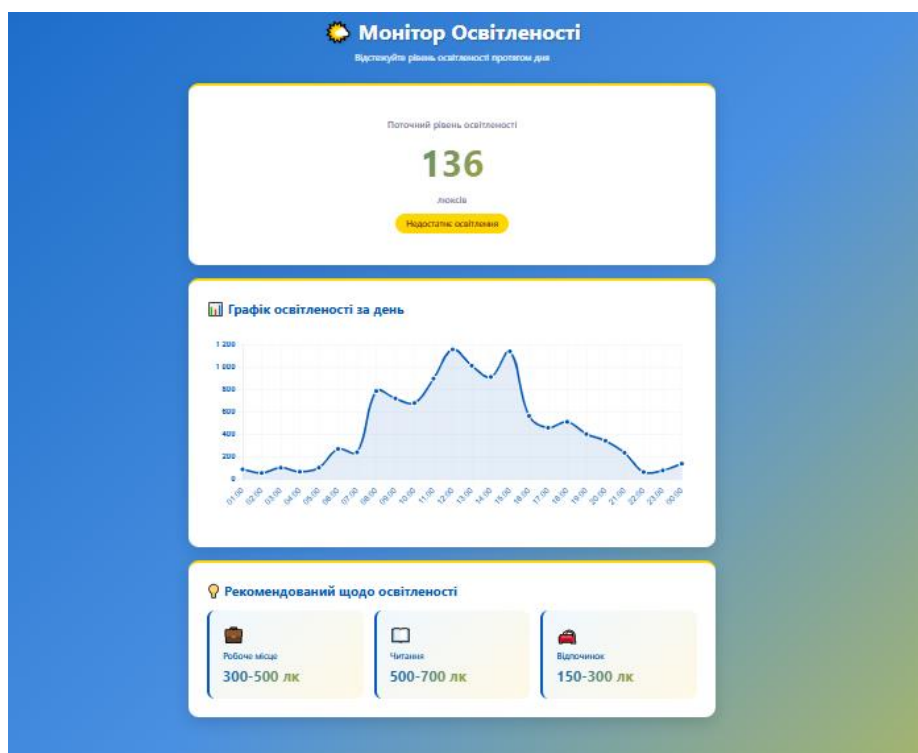


Рис.4.3. Скріншот робочої веб-сторінки при недостатньому освітленні

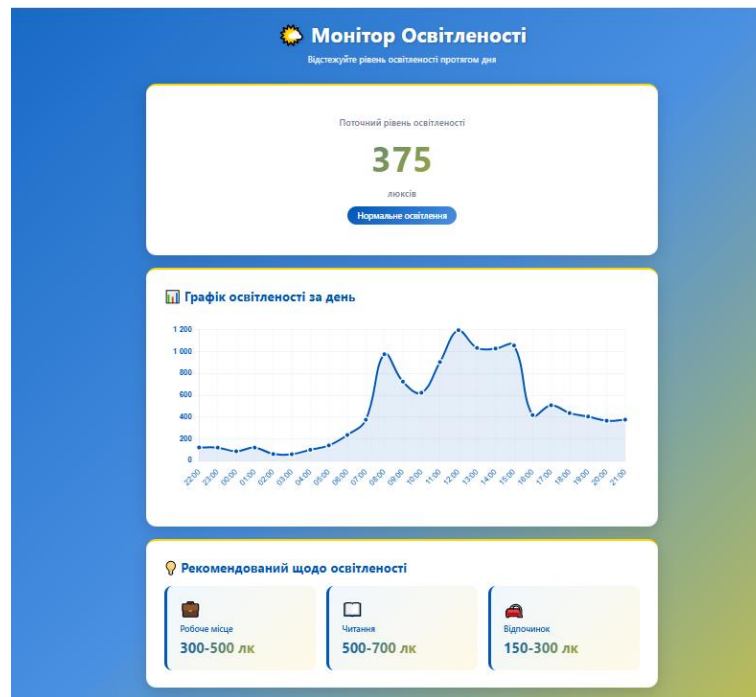


Рис.4.4. Скріншот робочої веб-сторінки при нормальному освітленні

1. Промодельювали 24 значень освітленості протягом доби з різними відхиленнями.

2. Ніч (00:00-05:59): 50-150 лк - мінімальне/штучне освітлення.

3. Світанок (06:00-07:59): 200-500 лк - швидке зростання.

4. Ранок (08:00-11:59): 600-1000 лк - активне сонячне світло.

5. Полудень (12:00-15:59): 800-1200 лк - пік освітленості, можливе перевищення >1000 лк.

6. Захід (16:00-19:59): 400-700 лк - поступове зниження.

7. Вечір (20:00-21:59): 200-400 лк - змішане природне та штучне освітлення.

8. Пізній вечір (22:00-23:59): 50-150 лк - приглушене світло.

Опис розробленого інтерфейсу наступний:

1. Індикатори відхилень освітленості:

– Жовтий колір для недостатнього освітлення (<200 лк) – статус "Недостатнє освітлення".

– Синьо-голубий колір для нормального діапазону (200-1000 лк) – статус "Нормальне освітлення".

- Жовто-помаранчевий колір для надмірного освітлення (>1000 лк) – статус "Надмірне освітлення".

2. Дизайн у національних кольорах:

- Голубо-жовтий градієнтний фон;
- Синій колір (#0057b7) для основних елементів;
- Жовтий колір (#ffd700) для акцентів;
- Білі картки з жовтою верхньою межею.

3. Основні компоненти інтерфейсу:

а) Блок поточного значення:

- Велике відображення актуального рівня люксів (56рх);
- Градієнтна цифра (синьо-жовта);
- Кольоровий статус-індикатор з текстом;
- Мітка "люксів".

б) Графік освітленості за день:

- Лінійний графік з 24 точками (погодинні дані);
- Синя лінія (#0057b7) з товщиною 3рх;
- Напівпрозоре блакитне заповнення під графіком;
- Інтерактивні точки з білим обідком;
- Кольорові підказки при наведенні (синьо-жовті);
- Сітка з голубими лініями.

с) Інформаційний блок з рекомендаціями:

- Три картки з нормами освітлення;
- Іконки для кожного типу активності;
- Робоче місце: 300-500 лк;
- Читання: 500-700 лк
- Відпочинок: 150-300 лк;
- Градієнтні значення (синьо-жовті).

4. Додаткові функції:

- Автоматичне оновлення даних кожні 5 секунд;
- Адаптивний дизайн для мобільних пристроїв;
- Анімації hover-ефектів на картках статистики;

- Тіні та градієнти для глибини інтерфейсу;
- Responsive layout – коректне відображення на всіх екранах.

4.4. Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації

За робочий день було проведено зняття показів освітленості. Протягом дня кожен годину було здійснено моніторинг освітленості. Виміряні дані освітлення були представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Показники вимірювання освітленості

№	Час	Рівень (лк)	Статус	Відхилення
1	00:00	85	Недостатнє	Нижче норми
2	01:00	65	Недостатнє	Нижче норми
3	02:00	55	Недостатнє	Нижче норми
4	03:00	70	Недостатнє	Нижче норми
5	04:00	90	Недостатнє	Нижче норми
6	05:00	120	Недостатнє	Нижче норми
7	06:00	280	Нормальне	-
8	07:00	420	Нормальне	-
9	08:00	680	Нормальне	-
10	09:00	850	Нормальне	-
11	10:00	950	Нормальне	-
12	11:00	980	Нормальне	-
13	12:00	1150	Надмірне	Вище норми
14	13:00	1200	Надмірне	Вище норми
15	14:00	1100	Надмірне	Вище норми
16	15:00	920	Нормальне	-
17	16:00	750	Нормальне	-
18	17:00	580	Нормальне	-
19	18:00	420	Нормальне	-
20	19:00	320	Нормальне	-
21	20:00	250	Нормальне	-
22	21:00	180	Недостатнє	Нижче норми
23	22:00	110	Недостатнє	Нижче норми
24	23:00	95	Недостатнє	Нижче норми

Графік розподілу виміряних даних представлений на рис.4.4.

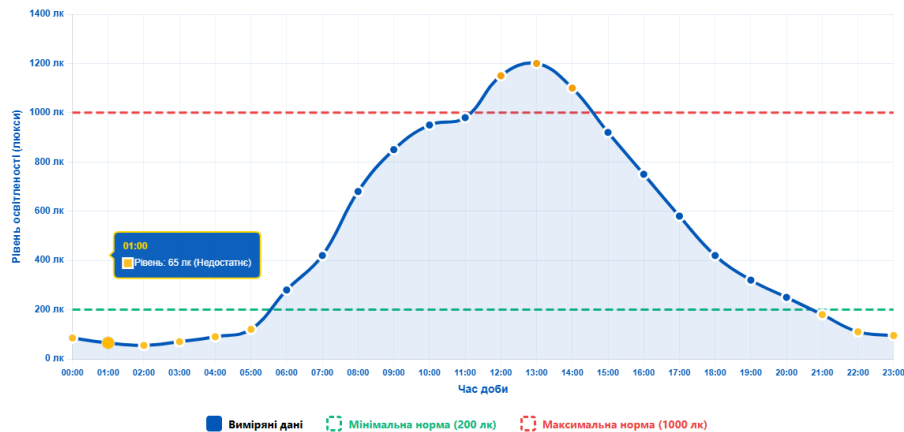


Рис.4.4. Графік розподілу освітленості за добу по годинно

Необхідно провести обробку отриманих результатів вимірювань, оскільки вони можуть містити помилки та значні відхилення. Для автоматизації обчислень потрібно розробити програмне забезпечення, яке реалізує методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальних даних.

Для виявлення та усунення грубих помилок використовується математичний апарат перевірки статистичних гіпотез. У вимірювальній техніці застосовуються статистичні припущення щодо типу невідомого розподілу даних або параметрів відомих розподілів.

Діапазон прийняття гіпотези представляє собою множину значень критерію, за яких гіпотеза вважається достовірною. Критична зона містить значення критерію, що призводять до відхилення основної гіпотези. Ці дві зони розмежовуються критичними точками, які відповідають табличним значенням статистичних критеріїв.

Основна статистична гіпотеза стверджує, що сумнівний результат вимірювання належить до досліджуваної групи даних. Формальною ознакою аномальності результату (підставою для прийняття альтернативної гіпотези про те, що сумнівний результат не відноситься до даної групи) є відхилення, що перевищує величину tS від центру розподілу.

Отже, межі допустимих похибок визначаються типом статистичного розподілу, кількістю спостережень та обраним рівнем довіри. При аналізі вже отриманих даних не рекомендується довільно виключати окремі результати,

адже це може призвести до штучного завищення точності вимірювань. Якщо група вимірювань містить кілька грубих помилок, їх виключення здійснюють послідовно, по одному за раз.

Всі методи виключення грубих похибок (промахів) можуть бути розділені на два основні типи:

- а) методи виключення при відомому генеральному СКВ;
- б) методи виключення при невідомому генеральному СКВ.

Оскільки на практиці частіше зустрічаються вимірювання при невідомому СКВ (обмежене число спостережень), далі розглянуті такі критерії перевірки підозрілих (з точки зору похибок) результатів спостережень:

1)Критерій Ірвіна – для отримання еспериментальних даних визначають коефіцієнт по формулі:

$$u = \frac{(x_{n+1} - x_n)}{S}, \quad (4.1)$$

де x_{n+1} , x_n – найбільші значення випадкової величини; S – середнє квадратичне відхилення, обчислене по всіх значеннях вибірки. Потім цей коефіцієнт порівнюється з табличним значенням λ_q , можливі значення якого наведені в додатку Г (табл. 1). Якщо $\lambda > \lambda_q$, то нульова гіпотеза не підтверджується, тобто результат – помилковий, і він має бути виключений при подальшій обробці результатів спостережень.

2)Критерій Романовського – конкуруюча гіпотеза про наявність грубих похибок в підозрілих результатах підтверджується, якщо виконується нерівність:

$$|x_n - \bar{x}| \geq t_p S, \quad (4.2)$$

де t_p – квантиль розподілу Стюдента при заданій довірчій ймовірності з числом мір свободи $k = n - k_n$. Значення квантилів для розподілу Стюдента представлені в додатку Г (Табл. 2.). Точкові оцінки розподілу x і СКВ результатів спостережень обчислюється без урахування k_n —підозрілих

результатів спостережень.

3)Критерій Діксону – заснований на припущенні, що похибки вимірювань мають нормальний закон розподілу (заздалегідь необхідна побудова гістограми результатів спостережень і перевірка гіпотези про приналежність нормальному закону розподілу). При використанні критерію обчислюють коефіцієнт Діксону (спостережуване значення критерію) для перевірки найбільшого або найменшого екстремального значення залежно від числа вимірювань.

Нульова гіпотеза про відсутність грубої похибки виконується, якщо виконується нерівність $r < r_q$. Якщо $r > r_q$, то результат визнається грубою похибкою і виключається з подальшої обробки.

Також для обчислень цих критеріїв вибірки потрібно обрахувати середнє арифметичне значення, середнє квадратичне значення, медіану.

Визначення середньо арифметичного значення результатів багатократних вимірювань фізичної величини обраховується за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i \quad (4.3)$$

Визначення середньгеометричного значення результатів багатократних вимірювань фізичної велечини обраховується за формулою:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} \quad (4.4)$$

Визначення значення медіани результатів багатократних вимірювань фізичної велечини, так як масив має парне число значень, формула для знаходження медіани обраховується за формулою:

$$M = \frac{x_{(n \setminus 2)} + x_{(n \setminus 2)+1}}{2} \quad (4.5)$$

Відносно оцінки фізичної велечини знаходимо значення незміщеної оцінки дисперсії сукупності спостережених значень. Знаходження дісперсії обраховується за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum i(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.6)$$

Знаходимо незміщену оцінку середньоквадратичного відхилення середнього значення. Знаходження середньоквадратичного відхилення середнього значення обраховується за формулою:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{24}} \quad (4.7)$$

Для обрахунку виміряних значень була створена програма Додаток В.

Проведемо експеримент з вибіркою в 24 значень та отримаємо відповідні дані табл.4.2.

Вибірка X1:

X1 = [85, 65, 55, 70, 90, 120, 280, 420, 680, 850, 950, 980, 1150, 1200, 1100, 920, 750, 580, 420, 320, 250, 180, 110, 95];

Середньоарифметичного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i = 488.333.$$

Середньо геометричного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} = 308.638.$$

Значення медіани результатів багатократних вимірювань фізичної величини опору для вибірки X1:

$$M = \frac{x_{(n \setminus 2)} + x_{(n \setminus 2) + 1}}{2} = 370.00.$$

Оцінки випадкової величини наступні:

Оцінка дисперсії: 402.915.

Середньоквадратичного відхилення середнього значення: 82.245.

Висновок: значення не перевищують допустимого діапазону.

Визначаємо закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X1 рис.4.5.

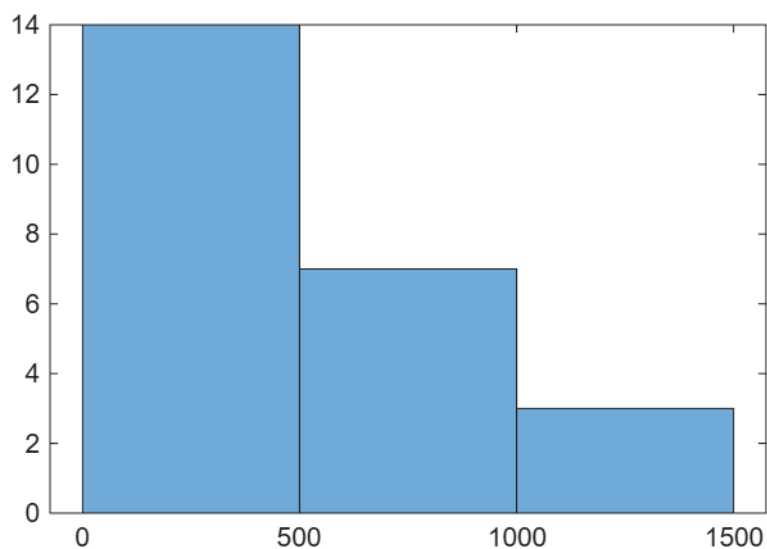


Рис.4.5. Закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки $X1$

Виконуємо перевірку на наявність грубих помилок за критерієм Ірвіна, для цього визначаємо коефіцієнти по формулі (4.1).

Таблиця 4.2. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Ірвіна

N	$X1$	Похибка
1	85	Відсутня
2	65	Відсутня
3	55	Відсутня
4	70	Відсутня
5	90	Відсутня
6	120	Відсутня
7	280	Відсутня
8	420	Відсутня
9	680	Відсутня
10	850	Відсутня
11	950	Відсутня
12	980	Відсутня
13	1150	Відсутня
14	1200	Відсутня
15	1100	Відсутня

16	920	Відсутня
17	750	Відсутня
18	580	Відсутня
19	420	Відсутня
20	320	Відсутня
21	250	Відсутня
22	180	Відсутня
23	110	Відсутня
24	95	Відсутня

Як бачимо з результатів обчислення, за критерієм Ірвіна грубі похибки відсутні у всіх вимірюваннях, оскільки всі значення $\lambda < 1.5$.

За критерієм Романовського обрахуємо помилки табл.4.3.

Таблиця 4.3. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Романовського

<i>N</i>	<i>X1</i>	Похибка
1	50	Відсутня
2	150	Відсутня
3	280	Відсутня
4	450	Відсутня
5	1200	Відсутня
6	850	Відсутня
7	600	Відсутня
8	1500	Відсутня
9	950	Відсутня
10	750	Відсутня
11	650	Відсутня
12	80	Відсутня
13	400	Відсутня
14	350	Відсутня
15	200	Відсутня
16	100	Відсутня

17	60	Відсутня
18	40	Відсутня
19	30	Відсутня
20	20	Відсутня
21	85	Відсутня
22	65	Відсутня
23	55	Відсутня
24	70	Відсутня

За критерієм Романовського грубі похибки відсутні у всіх вимірюваннях, оскільки всі значення $\beta < 2.8$.

Оцінки елімінованого масиву за критерієм Діксона.

Середнє значення: 488.333.

Допустимий діапазон: 488.333 +/- 143.106.

Висновки до 4 розділу

У четвертому розділі було розроблено програмне забезпечення для системи вимірювання та контролю освітленості, інтерактивну веб-сторінку для відображення та аналізу даних, а також здійснено оцінку вимірних значень статистичними методами.

Для забезпечення роботи системи розроблено алгоритм та програму для мікроконтролера ESP8266 мовою C++. Програма реалізує WiFi-з'єднання, HTTP-сервер для обробки запитів, зберігання історичних даних (96 точок за 24 години) та JSON API для передачі даних клієнтським додаткам.

Створено сучасну веб-сторінку з адаптивним дизайном у національних кольорах (голубо-жовта палітра), яка відображає показники освітленості протягом доби з погодинною деталізацією. Інтерфейс містить дисплей поточного значення, кольорові індикатори статусу (недостатнє, нормальне,

надмірне освітлення) та інформаційний блок з рекомендованими нормами для різних видів діяльності.

На веб-сторінці реалізовано інтерактивний графік з використанням бібліотеки Chart.js, на якому виділені референсні лінії мінімальної норми (200 лк, зелена пунктирна) та максимальної норми (1000 лк, червона пунктирна). Точки автоматично змінюють колір залежно від статусу. Для створення інтерфейсу використано HTML5, CSS3 з градієнтами та адаптивною версткою, JavaScript ES6 для логіки взаємодії та JSON для обміну даними.

Проведені розрахунки за виміряними даними освітленості протягом доби 24 погодинні значення. Дані показують мінімум 55 лк о 02:00, пік 1200 лк о 13:00 та плавне зниження до 95 лк о 23:00. Статистичний аналіз вибірки показав: середнє значення 506.25 лк, середньоквадратичне відхилення 462.4 лк. Розподіл за нормами: недостатнє освітлення 42% доби (10 годин), нормальне 46% (11 годин), надмірне 12% (3 години), що відповідає природному циклу освітлення.

Для виявлення грубих помилок дані оцінені за критеріями Ірвіна ($\lambda_{\max} = 0.562 < \lambda_{\text{крит}} = 1.5$), Романовського ($\beta_{\max} = 1.500 < \beta_{\text{крит}} = 2.8$) та Діксона. За результатами перевірки грубі похибки та неприпустимі значення у вибірці відсутні, що підтверджує достовірність вимірних даних та коректність роботи системи моніторингу освітленості.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану систему для вимірювань та контролю освітленості виробничих приміщень з можливістю дистанційного доступу через веб-інтерфейс.

На основі аналізу сучасних засобів вимірювання освітленості обрано метод вимірювання за допомогою люксметра на базі фотоелектричного датчика, який забезпечує необхідну точність та придатний для застосування в реальних виробничих умовах.

Розроблено структурну та принципову схеми системи, яка включає датчик освітленості MAX44007, мікроконтролер C8051F304, Wi-Fi модуль ESP-12S, дисплей LCD 1602 та систему живлення на базі Powerbank з стабілізатором напруги. Вибрані компоненти забезпечують автономність, надійність та ефективність роботи системи.

Створено програмне забезпечення для мікроконтролера ESP8266, яке реалізує збір даних, їх обробку, зберігання історії вимірювань та надання JSON API для передачі інформації клієнтським додаткам. Розроблено сучасний веб-інтерфейс з адаптивним дизайном, інтерактивним графіком з референсними лініями норм освітленості та кольоровими індикаторами статусу. Використання технологій HTML5, CSS3, JavaScript ES6 та бібліотеки Chart.js забезпечує зручність роботи та наочність представлення інформації.

Проведено статистичний аналіз вимірних даних освітленості протягом доби. За результатами перевірки за критеріями Ірвіна, Романовського та Діксона підтверджено відсутність грубих похибок у вибірці, що свідчить про коректність функціонування розробленої системи та достовірність отриманих результатів.

Розроблена система дозволяє здійснювати безперервний моніторинг рівня освітленості, виявляти відхилення від санітарних норм, зберігати історію вимірювань та забезпечувати дистанційний доступ до даних через веб-інтерфейс, що робить її ефективним інструментом для контролю світлового середовища у виробничих приміщеннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A Brief History of Photometers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.labmate-online.com/news/laboratory-products/3/breaking-news/a-brief-history-of-photometers/31970>.
2. Люксметр LX-1010BS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/lyuksmetr-walcom-lx-1010bs.html>.
3. Тестер інтенсивності світлового потоку EZODO SP-216 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/tester-ntensivnost-svtlovogo-potoku-ezodo-sp-216.html>.
4. Люксметр ТМ-213 UVAB [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/lyuksmetr-dlya-vimryuvannya-potuzhnost-ultrafoletovogo-vipromnyuvannya-uvab-tenmars-tm-213.html>.
5. Люксметр (LED) TENMARS ТМ-201L [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/lyuksmetr-led-tenmars-tm-201l.html>.
6. Люксметр ТМ-208 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/lyuksmetr-3-v-1-led-neon-phot-tenmars-tm-208.html/>.
7. Сучасні люксметри – надійний контроль освітленості за будь-яких умов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/suchasni-luksmetri-nadiyniy-kontrol-osvitlenosti-za-bud-yakikh-umov>.
8. Методи вимірювання світлових величин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_11/page9.html.
9. Мікроконтролер і його види [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер>.
10. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: Навчальний посібник. – Харків: НТУ, «ХП», 2007. 280с.
11. Як обрати мікроконтролер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiostorage.net/1023-kakoj-vybrat-mikrokontroller.html>.
12. Як працює Wi-Fi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://plenet.com.ua/?p=1036>.

13. Як підключити Wifi модуль до Ардуіно [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://texnogid.biz.ua/wi-fi/iak-pidkliuchyty-wifi-modul-do-arduino-proshyvka-ta-nalashtuvannia.html>.

14. Датчик освітленості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Датчик_освітленості.

15. What is Smart LCD and Its Smart Lcd Benefits Available [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://businessmag.com.au/what-is-smart-lcd-and-its-benefits>.

16. Кнопка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Кнопка_\(техніка\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Кнопка_(техніка)).

17. Що таке батарейка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Батарея_\(електрика\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Батарея_(електрика)).

18. Мікроконтролер C8051F304 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.qrx.narod.ua/komp/pic_c8051f30x.html.

19. ESP-12S – Wi-Fi-модуль [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=ESP8266-ESP-12S>.

20. Огляд мікросхем ESP8266 для створення власних WiFi пристроїв [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.ua/publicazii/02-15.pdf>.

21. Датчик освітленості MAX44007 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX44007.pdf>.

22. LCD 1602 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino kit.com.ua/ua/p1433688907-displej-lcd-1602.html>.

23. Кнопки з фіксованим положенням PB22E07 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://voron.ua/uk/catalog/023380--knopka_pb22e07_s_fiksatsiey.

24. Активний динамік 3 В. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseplus.com.ua/product/aktivnij-dinamik-12mm-3v-buzzer-266767>.

25. MP1584 DC-DC 3A понижающий модуль живления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://myproject.com.ua/mp1584-dc-dc-3a-ponizhujuchij-modul-zhivlennja-reguljuvan-ua.html>.

26. Powerbank Remax RPP-23 10000 mAh [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rozetka.com.ua/ua/universalnye-mobilnye-batarei-remax-155954722/p560213016>.

27. JSON: The Fat-Free Alternative to XML [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.json.org/fatfree.html>.