

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-2м

Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Казмірчук Віталій Миколайович

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор

Подчашинській Юрій Олександрович

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

Рецензент:

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

Житомир – 2024

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 Казмірчук Віталій Миколайович

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 2024 р. № 654/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 23 » грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Вимірювання освітлення приміщень, включення
функції комп'ютеризованої системи, вивід вимірюваних показів освітленості на
дисплей; передача вимірюваних показів освітленості
на відстань; галузь застосування охороні праці,
комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні
технології

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз існуючих методів вимірювання освітленості приміщень,
розробка структурної схеми системи, вибір технічних засобів вимірювальної
системи, розробка алгоритму та програми для вимірювальної системи та
обробки вимірювальної інформації, оцінка вимірюваних значень освітленості та
розрахунків метрологічних характеристик системи

5. Перелік графічного матеріалу

структурна схема вимірювань, принципова схема вимірювальної системи, блок-
схема алгоритму роботи вимірювальної системи

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-2	Подчашинській Ю.О.		
3-4	Подчашинській Ю.О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих пристроїв вимірювання освітленості	12.11.24 – 15.11.24	Виконано
2	Формулювання завдання роботи	17.11.24 – 18.11.24	Виконано
3	Вибір методу вимірювань освітленості	19.11.24 – 22.11.24	Виконано
4	Розробка структурної схеми	23.11.24 – 24.11.24	Виконано
5	Вибір технічних засобів вимірювальної системи	25.11.24 – 27.11.24	Виконано
6	Розробка програми веб-сторінки	28.11.24 – 29.11.24	Виконано
7	Розробка алгоритму та програми оцінки метрологічних характеристик	30.11.24 – 10.12.24	Виконано
8.	Проведення експерименту з виміряними даними освітленості	11.12.24 – 13.12.24	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації	14.12.24 – 22.12.24	Виконано

Студент

Казмірчук В.М.

(підпис)

Керівник роботи

Подчашинській Ю.О.

(підпис)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану систему вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень.

В першому розділі роботи були розглянуті існуючі рішення вимірювання показників освітленості виробничих приміщень.

В другому розділі розглянуті методи вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень. Обґрунтовані складові системи та побудована структурна схема.

В третьому розділі були обрані складові вимірювальної системи та контролю освітленості виробничих приміщень. Була побудована принципова схема.

В четвертому розділі був розроблений алгоритм та програма для вимірювальної системи. Також були розроблені програми для веб-сторінки та програма для оцінювання виміряних значень.

Ключові слова: люксметр, фотоелектричний датчик, мікроконтролер, похибки визначення вимірювань, інформаційно-вимірювальні системи.

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized system for measuring and controlling the illumination of production premises was developed.

In the first section of the work, existing solutions for measuring the illumination of production premises were considered.

In the second section, methods for measuring and controlling the illumination of production premises were considered. The components of the system were substantiated and a structural diagram was built.

In the third section, the components of the measuring system and controlling the illumination of production premises were selected. A schematic diagram was built.

In the fourth section, an algorithm and a program for the measuring system were developed. Programs for a web page and a program for evaluating measured values were also developed.

Keywords: luxmeter, photoelectric sensor, microcontroller, measurement errors, information and measuring systems.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1.ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕННОСТІ....	10
1.1.Огляд існуючих рішень вимірювання освітленості.....	10
1.2.Опис існуючих методів вимірювання освітленості.....	18
1.3.Фізичний принцип вимірювання освітленості.....	21
Висновки до 1 розділу.....	23
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	24
2.1. Обґрунтування побудови структурної схеми.....	24
2.2. Обґрунтування мікроконтролеру.....	24
2.3.Обґрунтування вибору wi-fi модуля.....	27
2.4. Обґрунтування вибору датчика освітленості.....	29
2.5. Обґрунтування вибору дисплея.....	30
2.6. Обґрунтування вибору кнопки.....	32
2.7. Обґрунтування вибору живлення.....	33
2.8. Структурна схема.....	35
Висновки до 2 розділу.....	36
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	37
3.1. Вибір мікроконтролеру.....	37
3.2. Вибір wi-fi модуля.....	38
3.3. Вибір датчика освітленості.....	41
3.4. Вибір дисплею.....	42
3.5. Вибір кнопки.....	43
3.6. Вибір блока живлення.....	45
3.7. Побудова електрично-принципової схеми.....	46
3.8.Розробка друкованої плати.....	47
Висновок до 3 розділу.....	51
4.РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ	

СИСТЕМИ.....	52
4.1.Розробка алгоритму.....	52
4.2.Розробка програми для мікропроцесору.....	54
4.3. Розробка програми для веб-сторінки.....	56
4.4.Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації.....	58
Висновок до 4 розділу.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТКИ.....	71
Додаток А.....	72
Додаток Б.....	73
Додаток В.....	75
Додаток Г.....	87
Додаток Д.....	89

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

ВСТУП

Актуальність теми. Приміщення, призначені для тривалого перебування людей, повинні забезпечувати якісне природне та штучне освітлення. Недостатнє освітлення разом із високим зоровим навантаженням може призводити до втоми, розвитку короткозорості та травм.

Оскільки близько 80% інформації людина сприймає через зір, якість освітлення є ключовим фактором для створення комфортних умов праці. Невідповідний рівень освітлення — як недостатній, так і надмірний — спричиняє перевтому центральної нервової системи, погіршення зору та загального стану організму, що знижує уважність, продуктивність праці та підвищує ризик нещасних випадків.

Контроль освітлення є важливою складовою систем управління, а освітлення виробничих приміщень потребує врахування багатьох факторів, таких як сезон, час доби та присутність людей. Будівельні норми регламентують дві основні системи штучного освітлення: загальне та комбіноване.

Отже, актуальність розробки комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень полягає в високоточних вимірювань освітленості для перевірки безпечних і продуктивних умов праці.

Метою даної роботи є розробка нової комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень з розширеними функціями та підвищеними метрологічними характеристиками.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вибір контрольованого параметра і розробка на його основі структури KIBC для вимірювання освітленості;
- розробка структурної та принципової схеми комп'ютеризованої системи вимірювання освітленості виробничих приміщень;
- розробка блок-схеми алгоритму та програми забезпечення вимірювання освітленості виробничих приміщень;

– розробка метрологічного забезпечення КІВС шляхом експериментального підтвердження метрологічних похибок виміряних 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 базуються на аналітичному виведенні рівнянь математичної моделі вимірювального каналу, використанні методів визначення освітленості, використанні обчислювальних блоків у вимірювальному каналі, застосуванні методів комп’ютерного моделювання з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- 1) Удосконалено структурну схему комп’ютеризованої системи для вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень;
- 2) Удосконалено програмно-алгоритмічний метод визначення освітленості виробничих приміщень на основі чисельного обрахунку та дистанційного виводу на веб-сторінку.

Практична цінність даної роботи полягає в:

- 1) вибрано сучасну елементну базу системи для вимірювання освітленості виробничих приміщень;
- 2) розраховано метрологічні характеристики комп’ютеризованої системи для освітленості виробничих приміщень;
- 3) пропонується додати до схеми wi-fi модуль та створити веб-сторінку, що дозволить передачу виміряних даних освітленості виробничих приміщень на відстань безконтактним шляхом.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 3 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 70 сторінках основного тексту і містить 21 рисуноків, 6 таблиці та 23 джерел.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ОСВІТЛЕННОСТІ

1.1.Огляд існуючих рішень вимірювання освітленості

Існує багато приладів для вимрювання освітленості приміщень. Проведемо огляд найпоширеніших.

PCE-CRM 40 спектрометр, люксметр, колориметр представлений на рис.1.1.



Рис. 1.1. PCE-CRM 40 спектрометр, люксметр, колориметр

Фотометр PCE-CRM 40 може використовуватися для визначення важливих фотометричних величин області вимірювання світла. До них відносяться триколірні значення XYZ, координати кольору u' та v' відповідно до CIE1976 та координати кольору x та y відповідно до CIE1931. Крім того, подальші колориметричні вимірювання вимірюються як абсолютні значення та відмінності. Можна визначити домінуючу довжину хвилі в діапазоні чутливості світлового колориметра між 360...780 нм, а також щільність кольору P_e та кольорову температуру СТТ у Кельвін. Крім того, спектрометр може визначати освітленість у люксах (lx) або фут-канделах (fcd) та відображати світловий потік у

люменах (lm) та відображати кольорове розташування у кольоровому просторі RGB.

Завдяки ергономічному дизайну, великому дисплею, пам'яті, інтерфейсу даних та програмному забезпеченню, вимірювання можуть виконуватися швидко та відображатися на дисплеї фотометра. Вимірювання також можна обробляти на ПК за допомогою програмного забезпечення. Завдяки багатофункціональності спектрометр ідеально підходить для класифікації та оптимізації освітлювальних установок та умов освітлення в різних областях застосування.

Технічні характеристики представлені в табл.1.1.

Таблиця 1.1. технічні характеристики люксметр PCE-CRM 40 [1]

Діапазон вимірювання	
Освітлення	0,1...150 000 lx 0,01...15 000 fcd
Швидкість	0,5 сек.
Точність	
Колір	$\pm 2\% \pm 1$ цифра стабільність: $\pm 0,5\% \pm 1$ цифра (2 σ) вплив температури: $\pm 3\% \pm 1$ цифра косинус поправка $f_2 < 3\%$
Освітлення	$\pm 0,003$ lx (при 500 lx, Стандарт-А) стабільність: $\pm 0,0005$ (при 500 lx, Стандарт-А) вплив температури: $\pm 0,003$
Крок виміру	
Освітлення	5 lx 0,5 fcd
Загальні положення	
Дисплей	кольоровий LCD дисплей 3,2"
Сенсор	кремнієвий фотодіод

	відносна спектральна чутливість: ґрунтуючись на стандарті CIE X (λ), Y (λ) і Z (λ) відхилення нижче 6% (f1 ') спектральної світлової ефективності CIE V (λ)
Спектр	360...780 нм
Функції/особливості	Триколірні значення: XYZ Хроматична: Ev xy, Ev u'v ' Корельована колірна температура: Tc Різниця квітів: Δ (XYZ), Δ (Evxy), Δ (Evuv), Δ Ev Δ Tc Δ uv Координата хроматична: ICE1931 (x, y), ICE1976 (u, v) Домінуюча довжина хвилі: λ_d Стійкість кольору: Pe Світловий потік: Ф Параметри RGB, кольорова діаграма, максимальна запис і відображення
Живлення	Li-Ion акумулятор 2200 mAh бл. 12 годин безперервної роботи
Країна виробник	Німеччина
Гарантія	12 міс.
Комплект поставки	1 x фотометр PCE-CRM 40; 1 x зарядний пристрій USB; 1 x USB кабель; 1 x кріплення; 1 x USB накопичувач; 1 x сумка-чохол; 1 x кейс для транспортування; 1 x інструкція по експлуатації.
Умови експлуатації	
Робоча температура	-10...+40°C при вологості <80%
Температура зберігання	-20...+40°C при вологості <85%
Розміри/вага	
Розміри приладу (д/ш/в)	210x80x35 мм
Вага	300 г

Trotec BF06 портативний люксметр представлений на рис.1.2.



Рис.1.2. Trotec BF06 портативний люксметр

Портативний люксметр Trotec BF06 для вимірювання освітленості у приміщеннях. Завдяки компактності буде завжди під рукою, наприклад на знімальній площадці чи фотостудії, для вибору освітлення вітрин магазинів чи будинку, на складі та в офісі. Коли праворуч доходити до будівництва будинку - за допомогою приладу можна визначити найбільш освітлені місця, тим самим економити електрику надалі. Має 2 види вимірювань люкс (lx) та "Foot Candle" (fc). Автоматичне підсвічування приладу спрацьовує у погано освітлених місцях і відключається при гарній освітленості. Простий і надійний прилад, який легко поміщається в одній руці. Найкраще співвідношення ціна/якість.

Таблиці 1.2. Технічні характеристики [2]

Діапазон вимірювання	
Освітлення	0...40 000 lx 0...3 716 fc
Точність	
Освітлення	±5% та ±10lx/fc (до 10 000 lx/1000 fc) ±10% та ±10lx/fc (від 10 000 lx/1000 fc)
Крок виміру	
Освітлення	0,1 lx 0,01 fc

Загальні положення	
Дисплей	Lcd з автоматичним підсвічуванням
Сенсор	Міцний силіконовий фотодіод з інфрачервоним фільтром
Швидкість відгуку	2,5 рази в сек.
Функції/особливості	Макс. Значення автовимкнення автоматичне підсвічування дисплея індикатор заряду батареї вимір в lx і fc
Живлення	1 батарейка 9v, тип "крона"
Країна виробник	Німеччина
Гарантія	12 міс.
Комплект поставки	1 x люксметр trotec bf06; 1 x батарейки 9v "крона"; 1 x сумка-чохол; 1 x інструкція по експлуатації.
Умови експлуатації	
Робоча температура	0...+40°с при вологості <80%
Температура зберігання	0...+50°с при вологості <80%
Розміри/вага	
Розміри приладу (д/ш/в)	157x54x34 мм
Вага	138 г.

Люксметр цифровой BSIDE L1 LUX METER представлений на рис.1.3.

Широкий діапазон вимірювань: вимірює освітленість від 0 до 200 000 люкс, що робить його придатним для широкого спектру застосувань.

Точні показання: люксметр забезпечує точні показання рівня освітленості, гарантуючи, що ви завжди отримуватимете найточніші вимірювання.

Простота у використанні: завдяки простому дизайну і РК-дисплею, що легко читається, цей люксметр неймовірно зручний у використанні.



Рис.1.3. Люксметр цифровий BSIDE L1 LUX METER

Опис:

1. Цифровий люксметр дозволить вам виміряти освітленість у приміщенні.
2. Цифровий люксметр використовує батарею 9 В (не входить до комплекту); Точність до 200 000 люкс +/- 5%
3. Роздільна здатність: 0,1 люкс / 0,01 ФК, точність: $\pm 4\%$, швидкість виміру: 2 рази на секунду, одиниці виміру: люкс і ФК.
4. Функція утримання, автоматичний та ручний діапазон, автоматичне вимкнення живлення: приблизно через 15 хвилин.
5. Низька потужність виявлення батареї. Робоче середовище: від 14 до 122 °F (від -10 до 50 °C), відносна вологість 10% ~ 90%.

Технічні характеристики:

- Дисплей: Великий РК-дисплей.
- Діапазон: 0,1-200 000 люкс, 0,01-20 000 Фк.
- Роздільна здатність: 0,1 люкс/0,01 ФК.
- Точність: $\pm 4\%$.
- Швидкість виміру: 2 рази на секунду.

- Одиниці виміру: Люкс та ФК.
- Функція утримання, автоматичний діапазон та ручний діапазон.
- Автовимкнення: приблизно через 15 хвилин.
- Джерело живлення: одна батарея 9 В. (немає в комплекті)
- Низька потужність виявлення батареї.
- Робоче середовище: від 14 до 122 °F (від -10 до 50 °C), відносна вологість 10–90.[3]

Цифровий люксметр UNI-T UT383 представлений на рис.1.4.



Рис.1.4. Цифровий люксметр UNI-T UT383

UNI-T UT383 – це мініатюрний цифровий люксметр з автоматичним вибором діапазону вимірювання, призначений для вимірювання рівня освітленості від 0 до 199 999 люкс.

Особливості:

- Функція утримання даних;
- Індикація перевантаження;
- Індикація низького заряду батареї;
- Режим MAX/MIN;

- Одиниці вимірювання: люкс/фут-кандела;
- РК-дисплей з підсвічуванням для полегшення роботи у темряві;
- Автоматичне вимкнення, економія енергії.

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання: 0-199,999 люкс; 0~18,500 фут-кандела
- Точність: 0~9999 люкс/0~999 фут-канделу: $\pm(4\%+8)$; ≥ 10000 люкс/ ≥ 1000 фут-кандела: $\pm(5\%+10)$; ≥ 100000 люкс/ ≥ 9999 фут-кандела: $\pm(5\%+10)$
- Роздільність: 1 люкс (0~9999 люкс); 10 люкс ($\geq 10,000$ люкс); 100 люкс ($\geq 100,000$ люкс); 1 фут-кандела (0~9999 фут-кандела); FC=люкс/10.76; 10 фут-кандела ($\geq 10,000$ фут-кандела); FC=люкс/10.76
- Частота дискретизації: 0,5 с
- Живлення: 1.5В батарея (R03) $\times$ 3 шт.
- Дисплей: 32 мм $\times$ 26 мм
- Габарити: 160 мм $\times$ 50 мм $\times$ 28 мм
- Вес: 118 г.[4]

Давайте розглянемо основні переваги та недоліки люксметрів - приладів для вимірювання освітленості.

Переваги люксметрів:

1. Точність вимірювань – сучасні люксметри забезпечують високу точність вимірювання рівня освітленості, що важливо для багатьох сфер застосування.
2. Простота використання – більшість моделей мають зрозумілий інтерфейс та не потребують складного навчання для роботи з ними.
3. Портативність – люксметри зазвичай компактні та легкі, їх зручно переносити та використовувати в різних локаціях.
4. Широкий діапазон вимірювань – сучасні прилади можуть вимірювати освітленість від дуже низьких до високих значень.
5. Можливість збереження даних – багато моделей мають функцію запису результатів вимірювань для подальшого аналізу.

Недоліки люксометрів:

1. Чутливість до зовнішніх факторів – показники можуть змінюватися під впливом температури, вологості та забруднення сенсора.
2. Необхідність калібрування – для підтримки точності вимірювань потрібно регулярно проводити калібрування приладу.
3. Обмеження по спектру – деякі моделі можуть неточно вимірювати певні типи освітлення (наприклад, LED або люмінесцентні лампи).
4. Вартість - професійні люксометри з високою точністю можуть бути досить дорогими.
5. Обмежений термін служби сенсора – фотоелементи з часом деградують, що впливає на точність вимірювань.
6. Залежність від кута вимірювання – показники можуть суттєво відрізнятися залежно від положення датчика відносно джерела світла.

Важливо враховувати ці особливості при виборі та використанні люксометра для конкретних завдань та умов роботи.

1.2.Опис існуючих методів вимірювання освітленості

До методів вимірювання освітленості можна віднести: вимірювання люксометром на базі фотоелектричного датчика, вимірювання методом сітки точок, розрахунковий метод, довготривалі вимірювання. Розглянемо детальніше кожен метод вимірювання освітленості

1. Вимірювання люксометром:
 - Найбільш прямий і точний метод;
 - Використовує фотоелектричний датчик;
 - Дає миттєві покази в люксах;
 - Важливо правильно розташовувати датчик та враховувати кут падіння світла.
2. Метод сітки точок:
 - Приміщення розбивається на рівні квадрати;
 - Вимірювання проводяться в кожній контрольній точці;

- Дозволяє оцінити рівномірність освітлення;
- Середня освітленість розраховується як середнє арифметичне всіх вимірювань.

3. Розрахунковий метод:

- Базується на технічних характеристиках джерел світла;
- Враховує геометрію приміщення;
- Використовує коефіцієнти відбиття поверхонь;
- Застосовується при проектуванні освітлення.

4. Довготривалі вимірювання:

- Використовують автоматичні системи реєстрації;
- Дозволяють аналізувати зміни освітленості в часі;
- Враховують природні та штучні фактори;
- Корисні для оптимізації систем освітлення.

Враховуючі сучасний підхід оберемо метод вимірювання на базі фотоелектричного датчика.

Для вимірювання рівня освітленості у приміщенні або на вулиці використовують спеціальний прилад, який називається люксметр. Застосування люксметра дозволяє точно вимірювати рівень освітленості у різних місцях приміщення. Отримавши інформацію про освітлення, ви можете оптимізувати розташування джерел світла, вибирати відповідні лампи та світильники, а також регулювати яскравість та температуру кольору світла відповідно до своїх потреб або вимог правил безпеки.

Люксметр - інструмент, що вимірює освітлення в реальному часі. Він зчитує світло на поверхні або ж у просторі. - та відеозйомка, архітектурні та дизайнерські роботи, аграрне господарство, комунальні підприємства та дорожні служби.

Метод роботи заснований на вимірюванні інтенсивності світла, що падає на поверхню або розсіяного в просторі, і виражається в люксах. Цей принцип відрізняється від визначення кількості світлової енергії, що виділяється якимось конкретним об'єктом. Тобто, люксметр дає інформацію

не про джерело світла (світильника), а про результат його роботи, тобто - інтенсивності освітлення.



Рис.1.5. Принцип роботи люксметра

Прилад працює, застосовуючи фотоеlement для захоплення світла. Світло попадає на фоточутливий елемент, що генерує електричний сигнал. Електрострум посилюється і перетворюється на значення, виражене в люксах. Це значення відображається на дисплеї приладу. Тобто люксметр перераховує силу струму в люкс (похідну одиницю виміру). Вона є співвідношення кандели (показник вимірювання потужності світла) і люмена. Люмен - це також потужність світлового потоку, але з боку сприйняття його зоровим апаратом людини. Якщо одна кандела - приблизно світло однієї свічки, то люмен - це кількість світла, що рухається в конкретному напрямку і отримує око людини. А от люкс, як одиниця виміру, бере до уваги і канделу, і люмен, а ще й площу поверхні, яку висвітлює джерело світла. Таким чином, один люкс – це еквівалент одного люмена на 1 м.кв.

У цьому і полягає перевага люксметра: він у своїх одиницях виміру (люксах) враховує і потужність світлового потоку, і його напрямок, і сприйняття людським оком, і величину поверхні, що освітлюється.

Сам пристрій складається з фоточутливого елемента, який може бути виконаний у вигляді фотодіода, фототранзистора або фотоелектричної клітини. Фоточутливий елемент сприймає світло і перетворює його на електричний сигнал.

Фотоелемент розташований у зручному корпусі із дисплеєм. На дисплеї користувач бачить відповідний результат, отриманий в результаті зчитування датчиком електричного струму і перетворення його в люкс - інтенсивність освітлення.

З точки зору отримання інформації, є два типи люксметрів:

Аналоговий (старіша технологія, але цілком надійна). Прилад оснащений шкалою зі стрілкою чи голкою.

Цифровий - сучасний прилад з високою точністю вимірювань, оснащений ЛЕД-дисплеєм, де з'являються цифри та літери.

Також існує класифікація люксметрів за типом їх установки:

1. Настільний (стаціонарний прилад), який використовують у цехах, на виробництві, в офісі.

2. Портативний. Це мобільний люксметр, застосування якого можливе будь-де, в приміщенні або на вулиці.

Для більш точних вимірів люксметри можуть мати різні додаткові функції, такі як усереднення вимірів, корекцію на температуру світла. [5]

1.3. Фізичний принцип вимірювання освітленості

Сила світла – відношення світлового потоку, до тілесного угла, в межах якого проходить цей потік. Одиниця вимірювання СИ: кандела (кд).

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.

Кандела (лат. *candela* – свічка) – одна з семи основних одиниць вимірювання в системі СІ, що дорівнює силі світла, що випромінюється в заданому напрямку монохроматичним джерелом з частотою $540 \cdot 10^{12}$ Герц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку складає $1/683$ Вт/пор. Ця частота відповідає зеленій області спектру, до якої людське око є найбільш чутливим. Сила світла, що випромінюється однією свічкою приблизно дорівнює одній канделі.



Рис. 1. 1 – Видимий спектр випромінювання

Світловий потік – це фізична величина, що чисельно дорівнює кількості оцінюваної за зоровим відчуттям світлової енергії, що падає на поверхню за одну годину. Іншими словами, це величина, що дозволяє оцінити потужність видимого випромінювання за його дією на рогівку ока. Світловий потік вимірюється у Люменах (лм). Люмен – це світловий потік, що випромінюється точковим ізотропним джерелом із силою світла в одну канделу в тілесний кут величиною в один стерadian ($1\text{лм} = 1\text{кд} \cdot 1\text{ср}$). Люмен – це повний потік від джерела, що враховує і розсіяне світло, тому Люмен не може бути параметром оцінки яскравості, або корисної продуктивності лучу від джерела.

Яскравість – це відношення сили світла, що випромінюється поверхнею, до площі її проекції на площину, що перпендикулярна до осі спостереження. Іншими словами, яскравість – це густина світлового потоку ($\text{кд}/\text{м}^2$). Одиницею вимірювання яскравості є стільб. $1\text{ стільб} = 104\text{ кд}/\text{м}^2$. З усіх фотометричних величин, яскравість безпосередньо пов'язана зі зоровими відчуттями, оскільки освітленість зображення предмета на рогівці ока пропорційна яскравості предмета.

Освітленість (або інтенсивність світлового потоку) – відношення потужності світлового потоку до площі освітлюваної поверхні. Одиниця вимірювання освітленості – Люкс. Люкс дорівнює освітленості поверхні площею 1 м² при світловому потоці падаючого на неї випромінювання 1 Люмен. У США та Англії застосовують одиницю яскравості Фут-кандела. Це освітленість від джерела силою одна кандела, що знаходиться на відстані одного фута від освітлюваної поверхні. 1 Фут-кандела приблизно дорівнює 10,74 Люкс, тобто для грубого перерахунку, щоб отримати значення освітленості у Люксах, потрібно значення у Фут-канделах помножити на 10. Інтенсивність світлового потоку вимірюють також у Вт/м² [6].

Висновки до 1 розділу

У першому розділі проведено загальний огляд існуючих пристроїв для вимірювання освітленості виробничих приміщень. До переваг люксометрів можна віднести: точність вимірювання, простота використання, портативність, широкий діапазон вимірювання, можливість збереження даних. До недоліків відносяться: чутливість до зовнішніх факторів, необхідність калібрування, обмеження по спектру, вартість, обмежений термін служби сенсора залежність від кута вимірювання.

Також розглянуті методи вимірювання освітленості. Для розробки вимірювальної системи освітленості виробничих приміщень обрано метод вимірювання освітленості люксометром на базі фотоелектричного датчика.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1. Обґрунтування побудови структурної схеми

Комп'ютеризована система вимірювання та контролю освітленості виробничих приміщень повинна виконувати наступні функції:

- Виведення вимірних показів освітлення приміщень в люксах на дисплей;
- Виведення вимірних показів освітлення приміщень в люксах на веб-сторінку;
- Включення та виключення комп'ютеризованої системи.

Для виконання перерахованих функції необхідні наступні складові:

- 1) Фотодатчик для вимірювання показів освітленості в люксах.
- 2) Дисплей для відображення вимірних значень показів освітленості;
- 3) Модуль wi-fi для передачі вимірних значень показів освітленості для виводу на веб-додаток;
- 4) Акумулятор для живлення системи в цілому;
- 5) Кнопка включення/виключення системи;
- 6) Мікроконтролер для приймання вхідних сигналів з датчиків, обробки показників, передачі сигналів на wi-fi модуль та відображення на дисплей.

2.2. Обґрунтування мікроконтролеру

Мікроконтролер – це спеціалізований мікроелектронний програмований прилад, що призначений для використання у керуючих пристроях, системах передачі даних та системах керування технологічними процесами.

Зовнішній вигляд мікроконтролера зображено на рисунку 2.1.

Мікроконтролери використовують у побутовій техніці, медичних приладах, системах керування ліфтами, телефонах, раціях та інших засобах зв'язку, електронних музичних інструментах та автомагнітолах, комп'ютерній периферії (клавіатурах, джойстиках, принтерах, тощо), світлофорах,

автоматичних воротах та шлагбаумах, інтерактивних дитячих іграшках, автомобілях, локомотивах та літаках, роботах та промислових верстатах.



Рис. 2.1 Зовнішній вигляд мікроконтролера

Мікроконтролер, на відміну від мікропроцесора, зазвичай має порівняно невелику розрядність (8 – 16 бітів) та багатий набір команд маніпулювання окремими бітами. Бітові команди дають змогу керувати дискретним обладнанням (підняти/опустити шлагбаум, увімкнути/вимкнути лампу, нагрівач, запустити/зупинити двигун, відкрити/закрити клапан, тощо). Наявність можливості оперувати окремими бітами, вводити та виводити дискретні сигнали називають «бітовим процесором».

Ще одна з основних відмінностей мікроконтролера від мікропроцесора полягає у тому, що у складі мікросхеми контролера є усі елементи для побудови простої (а інколи – і досить складної) системи керування. Так, всередині мікроконтролера є пам'ять даних (оперативна пам'ять), пам'ять програм (постійна пам'ять), генератор тактових імпульсів, таймери, лічильники, паралельні та послідовні порти. Тож система мінімальної конфігурації на основі мікроконтролера може складатися з блока живлення, безпосередньо мікросхеми контролера та кількох пасивних елементів (резисторів, конденсаторів та кварцового резонатора). І це фактично є ніщо інше, як одноплатний міні комп'ютер на основі однієї мікросхеми, придатний для вбудовування до об'єкта керування. Середня вартість системи мінімальної конфігурації складає кількадесят доларів[7].

Типова архітектура мікроконтролера складається (дивитися рис.2.2) з системи синхронізації та керування (1), арифметико-логічного пристрою (2), регістрів загального призначення (3), пам'яті даних (4) та

пам'яті програм (5), портів (6), функціональних пристроїв (таймерів, лічильників, широтно-імпульсних модуляторів, інтерфейсів) та регістрів їх налаштування (7), рис.2.2.[8]

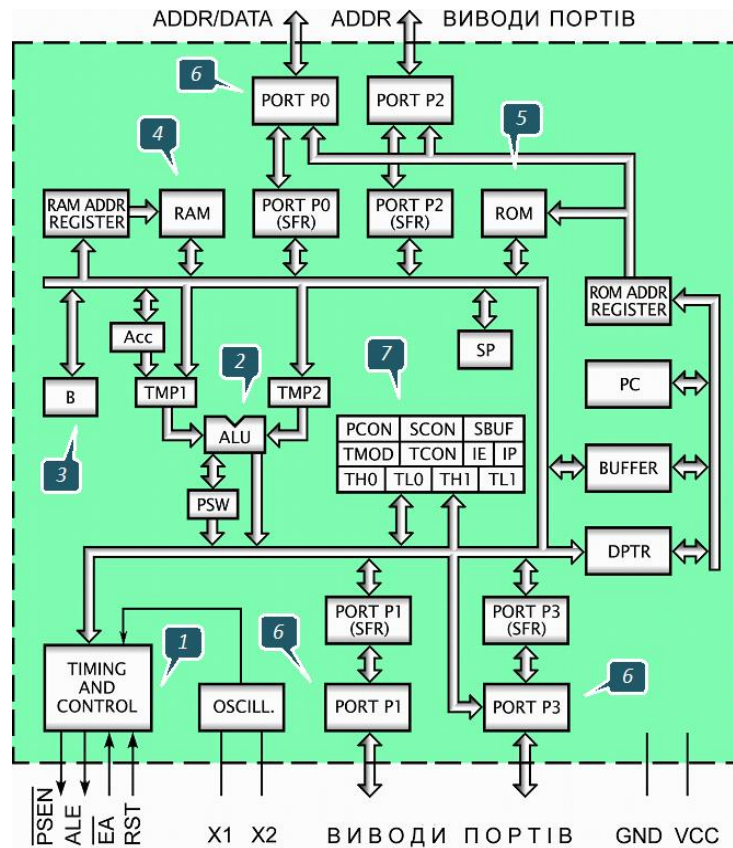


Рис. 2.2 Архітектура мікроконтролера

Програми для мікроконтролерів створюють у спеціальних інтегрованих інструментальних середовищах (англ.: Integrated Development Environment, IDE) мовами Асемблера (машинних команд) або C++.

Залишається додати, що кожного року у світі продаються мільярди мікроконтролерів, а середній мешканець розвинутої країни протягом кожного дня десятки разів має справу з мікроконтролерами, які є невід'ємною частиною сучасного технологічного навколишнього середовища [9].

2.3. Обґрунтування вибору wi-fi модуля

Для дистанційної передачі до веб-сторінки вимірянних даних освітленості приміщення необхідний wi-fi модуль.

Вайфай (від англ. Wireless Fidelity, Wi-Fi, WiFi; – бездротова правдивість відтворення) – торгова марка Wi-Fi Alliance та загальноживана назва для стандарту IEEE 802.11 передавання цифрових потоків даних по радіоканалах.

Для створення Wi-Fi мережі насамперед необхідно мати точку доступу, тобто спеціальне Wi-Fi обладнання. Найчастіше в ролі такого виступає роутер, підключений до провідної мережі інтернет. Роутер обладнаний радіомодулем, який виконує функції прийому і передачі бездротового сигналу. Такий же модуль повинен бути встановлений і всередині вашого комп'ютера, ноутбука, планшета або іншого пристрою, який потрібно підключити до бездротової Wi-Fi мережі (є, втім, і зовнішні Wi-Fi-адаптери, що підключаються через порт USB). Ці модулі можуть бути від різних виробників, і відрізнятися між собою конструкцією чіпа, але завдяки єдиному стандарту Wi-Fi забезпечується повна їх сумісність.

Щоб підключитися до інтернету через Wi-Fi мережу, недостатньо лише мати модуль Wi-Fi в ноутбуці або смартфоні (як думають деякі). Потрібно спочатку створити підключення до кабельного або супутникового інтернету, а потім вже «роздавати» цей інтернет через бездротову мережу в межах будинку або квартири. З іншого боку, у багатьох громадських місцях великих міст функціонує платна або безкоштовна мережа Wi-Fi, за допомогою якої можна підключитися до інтернету, маючи лише пристрій з підтримкою стандарту Wi-Fi.

В межах самого стандарту зв'язку Wi-Fi поступово з'явилося кілька специфікацій, які розрізняються між собою за швидкістю передачі даних і радіусу дії бездротової мережі.

802.11b Найперший стандарт бездротової Wi-Fi мереж, яка дозволяє працювати на швидкостях до 11 Мбіт / с у радіусі до 100 метрів (на відкритому просторі до 250 метрів).

802.11a, 802.11g – Стандарти, що прийшли на зміну 802.11b, вони дозволяють здійснювати передачу даних по бездротовій мережі зі швидкістю до 54 Мбіт / с, проте радіус дії Wi-Fi мережі в них становить трохи більше 50 метрів. Крім збільшення швидкості, в даних стандартах також набагато вищий рівень безпеки мережі завдяки застосуванню протоколів шифрування WPA / WPA2.

802.11n – Новий стандарт безпроводного зв'язку, розроблений в 2009 році і потенційно здатний передавати дані по Wi-Fi зі швидкістю до 600Мбіт / с (за умови застосування чотирьох зовнішніх всеспрямованих антен). Однак в реальних умовах експлуатації швидкість бездротового з'єднання становить трохи більше 100 Мбіт / с в радіусі не більше 50 метрів від точки доступу.

802.11ac – Новітній передовий стандарт Wi-Fi мереж, що працює на частотах 5-6 ГГц. У 2014 році відбулося прийняття фінальної версії специфікації 802.11ac, обіцяна швидкість передачі даних по бездротовій мережі в ній складає від 3000 Мбіт / с до 10 Гбіт / с (за умови використання восьми всеспрямованих MIMO антен).[10]

Отже, пропонується для дистанційного передачі вимірних даних застосування Wi-Fi модуля. Даний модуль буде організувати бездротовий зв'язок при проектуванні системи. Його «будова» дозволяє йому забезпечувати обмін даними за стандартами Wifi. Такій модуль повинен бути сумісним з мікропроцесором Atmega.

Пропонується використати сучасний готовий модуль Wi-Fi ESP.

ESPxx – це контролер, який працює зі стандартом безпроводного зв'язку Wifi і здатний виконувати код програм з вбудованої флеш-пам'яті. Чіп був розроблений і випущений китайською компанією Espressif і моментально став одним з найпопулярніших для даних цілей.

Сам вай фай модуль для ардуіно Wifi досить дешевий і містить невелику кількість зовнішніх елементів, маючи наступні технічні характеристики:

- Підтримка протоколів стандарту Wifi b/g/n з алгоритмами шифрування і захисту даних WEP, WPA, WPA2;

- Чотирнадцять портів вводу і виводу, послідовного периферійного інтерфейсу SPI, I2C, UART і 10-бітний аналого-цифровий перетворювач;
- Підтримка зовнішньої пам'яті до 16 Мб;
- Достатню для живлення напруга від 2.2 до 3.6 Вольт і споживання струму до 300 мА, яке залежить від режиму роботи [11].

2.4. Обґрунтування вибору датчика освітленості

Датчик освітленості – це пристрій для вимірювання інтенсивності світла в навколишньому середовищі. Датчик освітленості часто називають фотодатчиком або фоторезистором як зображено на рисунку 2.3.

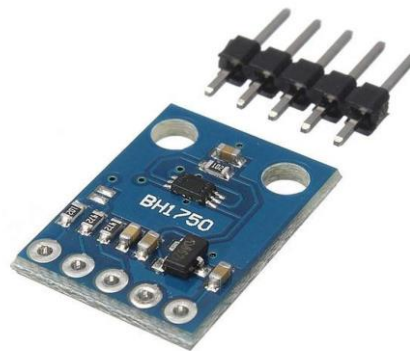


Рисунок 2.3. Зовнішній вигляд датчика освітленості

Принцип роботи: Датчик перетворює світлову енергію в електричний сигнал за допомогою фоточутливого елемента. Найпоширеніші типи чутливих елементів:

- Фоторезистори (LDR);
- Фотодіоди;
- Фототранзистори;
- Фотоелементи.

Характеристики сучасних датчиків:

- Діапазон вимірювання: від 0,1 до 100000 люкс;
- Точність: $\pm 2-5\%$;
- Швидкодія: від кількох мілісекунд;

– Температурний діапазон роботи: $-40...+85^{\circ}\text{C}$. [12]

Щоб досягти хорошого рівня якості та надійності при вимірюванні освітлення, необхідно враховувати ключові характеристики датчика освітленості.

1. Діапазон вимірювання. Різні моделі можуть мати різні діапазони, починаючи від кількох люксів до кількох тисяч люксів.

2. Точність може бути виражена в процентах або в одиницях вимірювання, таких як люкси. Показник точності у багатьох залежить від експлуатаційних факторів (температури, вологості та ін.) Як правило, пристрої демонструють точність вимірювання з погрешністю від 3 до 7%.

3. Розрішення: це показник того, як деякі зміни освітленості можуть вимірювати прилад. Чем вище дозвіл, тим більш точними будуть вимірювання.

4. Корекція угла. Фотоелемент автоматично виправляє косинус, якщо потік світла заламується під углом. Дана функція дає можливість не допускати помилок в результатах вимірювання.

5. Робоча температура залежить від якості встановленого фотоелемента, оскільки дешеві датчики при температурі вище 40-50 градусів стають недійсними.

Враховуючі якість, надійність, портативність, сумісність з мікроконтролером оберемо датчик освітленості сенсор MAX40007 фірми Maxim integrated.

2.5. Обґрунтування вибору дисплея

LCD (Liquid Crystal Display) – це тип плоского дисплея, який використовує властивості рідких кристалів для створення зображення.

Принцип роботи:

1. Базується на властивості рідких кристалів змінювати орієнтацію під впливом електричного поля;

2. Кожен піксель контролюється окремими транзисторами;

3. Підсвічування забезпечується джерелами LED або CCFL.

Основні компоненти:

- Рідкокристалічний шар;
- Поляризаційні фільтри;
- Кольорові фільтри (для кольорових дисплеїв);
- Система підсвічування;
- Керуюча електроніка.

Типи LCD дисплеїв:

- TN (Twisted Nematic) – найбільш поширений і економічний;
- IPS (In-Plane Switching) – кращі кути огляду та кольоропередачі;
- VA (Vertical Alignment) – високий контраст;
- OLED – органічні світлодіоди з власним світлом.

Підключення дисплея до мікроконтролера бувають двох типів:

- З паралельним підключенням (рис.2.4.);
- З послідовним підключенням їх по протоколу I2C (рис.2.5).



Рисунок 2.4. Дисплей LCD 1602 з паралельним підключенням



Рисунок 2.5. Дисплей LCD 1602 з модулем I2C

Паралельне підключення LCD 1602 передбачає 10 або 6 виводів до мікроконтролера.

Послідовне підключення LCD 1602 за допомогою модуля I2C (рис. 2.5) передбачає 4 піни мікроконтролера, два для живлення та два для даних. [13]

Враховуючі мінімальну кількість виводів для підключення обраємл дисплей LCD 1602 з модулем I2C.

2.6. Обґрунтування вибору кнопки

На платі електронного пристрою можуть бути різні типи кнопок, залежно від їх функціональності та способу взаємодії з користувачем. Ось декілька поширених видів кнопок, які можна знайти на платі:

1. Моментальна кнопка (Momentary Push Button): Це найпоширеніший тип кнопки, який використовується для тимчасового контакту із платою. При натисканні кнопки вона залишається в натиснутому стані лише на короткий час і повертається до вихідного стану, коли натискання припиняється. Цей тип кнопки часто використовується, наприклад, для включення/вимкнення пристрою, затвердження операцій або взаємодії з меню.

2. Тогл-перемикач (Toggle Switch): Це перемикач, який залишається у включеному або вимкненому стані, поки його не переключать знову. Він має два стабільних положення, іноді позначені як "ON" (увімкнено) та "OFF" (вимкнено). Тогл-перемикач може використовуватись для постійного включення або вимкнення функцій пристрою.

3. Сенсорна кнопка (Touch Button): Це кнопка, яка реагує на дотик. Вона може бути вбудована у сенсорний шар плати або мати окремий сенсорний елемент. При дотику до кнопки вона реагує на дотик і може виконувати певні функції, такі як включення/вимкнення, регулювання параметрів тощо.

4. Кнопка з фіксованим положенням (Latching Button): Ця кнопка має два стабільних положення, увімкнено і вимкнено. Кожне натискання кнопки перемикає її між цими двома положеннями, і вона залишається в новому положенні, поки не буде знову натиснута. Кнопки з фіксованим положенням

використовуються, коли потрібно тривало увімкнути або вимкнути певну функцію.

5. Кнопка-коліщатко (Encoder Button): Це кнопка, яка розташована в центрі поворотного енкодера (коліщатка). Вона може використовуватися для вибору опцій або режимів шляхом обертання енкодера та натискання кнопки для підтвердження вибору.

Це лише кілька прикладів типів кнопок, які можна знайти на платах. У залежності від конкретного пристрою та його функціональності, можуть використовуватись інші типи кнопок або комбінації цих типів.

Зі всіх типів зупинемо вибір на кнопці з фіксованим положенням, так як вона найбільше підходить до розроблювальної системи.[14]

2.7. Обґрунтування вибору живлення

Кожна електросистема потербує для себе живлення у вигляді електроенергії. Вона може надходити в систему напряму, або через перетворюват, з електромережі, бо від батарейки чи акумулятора зовнішній вигляд різних батарейок зображено на рисунку 2.6.



Рис. 2.6. Зовнішній вигляд батарейки

Будь-яка батарея або акумулятор – це джерело електроживлення, в якому енергія утворюється в результаті протікання хімічних реакцій. Залежно від типу протікає реакції, виділяють два типи елементів живлення:

Гальванічні. Одноразової дії. Реакція, яка відбувається в них при виробленні електричної енергії, необоротна. Зважаючи на це такі батарейки не можна перезаряджати, після вироблення ресурсу вони підлягають утилізації.

Акумуляторні. Їх головна відмінність і перевага – оборотність реакції, яка відбувається в результаті вироблення електрики. Тому після розрядки такі елементи живлення можна зарядити і використовувати повторно.

Будь-яка батарейка на 90% відсотків складається з трьох ключових елементів: анода (підключений до полюсу «-»), катода (підключений до полюсу «+») і електроліту. Коли вона вставляється в прилад, то підключається до електричного кола, і в батарейці починаються окислювально-відновні реакції.

Як це виглядає на практиці. Матеріал анода окислюється і виділяє електрони, які і формують електрострум. Оскільки в ході реакції утворюється надмірна їх кількість, через електроланцюг електрони переміщуються до катода, де нейтралізуються в ході процесу відновлення. Електрична напруга створюється саме завдяки надлишку електронів на негативному полюсі при їх нестачі на позитивному.

Найчастіше під цим джерелом живлення ми маємо на увазі пальчикові і мізинчикові батарейки, які офіційно мають формат батарейки AA і AAA відповідно. Однак крім них також на ринку є такі типорозміри:

- AAAA. Використовуються для самих компактних приладів, як-то лазерні указки, LED-ліхтарики, комп'ютерні автономні стилуси і т.д.

- Батарейки тип С. Часто називається «Дюймовочкою». Цей варіант застосовується в годинах, будильниках, іграшки на радіокеруванні та багатьох інших побутових приладах.

- D. У народі більш відома як «бочка». Виступає джерелом харчування в пристроях з високим енергоспоживанням: магнітолах, раціях, потужних ручних ліхтарях та інших.

- PP3 або «Крона». Має велику сферу застосування.[15]

2.8. Структурна схема

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

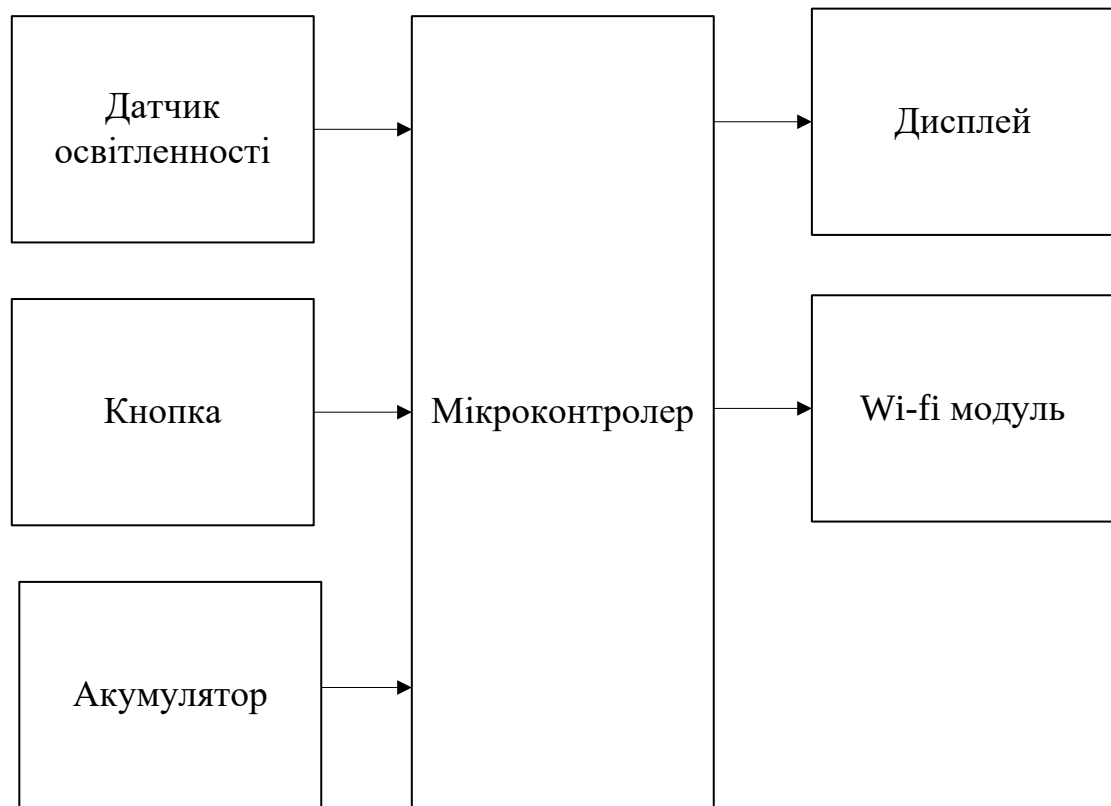


Рис. 2.7. Структурна схема комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю освітленості

На рисунку 2.7 зображена структурна схема системи контролю освітленості. На ній ми бачимо що знаходяться: датчик освітленості, кнопку акумулятор , мікроконтролер і дисплей.[15]

Також бачимо що:

- 1) Датчик освітленості підключений до мікроконтролера, що дає змогу і зчитувати з нього інформацію.
- 2) Кнопка яка підключена до мікроконтролера дає змогу нам відключати живлення системи.
- 3) Акумулятор який підведено до мікроконтролера забезпечую систему напругою.
- 4) Мікроконтролер який під'єднано до дисплею за допомогою якого ми можемо побачити дані які зчитав мікроконтролер з датчика освітленості.

5) Дисплей під'єднаний до мікроконтролера та відображає виміряні значення освітленості.

6) Модуль wi-fi передає виміряні дані освітленості на веб-сторінку.

Висновки до 2 розділу

В другому розділі були розглянуті основні функції системи. Це зчитування сигналу з датчика освітленості, обробка виміряних даних, відображення на дисплей та передача виміряних даних по wi-fi модулю до веб-сторінки. Обґрунтовано вибір кожного компонента структурної схеми.

.

3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1. Вибір мікроконтролера

В якості мікропроцесору було обрано мікропроцесор C8051F304 фірми Silicon Laboratories, що має всього 8 ліній вводу/виводу(зовнішній вигляд на рисунку 3.1). Зв'язок сенсора з МК здійснюється за інтерфейсом I2C та забезпечується вбудованим у МК модулем. При читанні даних із сенсора МК тактується на частоті близько 2,5 мг від внутрішнього генератора з дільником 1:8. На час обробки показань сенсора та видачі на дисплей коефіцієнт передачі дільника збільшується до 1:1, у результаті частота тактування МК підвищується до 20 мгц. Таке короточасне збільшення частоти позитивно позначається середньому струмоспоживання всієї схеми.[16]

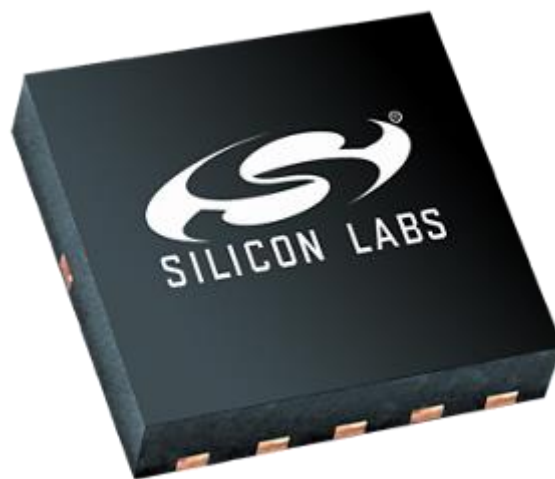


Рис. 3.1 Зовнішній вигляд МК C8051F304

Технічні характеристики мікроконтролера C8051F304:

- Програмований гістерезис і час відгуку;
- Можливість налаштування для створення переривань або скидання;
- Низький струм (0,4 мкА);
- Детектор POR/Brown-Out;
- Налагодження на кристалі
- Вбудована схема налагодження забезпечує швидкісне, ненав'язливе налагодження в системі (емулятор не потрібен);
- Забезпечує контрольні точки, одиночний крок, контрольні точки;

- Перевірте/змініть пам'ять, регістри та стек;
 - Висока продуктивність систем емуляції з використанням мікросхем ICE, цільових блоків і розеток;
 - Напруга живлення: від 2,7 до 3,6 В;
 - Типовий робочий струм: 5,8 мА при 25 МГц, 11 мкА при 32 кГц;
 - Типовий струм у режимі зупинки: <0,1 мкА;
 - Діапазон температур: від –40 до +85 °С;
 - Високошвидкісне ядро 8051 мкК;
 - Архітектура конвеєрних інструкцій; виконує 70% інструкцій за 1 або 2 системні годинники;
 - Пропускна здатність до 25 MIPS з тактовою частотою 25 МГц;
 - Розширений обробник переривань;
 - Пам'ять: 256 байт пам'яті даних; 4 КБ Flash; внутрішньосистемне програмування в секторах по 512 байт (512 байт є зарезервований);
- Цифрова периферія:
- 8 портів введення-виведення; всі вони витримують напругу 5 В;
 - Розширене апаратне забезпечення SMBus™ (сумісний з I2C™) і послідовний UART порти;
 - Програмований 16-розрядний масив лічильників/таймерів із трьома записами/порівняннями модулі, WDT;
 - 3 16-розрядних лічильника/таймера загального призначення;
 - Спеціальний сторожовий таймер; двонаправлене скидання;
 - Режим годинника реального часу з використанням PCA або таймера та зовнішнього джерела годинника. [16]

3.2. Вибір wi-fi модуля

Для передачі даних до браузера на веб-сторінку потрібно застосувати wi-fi модуль. Оберемо сумісний з мікроконтролером C8051F304 wi-fi модуль ESP-12S, представлений на рис.3.2.

Схема розташування пінів представлена на рис.3.3. Схема підключення до мікроконтролеру представлена на рис.3.4.[17]



Рисунок 3.2. Wi-fi модуль ESP-12S

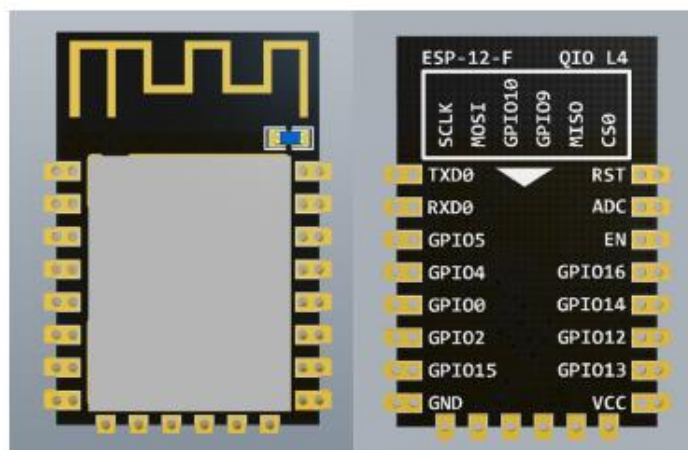


Рисунок 3.3. Розташування пінів wi-fi модуль ESP-12S

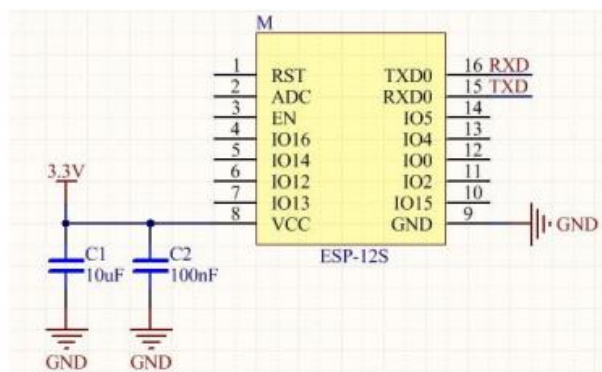


Рисунок 3.4. Схема підключення до мікроконтролеру wi-fi модуля ESP-12S

Чіп ESP8266, який представляє собою інтегровані в одному корпусі Wi-Fi частину, що не вимагає зовнішніх RF компонентів, і 32-бітний процесор Tensilica's L106 Diamond на базі ядра Xtensa. Структурна схема ESP8266 представлдена на рис.3.5.

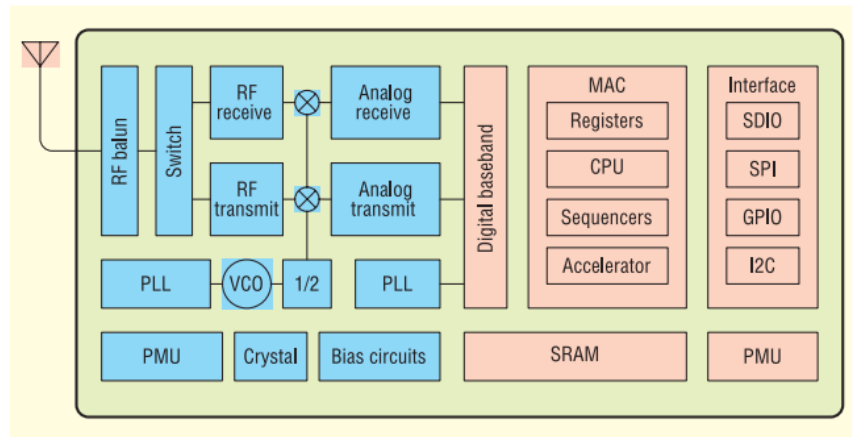


Рис.3.5. Структурна схема ESP8266

Технічні характеристики:

- Wi-Fi-стандарт: 802.11 b/g/n, Wi-Fi 2.4 ГГц, підтримка WPA/WPA2;
- Мікроконтролер: Вбудований, 32-розрядний, малої потужності;
- АЦП: Вбудований 10-розрядний;
- TCP/IP протокол стека: так;
- Підтримувані режими роботи: Клієнт(STA), Точка доступу(AP), Клієнт+Точка доступу(STA+AP);
- Антена: IPEX-інтерфейс для підключення зовнішньої антени;
- Потужність в режимі очікування: < 1.0 мВт (DTIM3)
- Діапазон робочих температур: -40 ° C ~ +85 ° C;
- Живлення в режимі Deep sleep: <10uA;
- Power down leakage current: < 5uA;
- Вихід зі сну та початок передачі: < 2ms;
- Інтерфейси: SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I²C, I²S, IRDA, PWM, GPIO, STBC, 1x 1 MIMO, 2x 1 MIMO;
- Напруга живлення: +3,3 В;
- Максимальний струм споживання: 240 мА;
- Частота роботи: 2,4 ГГц;
- Чіп ESP8266ex;
- Обсяг Flash пам'яті: 4 МБ
- Об'єм RAM пам'яті: 80 Кб;

– Розміри: 24x16x3 мм.[18]

Живлення ESP-12S складає 3,3В. Обраний мікроконтролер має напругу живлення до 3 В.

3.3.Вибір датчика освітленості

У якості датчика освітленості взятий сенсор MAX40007 фірми Maxim integrated.

MAX44007 – це датчик зовнішнього освітлення з вбудованим фотодіодом і АЦП із цифровим інтерфейсом I2C вигляд якого можна побачити на рисунку 3.6. Для вимірювання навколишнього освітлення матрицю поміщають у оптично прозорий пакет (UTDFN-Opto). Гарячий діод всередині мікросхеми перетворює світло в струм, який потім обробляється малопотужними схемами в цифровий бітовий потік. Це обробляється цифровим способом і зберігається у вихідному регістрі, який зчитується інтерфейсом I2C.

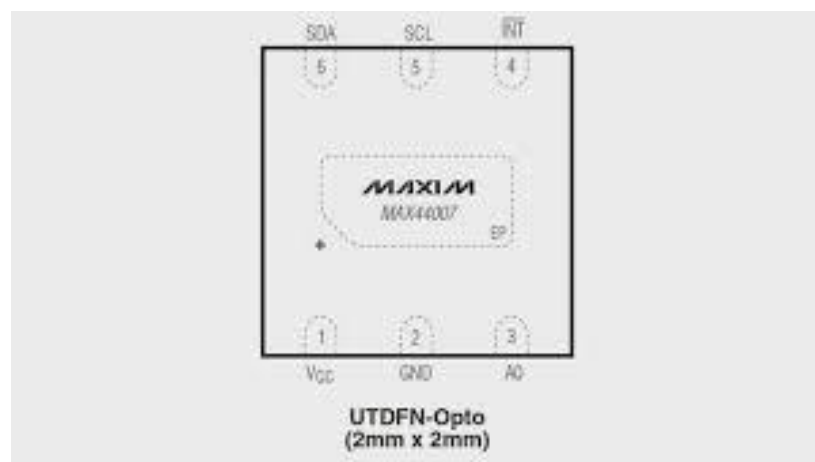


Рис. 3.6. Схематичний вигляд датчика освітленості MAX 44007

Вбудована в мікросхему програмована функція переривання усуває необхідність постійного опитування пристрою щодо даних і призводить до значної економії електроенергії. Оптичний фільтр пакетного рівня запобігає потраплянню ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання на

фотодіод. Його оптичний відгук також відповідає спектральному відгуку людського ока.

Друга матриця фотодіодів, чутлива головним чином до інфрачервоного спектру, потім використовується для узгодження світлового відгуку від люмінесцентних ламп і ламп розжарювання. Двома ключовими особливостями аналогової конструкції мікросхеми є її наднизьке споживання струму (зазвичай 0,65 мкА) і надзвичайно широкий динамічний діапазон освітленості, який поширюється від 0,025 люкс до 104 448 люкс — більше, ніж діапазон 4 000 000 до 1. Схема автоматичного визначення діапазону на мікросхемі не вимагає втручання користувача для налаштування діапазону посилення. Час інтеграції АЦП за замовчуванням становить 100 мс, що дає йому властиве відхилення 50 Гц і 60 Гн.

Технічні характеристики:

- Широкий діапазон від 0,025 люкс до 104 448 люкс;
- Маленький, 2 мм х 2 мм х 0,6 мм UTDFN-Opto;
- Напруга живлення від 1,7 В до 3,6 В;
- Робочий струм 0,65 мкА;
- Діапазон температур від -40С до +85С;
- Покращена чутливість за темним склом. [19]

3.4. Вибір дисплею

Для відображення вимірювання показів освітленості в приміщенні пропонується примініти рідкокристалічний дисплей LED 1602 з I2C (рис.3.7).

LCD — дисплей 1602 та модуль шини I2C/IIC — ідеальне рішення для проєктів, які розробляються. Дисплей LCD1602 показує інформацію в вигляді 16 символів в два ряди.

Під час підключення графічного дисплея використовується модуль I2C (рис.3.7), який дуже сильно спрощує підключення і водночас використовує

тільки 4 піна для під'єднання. Два виводи призначенні для живлення і два виводи для передавання даних.

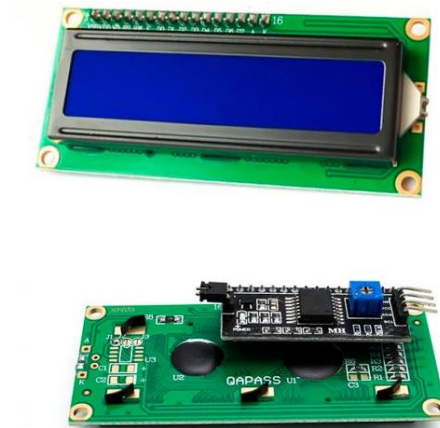


Рис. 3.7. LED 1602 I2C

Технічні характеристики:

- Живлення дисплея: 5В;
- Робоча температура: 0~50°C
- Робоча температура: синій;
- Колір символів: білий;
- Формат: 16 x 2;
- Розміри крапки: 0.5 x 0.5 мм;
- Видима область: 64.5 x 13.8 мм;
- Розміри точки: 80 x 36 мм;
- Мікросхема: I2C PCF8574 (A).[20]

3.5. Вибір кнопки

Кнопка з фіксованим положенням на платі – це електронний компонент, який встановлюється на платах для керування різними функціями. Вона зазвичай має циліндричну або прямокутну форму і складається з декількох основних елементів (рис. 3.8).

1. Корпус: Кнопка має зовнішній корпус, який зазвичай виготовляється з пластику або металу. Цей корпус захищає внутрішні компоненти кнопки і надає міцності.

2. Кнопка: На верхній частині корпусу розташована фізична кнопка. Вона може бути виконана у вигляді натискної, покручувальної або перекидної кнопки, залежно від її призначення та функцій, якими вона володіє.

3. Контакти: Усередині кнопки розташовані електричні контакти. Ці контакти з'єднуються або розриваються, коли кнопка натискається або відпускається. Це визначає електричне з'єднання та дії, пов'язані з кнопкою.

4. Кріплення: Кнопка може мати механізм кріплення, що дозволяє їй зафіксуватися на платі. Це може бути, наприклад, ніжка, яка впирається у отвір на платі або спеціальний кріпильний елемент, який забезпечує надійне закріплення.

5. Підсвічування (за потреби): Деякі кнопки можуть мати вбудоване підсвічування, що дозволяє підсвітити кнопку, коли вона увімкнена або вимкнена. Це зручно, особливо в темних або недоступних місцях.



Рис. 3.8. Зовнішній вигляд кнопки з фіксованим положенням PB22E07

Кнопка з фіксованим положенням на платі призначена для тривалого розміщення на платі і відрізняється від мобільних кнопок, які можуть бути натиснуті і відпущені. Кнопка з фіксованим положенням зазвичай використовується для ініціювання постійних дій, які вимагають увімкнення або вимкнення функцій, або для встановлення статусів, що не змінюються протягом тривалого часу.

Технічні характеристики кнопки:

- Кількість положень: 2;
- Кількість фіксованих положень: 2;
- Кількість полюсів: 2;
- Контактні групи: SPDT;
- Алгоритм роботи: ON-ON;
- Максимальний струм: 50 мА;
- Максимальна напруга: 30В;
- Загальна висота кнопки: 10 мм;
- Підсвітка немає;
- Робоча температура: -25 ° С ... +70 °. [21]

3.6.Вибір блока живлення

Для живлення системи було обрано батарейку типу «таблетка » C2032. Так як вона задовольняє усі потреби живлення системи які наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Споживання напруги

Елемент	Напруга
Мікроконтролер C8051F304	2.7 – 3.5 В
Датчик освітленості MAX44007	1.7 – 3.6 В
Дисплей LCD 1602 I2C	3 В
Wi-fi модуль ESP-12S	3.3 В
Кнопка PB22E07	1-30 В

Батарейка C2032 (також відома як CR2032) – це невелика літієва батарейка, яка використовується в різних електронних пристроях. Основним призначенням батарейки C2032 є забезпечення живлення для електроніки з низьким енергоспоживанням, такої як годинники, калькулятори, пульти дистанційного керування, фітнес-трекери, електронні ключі та інші пристрої.

Основні характеристики батарейки C2032:

- Номінальна напруга 3 Вольти;
- Номінальна ємність 210 мАг;
- Стандартний струм розряду 400 мкА;
- Тривалий струм розряду (макс) 3 мА;
- Імпульсний струм розряду (макс) 15 мА;
- Розміри: Ø 20х3,2 мм
- низький рівень саморозряду;
- Відстань між висновками 1 мм;
- Тривалий термін зберігання;
- Широкий діапазон робочих температур від -20 ° С до 60 ° С.[22]

3.7. Побудова електрично-принципової схеми

Всі складові вище описані та обґрунтовані, побудуємо принципову схему для системи вимірювання витрати води (рис. 3.9).

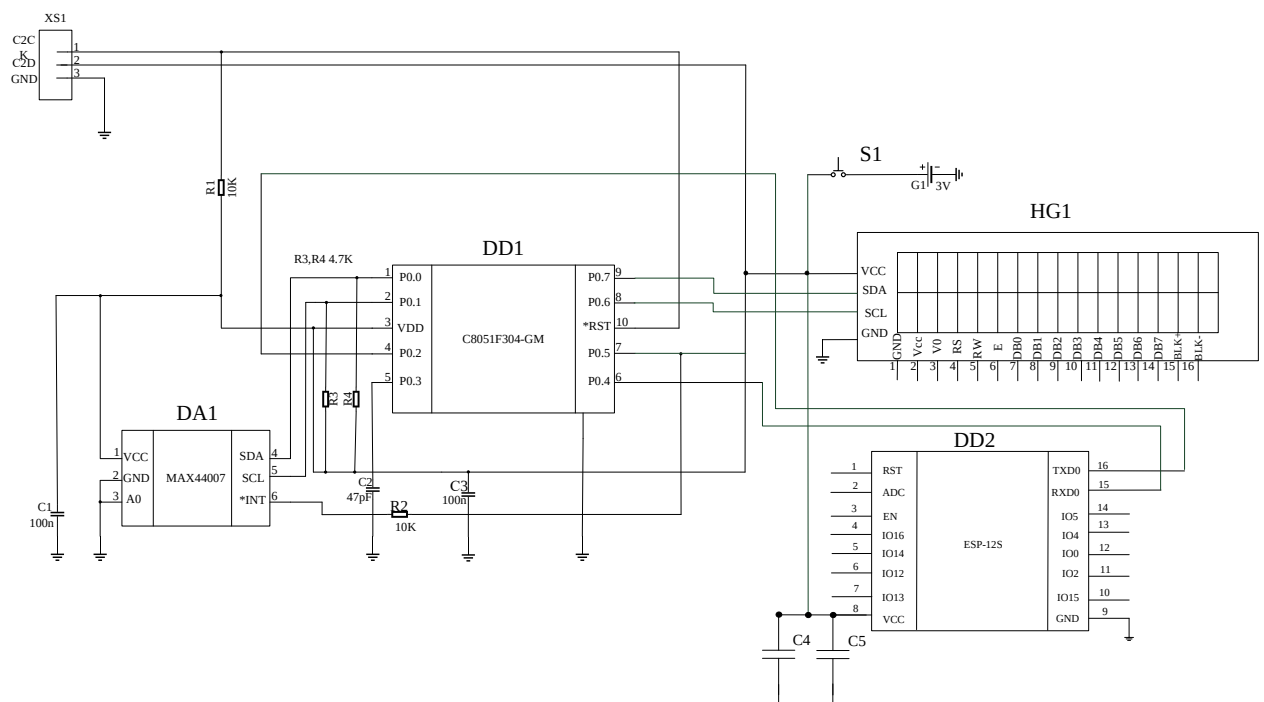


Рис. 3.9. Принципова схема

Складові схеми системи наступні:

- DD1 – 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 програматора;
- G1– Батарейка C2032;
- 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.

3.8.Розробка друкованої плати

Друкована плата була розроблена в середовищі онлайн-платформою для проектування електронних схем і друкованих плат Easyeda.

EasyEDA є онлайн-платформою для проектування електронних схем і печатних плат (PCB). Це безкоштовний інструмент, який надає широкий набір функцій для розробки електроніки, а також можливості співпраці з іншими користувачами.

EasyEDA має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його досить простим у використанні для новачків, але в той же час потужним для досвідчених інженерів. Він дозволяє створювати схеми за допомогою графічного інтерфейсу, перетягуючи і з'єднуючи компоненти з бібліотеки.

Основні можливості EasyEDA включають:

1. Проектування схем: EasyEDA дозволяє створювати схеми за допомогою графічного інтерфейсу. Ви можете вибрати компоненти з бібліотеки, перетягувати їх на дошку і з'єднувати за допомогою проводів.

2. Симуляція: EasyEDA має вбудований симулятор, який дозволяє перевірити роботу вашої схеми перед виготовленням фізичного прототипу. Ви можете проводити аналогові, цифрові та змішані симуляції.

3. Розміщення компонентів: Після створення схеми ви можете розмістити компоненти на печатній платі. EasyEDA надає інструменти для оптимізації розміщення компонентів, маршрутизації з'єднань і створення трасу.

4. Перевірка правил проектування: EasyEDA автоматично перевіряє ваш проект на відповідність правилам проектування, таким як правила розміщення, довжина трасування, розриви траси і так далі. Це допомагає уникнути потенційних проблем при виробництві плати.

5. Спільна робота: EasyEDA дозволяє співпрацювати з іншими користувачами, ділитися проектами та працювати над ними разом. Ви можете запросити інших користувачів на співпрацю або дозволити публічний доступ до своїх проектів.

6. Замовлення печатних плат: EasyEDA надає можливість замовити виготовлення печатної плати безпосередньо з платформи. Ви можете завантажити свій проект, налаштувати параметри виробництва (такі як матеріал, розміри і кількість шарів) і замовити виготовлення плати у партнерських компаній.

EasyEDA є потужним інструментом для проектування електроніки, який поєднує зручний інтерфейс, симуляцію, спільну роботу і можливість замовлення печатних плат. Він зручно підходить як для початківців, так і для досвідчених інженерів, які шукають простий інструмент для розробки електроніки.[23]

На рисунку 3.10 зображена друкована плата системи освітленості розроблена в середовищі Easyeda.

Система контролю освітленості зібрана на друкованій платі розміром 30 60 мм, спроектованої в системі Easyeda. Сенсор встановлений на окремій платі разом із конденсатором C1 та резистором R4. Таке рішення було прийнято на етапі проектування для спрощення, за необхідності, заміни сенсора на MAX44009.

Розміри деталей на друкованій платі:

1) Розмір дисплею: Дисплей NHD-C12832A1Z є графічним OLED-дисплеєм, випущеним компанією Newhaven Display International. За даними, доступними у технічній документації, розмір цього дисплею складає близько 37,0 мм x 27,4 мм (ширина x висота). Зазначені розміри вказують на активну область дисплею, яка відображає зображення, і не враховують рамку або інші зовнішні елементи.

2) Мікроконтролер: Сімейство мікроконтролерів C8051F30x мають стандартний розмір 3x3 мм. Вони являються одними з найбільш мініатюрних мікроконтролерів.

3) Датчик освітленості MAX44007: Датчик освітленості MAX44007, випущений компанією Maxim Integrated, має розміри корпусу SMD (Surface Mount Device) інтегральної схеми. Розміри цього корпусу відомі як 2.0 мм x 2.0 мм x 0.6 мм (ширина x довжина x висота). Варто зазначити, що це відноситься до розмірів самої інтегральної схеми, без урахування додаткових компонентів, таких як контакти, паяльні кульки та інші елементи монтажу.

4) Розмір батарейки живлення: Батарейка CR2032 є досить поширеною типовою батарейкою. Розміри цієї батарейки становлять приблизно 20 мм у діаметрі та 3,2 мм висотою. CR2032 є літієвою кнопковою батарейкою, яка широко використовується у різних електронних пристроях, таких як годинники, пульти дистанційного керування, комп'ютерні материнські плати та інші пристрої.

Висновок до 3 розділу

В третьому розділі були описані вибрані елементи системи. А саме проведений опис технічних характеристик та опис підключення. В якості мікроконтролера був обраний C8051F304, в якості датчика освітленості MAX44007, wi-fi модуль ESP-12S, дисплей рідкокристалічний LCD 1602 Blue I2C, батарейка C2032 та кнопка PB22E07.

Враховуючі обрані елементи була накреслена принципова схема. На базі принципової схеми було спроектовано побудовано друковану плату.

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

4.1.Розробка алгоритму

Для роботи комп'ютеризованої системи для вимірювання було побудованого блок-схему алгоритму, що представлений на рис.4.1.

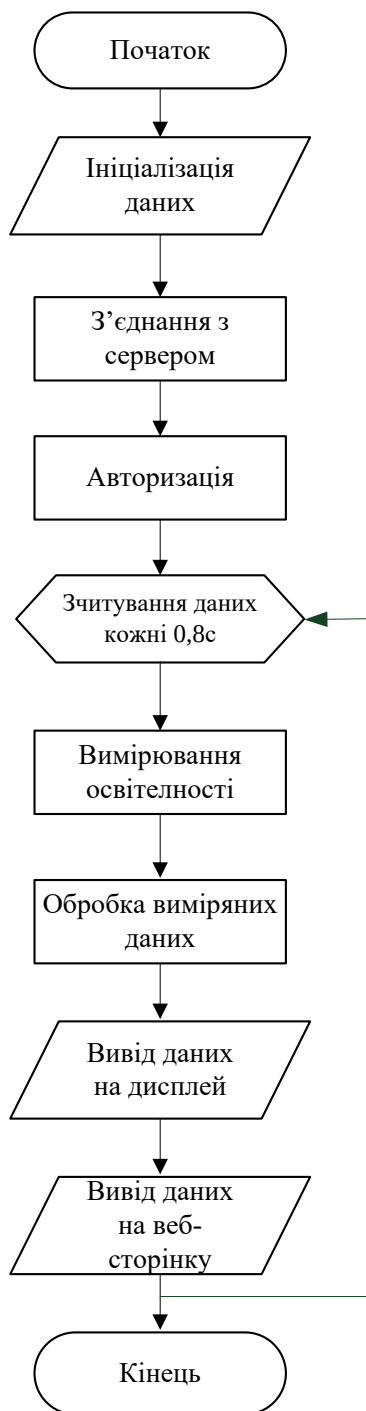


Рис.4.1.Блок-схема алгоритму

Алгоритм, який зображений на рисунку 4.1, розподілений на кілька етапів. Нижче наведено розширений опис кожного етапу:

1. Початок:

- Запускається програма або скрипт для виконання алгоритму.

2. Ініціалізація даних Підключення бібліотек:

- Імпортуються необхідні бібліотеки, які будуть використовуватись у програмі. Наприклад, бібліотека для зчитування даних з датчика освітленості та, або для виводу інформації на дисплей;

- Виконується ініціалізація змінних або структур даних, необхідних для зберігання вимірюваних даних та проміжних результатів обробки;

- Встановлюються константи, які визначають параметри алгоритму. Інтервал часу між зчитуваннями даних (0,8 секунди), максимальне значення освітленості або інші налаштування.

3. Блок з'єднання з сервером виконує пошук смартфоном/планшетом/ноутбуком системи вимірювання витрат води.

4. Блок авторизація підтверджує підключення за логіном та паролем користувача.

5. Зчитування даних кожні 0,8 секунди:

- Починається цикл, що забезпечує повторення певних дій з заданим інтервалом часу (0,8 секунди). У цьому випадку, зчитування даних про освітленість виконується кожні 0,8 секунди.

6. Вимірювання освітленості:

- Здійснюється зчитування значення освітленості з відповідного датчика або джерела. Це може виконуватись за допомогою виклику відповідної функції або методу, наданого бібліотекою.

7. Обробка виміряних даних:

- Отримані дані про освітленість піддаються обробці або аналізу. Цей етап може включати фільтрацію шумів, обчислення середніх значень, порівняння з попередніми виміряними даними або будь-яку іншу операцію залежно від вимог програми.

8. Вивід даних на дисплей:

- Після обробки виміряних даних результати виводяться на дисплей або інше візуальне пристрій для подальшого відображення користувачу.

9. Вивід даних на веб-сторінку. Блок виконує передачу даних по wi-fi та відображення показників їх аналіз на веб-сторінці.

10. Кінець:

- Програма або скрипт завершує своє виконання, алгоритм завершує роботу.

4.2.Розробка програми для мікронконтролеру

Програма була написана на мові програмування Assambler.

Мова програмування Assembler, також відома як мова асемблера, є низькорівневою мовою програмування, яка використовується для програмування архітектури процесора і перетворення машинного коду на асемблерний код. Assembler набагато ближча до машинного коду, ніж вищорівневі мови програмування, оскільки використовує мнемоніки та символи, що відповідають конкретним командам процесора.

Головна мета Assembler - забезпечити пряме управління апаратним забезпеченням комп'ютера і реалізувати операції на найнижчому рівні. Вона дозволяє програмістам маніпулювати регістрами процесора, оперативною пам'яттю, ввідно-вивідними пристроями та іншими аспектами апаратного забезпечення безпосередньо.

Оскільки Assembler використовується для програмування на рівні машинного коду, вона є дуже конкретною для конкретної архітектури процесора. Тобто, інструкції Assembler будуть варіюватися залежно від використовуваної архітектури процесора. Наприклад, код, написаний для процесора Intel x86, буде відрізнятися від коду для процесора ARM.

Assembler надає можливість прямо керувати пам'яттю комп'ютера та виконувати низькорівневі операції. Це дозволяє програмістам оптимізувати ефективність програм, написаних на Assembler, зменшуючи кількість інструкцій, що виконуються процесором.

Іншою важливою особливістю `Assembler` є те, що вона використовується для написання власних підпрограм та операційних систем. Багато операційних систем та низькорівневих програм були написані на `Assembler` для досягнення максимальної продуктивності та ефективності.

Однак, програмування на `Assembler` може бути складним та вимагати глибоких знань про архітектуру процесора та його операції. Код на `Assembler` зазвичай складний для розуміння та підтримки. Тому використання `Assembler` в сучасних проектах обмежене і частіше використовуються вищорівневі мови програмування, які надають більш високий рівень абстракції.

У підсумку, `Assembler` є мовою програмування низького рівня, яка дозволяє програмістам напряму взаємодіяти з апаратним забезпеченням комп'ютера. Вона використовується для ефективного програмування на рівні машинного коду, оптимізації продуктивності та написання низькорівневих операційних систем.

Код в додатку 1 представлений для мікроконтролера типу `C8051F300-C8051F300`. Програма здійснює взаємодію з різними пристроями, зокрема з `LCD`-дисплеєм і сенсором освітленості `MAX44007`.

Основні елементи програми:

Цей код є фрагментом програми, написаної для мікроконтролера `C8051F300`. Програма виконує керування підключеним пристроєм `MAX44007`, який є датчиком освітленості. Основна частина програми знаходиться у функції ``main``.

Основні частини коду:

1. Оголошення пінів: ``SDA``, ``SCL``, ``A0``, ``RST``, ``CS``. Ці константи визначають піни мікроконтролера, які використовуються для зв'язку з `LCD` інтерфейсом.

2. Оголошення змінних: ``pag``, ``col``, ``width``, ``height``, ``showMode``, ``lx_old``, ``digits``, ``fraCount``. Ці змінні використовуються для збереження даних та налаштувань програми.

3. Налаштування портів: функція ``Ports_Setup`` налаштовує вхідні та вихідні режими для певних пінів мікроконтролера.

4. Налаштування годинника: функція `'Clock_Setup'` налаштовує внутрішній генератор тактових сигналів з частотою 20 МГц.

5. Налаштування таймерів: функція `'Timers_Setup'` налаштовує таймери, використовувані для I2C комунікації та інших завдань.

6. Налаштування переривань: функція `'INT0_Setup'` налаштовує переривання INT0.

7. Налаштування I2C: функція `'I2C_Setup'` налаштовує I2C комунікацію з датчиком освітленості MAX44007.

8. Налаштування MAX44007: функція `'MAX44007_Setup'` виконує послідовність команд для налаштування датчика освітленості.

9. Головний цикл програми: мітка `'loop'` позначає головний цикл програми, який виконується постійно. У циклі вимірюється значення освітленості, порівнюється з попереднім виміром і виводиться на LCD.

Цей код виконується на мікроконтролері C8051F304 і забезпечує зчитування значень освітленості і відображення їх на LCD-дисплеї.

Код програми для розробленої системи представлений в Додатку А.

4.3. Розробка програми для веб-сторінки

Для створення веб-сторінки будуть використані наступні інструменти: HTML, CSS, JavaScript і JSON.

HTML і CSS застосовуватимуться для створення структури та стилізації сторінки. Сторінка буде реалізована у вигляді табличної верстки, де в рядках таблиці відображатимуться дані: поточний рівень освітленості, графік освітленості протягом дня, аналіз відхилень освітленості.

JavaScript використовуватиметься як мова програмування для забезпечення динамічності та інтерактивності веб-сайту.

JSON слугуватиме для передачі структурованих даних через мережу. Його основною метою є обмін інформацією між клієнтом і сервером у реальному часі без необхідності використання додаткових плагінів, таких як Flash чи Java-аплети. [23]

Розроблена програма для веб-сторінки представлена в Додатку Б.

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

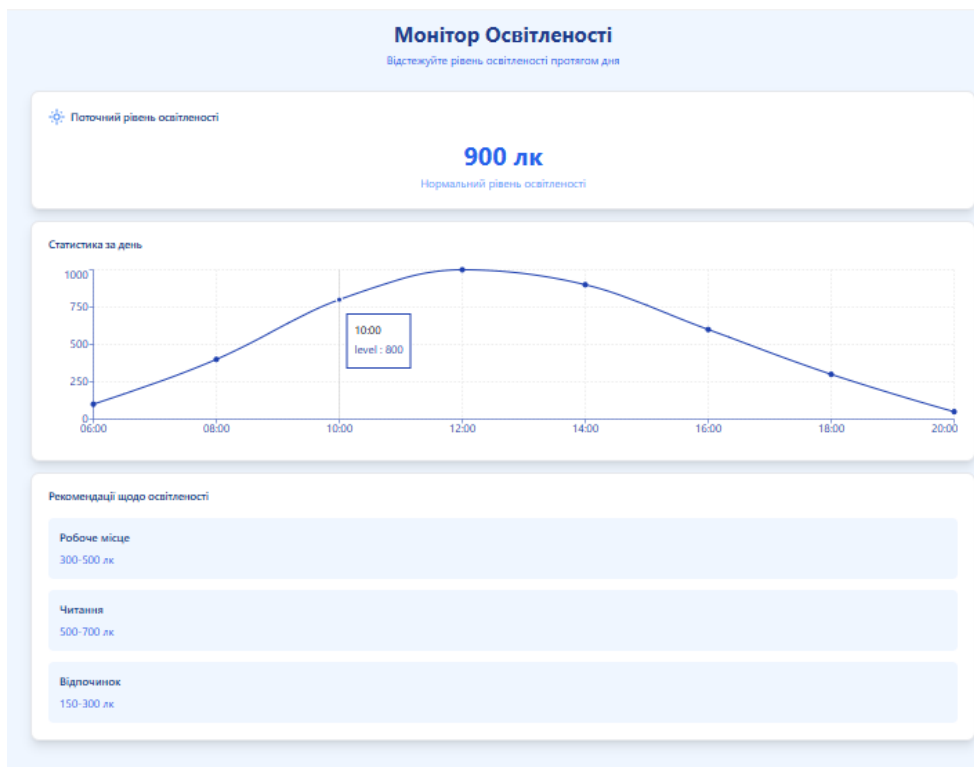


Рис.4.2. Скріншот 1 робочої веб-сторінки



Рис.4.3. Скріншот 2 робочої веб-сторінки

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.

1. Про моделювали 20 значень освітленості протягом доби з різними відхиленнями:

2. Вранці (5:00) - недостатнє освітлення (50 лк);
3. Пік освітленості о 12:00 (1500 лк) - надмірне освітлення;
4. Раптове затемнення о 16:00 (80 лк);
5. Поступове зниження ввечері.

Інтерфейс відображає індикатори відхилень:

- Червоний колір для надмірного освітлення (>1000 лк);
- Жовтий колір для недостатнього освітлення (<100 лк);
- Зелений колір для нормального діапазону.

3. Інтерфейс містить додаткові функції:

- Референсні лінії на графіку для мінімальної та максимальної норми;
- Кольорові точки на графіку відповідно до статусу;
- Попереджувальні іконки при відхиленнях;
- Інформаційний блок з поясненням норм.

4.4. Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації

За робочий день було проведено зняття показів освітленості. Протягом дня кожні 30 хвилин був здійснений моніторинг витрати води на промисловому підприємстві. Показники витрати води були зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Показники вимірювання освітленості

№	Час	Рівень (лк)	Статус	Відхилення
1	05:00	50	Недостатнє	Нижче норми
2	06:00	150	Нормальне	
3	07:00	280	Нормальне	
4	08:00	450	Нормальне	
5	09:00	1200	Надмірне	Вище норми
6	10:00	850	Надмірне	Вище норми
7	11:00	600	Нормальне	
8	12:00	1500	Надмірне	Вище норми
9	13:00	950	Надмірне	Вище норми
10	14:00	750	Нормальне	
11	15:00	650	Нормальне	
12	16:00	80	Недостатнє	Нижче норми
13	17:00	400	Нормальне	
14	18:00	350	Нормальне	
15	19:00	200	Нормальне	
16	20:00	100	Недостатнє	Нижче норми
17	21:00	60	Недостатнє	Нижче норми
18	22:00	40	Недостатнє	Нижче норми
19	23:00	30	Недостатнє	Нижче норми
20	00:00	20	Недостатнє	Нижче норми

Графік розподілу вимірних даних представлений на рис.4.4.

Графік освітленості

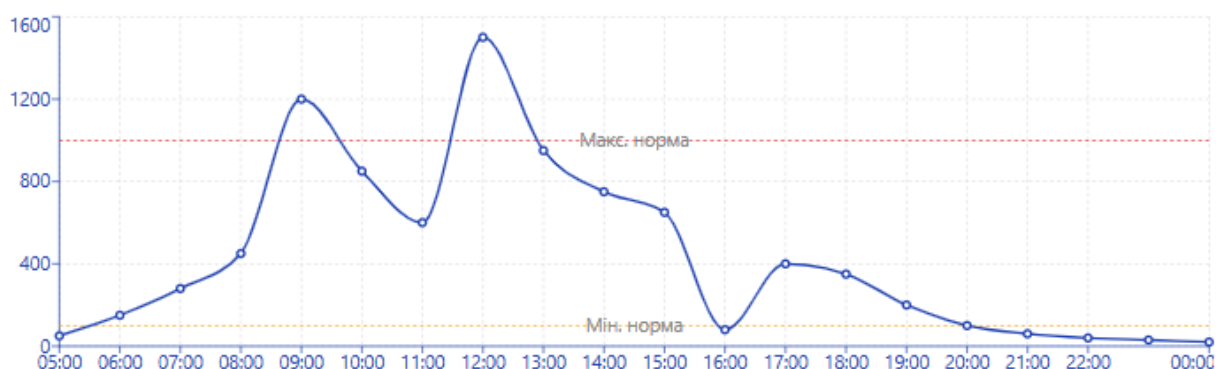


Рис.4.4. Розподіл вимірних даних освітленості від часу

Потрібно зробити обробку результатів вимірювання. Вимірювання можуть бути з помилками та грубими відхиленнями. Для автоматизації

обрахунку потрібно написати програму для методів програмно-алгоритмічної вимірювальної інформації.

Для виключення грубих похибок застосовують апарат перевірки статистичних гіпотез. У метрології використовуються статистичні гіпотези, під якими розуміють гіпотези про вид невідомого розподілу, або про параметри відомих розподілів.

Областю прийняття гіпотези (областю допустимих значень) називають сукупність значення критерію, при яких гіпотезу приймають. Критичною називають сукупність значень критерію, при яких нульову гіпотезу відкидають. Область прийняття гіпотези і критична область розділені критичними точками, що дорівнюють табличним значенням критеріїв.

Нульова статистична гіпотеза підтверджує належність "підозрілого" результату вимірювання (спостереження) даній групі вимірювань, що перевіряється. Формальним критерієм аномальності результату спостережень (підставою для ухвалення конкуруючої гіпотези: "підозрілий" результат не належить даній групі вимірювань) при цьому служить межа, що відстоїть від центру розподілу на величину tS .

Таким чином, межі похибок залежать від виду розподілу, об'єму вибірки і вибраної довірчої ймовірності. При обробці вже наявних результатів спостережень довільно відкидати окремі результати не слід, оскільки це може привести до фіктивного підвищення точності результату вимірювань. Група вимірювань (вибірка) може містити декілька грубих похибок і їх виключення проводять послідовно, тобто поодинці.

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:

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

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 А (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:

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

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:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{20}} \quad (4.7)$$

Для обрахунку виміряних значень була створена програма Додаток Б.

Проведемо експеримент з вибіркою в 20 значень та отримаємо відповідні дані табл.4.2.

Вибірка X1:

X1 = [50 150 280 450 1200 850 600 1500 950 750 650 80 400 350 200 100 60 40 30 20];

Середньоарифметичного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i = 435.500.$$

Середньо геометричного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} = 226.793.$$

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

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} = 315.00.$$

Оцінки випадкової величини наступні:

Оцінка дисперсії: 430.306.

Середньоквадратичного відхилення середнього значення: 96.219.

Висновок: значення не перевищують допустимий діапазон.

Визначаємо закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X1 рис.4.2.

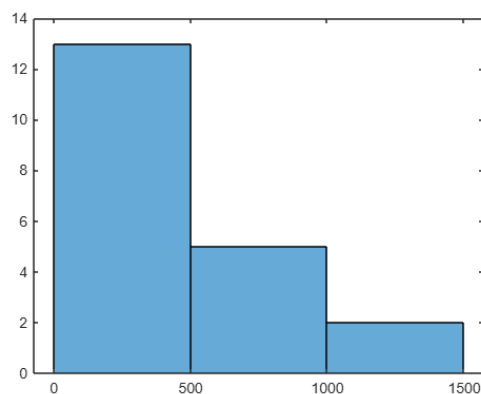


Рис.4.2. Закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки $X1$

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	50	Відсутня
2	150	Відсутня
3	280	Відсутня
4	450	Відсутня
5	1200	Присутня
6	850	Відсутня
7	600	Відсутня
8	1500	Присутня
9	950	Відсутня
10	750	Відсутня
11	650	Відсутня
12	80	Присутня
13	400	Відсутня
14	350	Відсутня
15	200	Відсутня
16	100	Відсутня
17	60	Відсутня

18	40	Відсутня
19	30	Відсутня
20	20	Відсутня

Як бачимо з результатів обчислення, результати вимірювання 1200,1500 та 80 вважаються помилковим, тому їх потрібно виключити при подальшій обробці результатів спостережень.

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	<i>Присутня</i>
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

За обрахунками значення з грубою помилкою виявилося 1500, при подальшій роботі з вибіркою потрібно виключити це значення.

Оцінки елімінованого масиву за критерієм Діксона.

Середнє значення: 435.500.

Допустимий діапазон: 435.500 +/- 167.422.

Висновки до 4 розділу

В четвертому розділі було розроблено програмне забезпечення для системи вимірювання та контролю освітленості, веб-сторінки для відображення значень освітленості та оцінки вимірних значень.

Для роботи системи в цілому була складаний алгоритм та написана програма для мікроконтролеру. Була створена веб-сторінка для відображення показів освітленості приміщення за певні проміжки часу. Також на веб-сторінці були відображені графік освітленості та аналіз відхилень.

Було проведено вимірювання освітленості протягом дня та відображено 20 значень. Був зроблений аналіз вибірки. Значення мають відхилення вище норми, нижче норми та в нормі. Це в свою черги спричинено освітленням протягом доби дня. Також для аналізу вибірку було обраховано середнє значення, медіана, середнє квадратичне значення, дисперсія. Вимірні дані оцінені за критеріями Ірвіна, Романовського та Діксона. За вимірними критеріями програма визначила, що є не припустимі значення.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану систему для вимірювань та контролю освітленості виробничих приміщень.

У першому розділі проведено загальний огляд існуючих пристроїв для вимірювання освітленості виробничих приміщень. До переваг люксометрів можна віднести: точність вимірювання, простота використання, портативність, широкий діапазон вимірювання, можливість збереження даних. До недоліків відносяться: чутливість до зовнішніх факторів, необхідність калібрування, обмеження по спектру, вартість, обмежений термін служби сенсора залежність від кута вимірювання.

Також розглянуті методи вимірювання освітленості. Для розробки вимірювальної системи освітленості виробничих приміщень обрано метод вимірювання освітленості люксометром на базі фотоелектричного датчика.

В другому розділі були розглянуті основні функції системи. Це зчитування сигналу з датчика освітленості, обробка вимірюваних даних, відображення на дисплей та передача вимірюваних даних по wi-fi модулю до веб-сторінки. Обґрунтовано вибір кожного компонента структурної схеми.

В третьому розділі були описані вибрані елементи системи. А саме проведений опис технічних характеристик та опис підключення. В якості мікроконтролера був обраний C8051F304, в якості датчика освітленості MAX44007, wi-fi модуль ESP-12S, дисплей рідкокристалічний LCD 1602 Blue I2C, батарейка C2032 та кнопка PB22E07.

Враховуючі обрані елементи була накреслена принципова схема. На базі принципової схеми було спроектовано побудовано друковану плату.

В четвертому розділі було розроблено програмне забезпечення для системи вимірювання та контролю освітленості, веб-сторінки для відображення значень освітленості та оцінки вимірюваних значень.

Для роботи системи в цілому була складаний алгоритм та написана програма для мікроконтролеру. Була створена веб-сторінка для відображення

показів освітленості приміщення за певні проміжки часу. Також на веб-сторінці були відображені графік освітленості та аналіз відхилень.

Було проведено вимірювання освітленості протягом дня та відображено 20 значень. Був зроблений аналіз вибірки. Значення мають відхилення вище норми, нижче норми та в нормі. Це в свою черги спричинено освітленням протягом доби дня. Також для аналізу вибірку було обраховано середнє значення, медіана, середнє квадратичне значення, дисперсія. Вимірянні дані оцінені за критеріями Ірвіна, Романовського та Діксона. За виміряними критеріями програма визначила, що є не припустимі значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Люксметр PCE-CRM 40 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pragmatic.com.ua/pce-crm_40.
2. Trotec BF06 портативний люксметр [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pragmatic.com.ua/trotec-bf06-portativnyy-lyuksmetr.html>.
3. Люксметр цифровой BSIDE L1 LUX METER [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gadgetarium.com.ua/p2119054807-lyuksmetr-tsifrovoj-bside.html>.
4. Цифровий люксметр UNI-T UT383 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://storgom.ua/novosti/metodika-izmereniya-osvesthennosti-lyuksmetrom.html>.
5. Методи та методика вимірювання освітленості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://storgom.ua/novosti/metodika-izmereniya-osvesthennosti-lyuksmetrom.html>.
6. Методи вимірювання світлових величин [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_11/page9.html.
7. Мікроконтролер і його види [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер>.
8. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: Навчальний посібник. – Харків: НТУ, «ХП», 2007. 280с.
9. Як обрати мікроконтролер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiostorage.net/1023-kakoj-vybrat-mikrokontroller.html>.
10. Як працює Wi-Fi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://plenet.com.ua/?p=1036>.
11. 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>.
12. Датчик освітленості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Датчик_освітленості

13. 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>.

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

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

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

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

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

19. Датчик освітленості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://1wire.com.ua/max44009-cifrovoj-datchik-osveshhenosti.html>.

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

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

22. Батарейка C2032 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ksger.com.ua/CR2032san.html>.

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