

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмних засобів

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО
КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ В СИСТЕМІ ДОМАШНЬОЇ
АВТОМАТИЗАЦІЇ.

SOFTWARE FOR REMOTE LIGHTING CONTROL
IN A HOME AUTOMATION SYSTEM

Виконав: студент 4 курсу, групи КНТ-218

Спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Комп'ютерні науки

Породько М.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Пархоменко А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Поляков М.О.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних наук і технологій
Кафедра програмних засобів
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Комп'ютерні науки
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЗ, д.т.н, проф.
С.О. Субботін
“ ” 2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Породька Максима Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Програмне забезпечення для віддаленого керування освітленням в системі домашньої автоматизації. Software for Remote Lighting Control in a Home Automation System

керівник проєкту (роботи) Пархоменко Анжеліка Володимирівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “27” квітня 2022 року № 102

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 6 червня 2022 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз предметної області. 2. Аналіз технологій та засобів передачі даних для підсистеми керування освітленням. 3. Проєктування програмного забезпечення. 4. Конструювання програмного забезпечення. 5. Керівництво програміста. 6. Керівництво користувача. 7. Текст програми.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6 Основна частина	Пархоменко А.В., доцент		
Нормоконтроль	Дейнега Л.Ю., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання “ 20 ” лютого 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдання роботи	1 тиждень	Завдання, ТЗ
2	Аналіз предметної області	2-3 тижні	Розділ 1
3	Розробка архітектури підсистеми	4 тиждень	Розділ 2
4	Розробка програмного забезпечення	5-6 тижні	Розділ 3
5	Тестування та експериментальне дослідження програми	7 тиждень	Розділ 4
6	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї. Нормоконтроль та рецензування	8 тиждень	Додатки
7	Захист роботи	9 тиждень	

Студент(ка)

(підпис) Порodyкo M.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис) Пархоменко А.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи бакалавра: 89 с., 35 рис., 10 табл., 2 дод., 73 джерел.

СИСТЕМА ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ПІДСИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ, WI-FI ПРОТОКОЛ, ESP МОДУЛЬ, BLYNK ЗАСТОСУНОК, ANDROID.

Об'єкт дослідження – процес віддаленого керування освітленням.

Предмет дослідження – програмні та апаратні засоби віддаленого керування освітленням в системі домашньої автоматизації (СДА).

Мета роботи – розробка підсистеми віддаленого керування освітленням СДА на основі бездротових та мобільних технологій для ефективного використання електроенергії.

Матеріали, методи та технічні засоби: мова програмування C++, середовище розробки Arduino IDE, Wi-Fi модуль ESP8266 Witty Cloud, застосунок Blynk, ОС Android.

Результати. На основі використання бездротових та мобільних технологій, створено мобільний застосунок для віддаленого керування освітленням в СДА за допомогою смартфона.

Висновки. Розроблене програмне забезпечення допомагає легко та зручно працювати з підсистемою керування освітленням СДА, надає можливість робити це дистанційно та економити електроенергію.

Галузь використання – системи домашньої та офісної автоматизації.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the bachelor: 89 pages, 35 figures, 10 tables, 2 appendixes, 73 sources.

HOME AUTOMATION SYSTEM, LIGHT CONTROL SUBSYSTEM, WI-FI PROTOCOL, ESP MODULE, BLYNK APPLICATION, ANDROID.

Object of study is the process of remote control of lighting.

Subject of study are software and hardware for remote control of lighting in Home Automation System (HAS).

The goal of the work is to develop a subsystem for remote control of lighting in the HAS based on wireless and mobile technologies for efficient usage of electricity.

Materials, methods, and tools: programming languages C++, Arduino IDE integrated development environment, Wi-Fi module ESP8266 Witty Cloud, Blynk application, Android OS.

Results. Based on the usage of wireless and mobile technologies, the mobile application was created for remote control of lighting in HAS using a smartphone.

Conclusions. The developed software helps to work easily and conveniently with the HAS lighting control subsystem, provides the ability to do it remotely and save electricity.

The field of application are home and office automation systems.

ЗМІСТ

	С.
Перелік скорочень та умовних позначок.....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз предметної області.....	10
1.1 Особливості розробки інтелектуальної системи керування освітленням.....	10
1.2 Архітектура системи керування освітленням.....	12
1.2.1 Датчики для ІСКО	15
1.2.2 Централізовані та розподілені системи керування освітленням.....	20
1.3 Дослідження існуючих систем керування освітленням.....	21
1.4 Висновки до розділу 1.....	26
2 Аналіз технологій та засобів передачі даних для підсистеми керування освітленням.....	27
2.1 Стандартизовані комунікаційні інтерфейси для підсистем керування освітленням	27
2.2 Огляд протоколів зв'язку для ІСКО	31
2.3 Огляд різновидів Wi-Fi модулів серії ESP.....	35
2.4 Висновки до розділу 2.....	41
3 Проєктування програмного забезпечення.....	42
3.1 Аналіз вимог.....	42
3.2 Розробка архітектури підсистеми.....	44
3.3 Вибір інструментарію розробки	45
3.3.1 Вибір способу інтеграції Arduino та Android.....	45
3.3.2 Огляд середовищ розробки для Wi-Fi модуля.....	49
3.4 Висновки до розділу 3.....	51
4 Конструювання програмного забезпечення.....	52
4.1 Алгоритми керування освітленням.....	52
4.2 Опис особливостей програмної реалізації.....	54

4.3 Висновки до розділу 4.....	55
5 Керівництво програміста.....	56
5.1 Призначення й умови застосування програми.....	56
5.2 Звернення до програми.....	56
6 Керівництво користувача.....	59
6.1 Призначення програми.....	59
6.2 Умови виконання та запуск програми.....	59
6.3 Виконання програми.....	59
6.4 Повідомлення користувачу.....	63
Висновки.....	65
Перелік джерел посилання.....	66
Додаток А Текст програми.....	74
Додаток Б Слайди презентації.....	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

API	– Application Programming Interface;
BLE	– Bluetooth Low Energy;
CCT	– Correlated Color Temperature;
CoAP	– Constrained Application Protocol;
CRI	– Color Rendering Index;
DALI	– Digital Addressable Lighting Interface;
ESP	– Electronic Stability Program;
HAS	– Home Automation System;
IDE	– Integrated Development Environment;
IoT	– Internet of Things;
LDR	– Light Dependent Resistor;
LED	– Light-Emitting Diode;
MQTT	– Message Query Telemetry Transport;
OLED	– Organic Light-Emitting Diode;
PIR	– Pyroelectric InfraRed;
PLC	– Power Line Communication;
VLC	– Visible Light Communication;
URL	– Uniform Resource Locator;
Wi-Fi	– Wireless Fidelity;
ІСКО	– інтелектуальна система керування освітленням;
МК	– мікроконтролер;
ОС	– операційна система;
ПЗ	– програмне забезпечення;
СДА	– система домашньої автоматизації.

ВСТУП

Енергетична криза є одним із найбільших викликів для всього світу за останні роки. Енергозберігаючі рішення є важливими в сучасному світі через екологічні проблеми, що зокрема пов'язані з надмірним використанням енергії. За статистикою, освітлювальні прилади споживають близько 20% енергії у світі від загального споживання енергії [1]. Тому активно ведуться дослідження та розробки, пов'язані зі створенням інтелектуальних енергоефективних систем керування освітленням, які можуть знизити споживання енергії, керуючи інтенсивністю світла за допомогою усвідомлення ситуації, відповідно до умов життя та роботи користувачів [2] - [3].

Існуючі системи керування освітленням можуть підтримувати лише просте включення/виключення або регулювання освітлення відповідно до руху користувача й яскравості навколишнього освітлення та зазвичай встановлюються на входних дверях або в коридорах. Але в складних середовищах, де є багато користувачів з різними потребами та вимогами, така система повинна бути розроблена з урахуванням як енергоефективності, так і задоволеності користувачів та потребує великої кількості елементів керування. Необхідно також враховувати, що використання сервера в таких системах також спричиняє суттєве споживання електроенергії [4] - [5].

Отже, актуальною задачею є розробка інтелектуальної системи керування освітленням (ІСКО), яка здатна забезпечити як енергоефективність, так і задоволеність користувачів. Така ІСКО використовує датчики руху, освітлення та технологію бездротового зв'язку для керування та моніторингу світлодіодного освітлення залежно від потреб користувача та навколишнього освітлення.

Метою роботи є розробка підсистеми віддаленого керування освітленням СДА на основі бездротових та мобільних технологій для ефективного використання електроенергії.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Особливості розробки інтелектуальної системи керування освітленням

У порівнянні з традиційною системою керування освітленням, заснованою на ручному включенні/виключенні, ІСКО дозволяє суттєво економити електроенергію шляхом оптимізації енергоспоживання (рис. 1.1) [6].

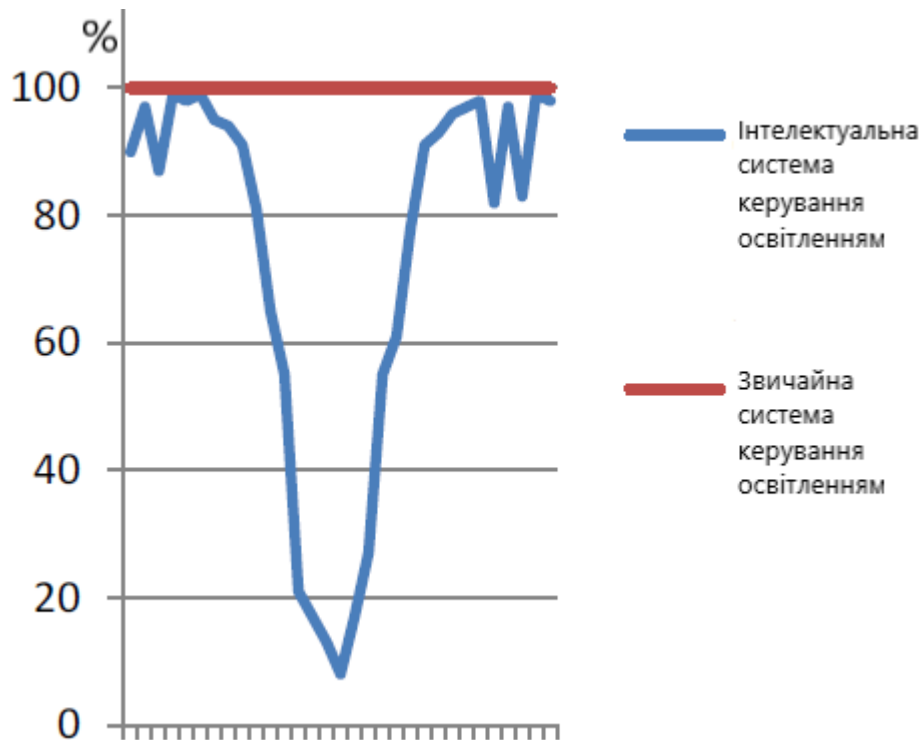


Рисунок 1.1 – Порівняння енергоспоживання в інтелектуальній та звичайній системах керування освітленням [6]

Така система використовує досягнення в області світлодіодів та інформаційно-комунікаційних технологій, такі як бездротові мережі та датчики, для створення ефективного та здорового освітлення [7]-[8]. Для цього використовується різна інформація, зокрема присутність мешканців і доступне денне світло, що може бути отримана з датчиків [9]-[12], а також потреби користувачів, встановлені мешканцями будівлі [13]-[14]. Світлодіодним освітленням можна керувати автоматично й ефективно за

допомогою цифрового вхідного сигналу. Економію енергії можна реалізувати шляхом оптимізації рівнів затемнення світлодіодів з метою мінімізації потужності споживання всіх світлодіодів, які підпадають під обмеження освітленості [15]. Однак у реальних системах, наприклад, у комерційних будівлях та громадських приміщеннях, освітлення динамічне, оскільки люди рухаються випадковим чином. Як наслідок, оптимізаційні моделі стали складними, трудомісткими та вимагають високопродуктивного обладнання. Відповідно, розробники ІСКО в реальності стикаються з рядом проблем.

По-перше, через велику кількість світильників, якими потрібно керувати, і важливість освітлення для здоров'я та безпеки людей, ІСКО стає складною. По-друге, потрібен баланс між продуктивністю системи та вартістю життєвого циклу, яка складається з проєктування, витрат на виготовлення та обслуговування. Зазвичай, чим точніший контроль забезпечує система, тим вище вартість її життєвого циклу. Однак продуктивність може не зростати пропорційно вартості системи. По-третє, у порівнянні з дротовою системою керування освітленням, бездротову систему легше розгорнути і вона є більш привабливою з точки зору подальшої модернізації, однак, інші проблеми можуть виникнути в бездротових системах, наприклад, більший трафік зв'язку, більші затримки [10], та, як наслідок, проблеми з освітленням [16].

Інтелектуальне освітлення - це поняття, яке охоплює різні технології: світлодіоди LED (Light-Emitting Diode) та OLED (Organic Light-Emitting Diode), цифрові датчики, драйвери приводів і комунікаційні інтерфейси. ІСКО програмується за допомогою передових алгоритмів управління та можуть бути організовані в мережі освітлення для дистанційної роботи. Деякі з рішень призначені для зміни світлового спектру або кольору. Вони також можуть контролювати рівень освітлення коли відбувається зовнішня подія, наприклад, поява мешканця в приміщенні, або транспортних засобів чи людей на дорозі. Мережа освітлення програмується з початковими

налаштуваннями, однак кожне незалежне джерело світла можна перепрограмувати, щоб реагувати на потреби людей і зміну ситуації протягом дня. Різноманітні цифрові комунікаційні інтерфейси, що призначені для розумного освітлення, - це цифровий адресний інтерфейс освітлення (Digital Addressable Lighting Interface, DALI), Ethernet, Wi-Fi, ZigBee Light Link або Bluetooth для програмування заздалегідь визначених зон і просторів. В сучасних ІСКО, як правило, області сегментуються залежно від людей або подій, які можуть відбутися. Це дозволяє системам розраховувати необхідний рівень освітлення, щоб можна було точно забезпечити рівні освітленості, які підходять для різних завдань користувачів, з урахуванням споживання електроенергії в режимі реального часу [17].

Розумні системи освітлення, організовані як мережі освітлення, часто дозволяють різним типам світильників взаємодіяти один з одним, щоб їх можна було синхронізувати. Також можна індивідуально керувати освітлювальним приладом через мережу за допомогою пульта дистанційного керування, наприклад, за допомогою програми з графічного інтерфейсу мобільного телефону або веббраузера [17].

Таким чином, розробка ІСКО є складною задачею, що потребує урахування багатьох факторів та обмежень.

1.2 Архітектура системи керування освітленням

Сучасні ІСКО об'єднують різні типи пристроїв, систем і мереж. На рисунку 1.2 показані ключові елементи архітектури ІСКО [17].

Пристрої – це в основному світильники, що містять датчики та виконавчі механізми. Спеціальні алгоритми дозволяють контролювати рівень денного світла, спектр освітлення або зайнятість користувача, щоб прийняти рішення про остаточну дію. Алгоритми виконуються всередині пристроїв, або щоб полегшити навантаження на пристрій, алгоритм може запускатися

безпосередньо в хмарі, щоб надсилати командні повідомлення для виконання різних дій керування [17].



Рисунок 1.2 – Ключові елементи системи керування освітленням [17]

Алгоритми розумного освітлення можуть надавати розширені функції, зокрема, налаштування відтворення кольору з метою впливу на циркадні ритми людини, для покращення настрою або концентрації уваги користувачів в режимі реального часу. Циркадні системи освітлення використовують динамічне спектральне відтворення, щоб налаштувати сприйняття білого кольору відповідно до людських ритмів у реальному часі.

Алгоритми людського фактора в основному намагаються адаптувати штучне освітлення до змін поведінки людини відповідно до віку, уподобань користувача та статі. За останні роки було доведено, як світло може модулювати багато невізуальних функцій, таких як біологічний годинник, який регулює наші 24-годинні циркадні ритми, нашу увагу, гормональну секрецію, температуру тіла і сон. Це пояснює, чому при оцінці циркадних

світильників найважливішою характеристикою є вміст спектру світла, а не колір чи корельована колірна температура [17].

Автори [18] вказують, що вплив світла відіграє вирішальну роль у біологічних процесах, впливаючи на настрій і пильність. Працівники можуть піддаватися впливу недостатнього або невідповідного світла вдень, що призводить до порушення настрою та зниження рівня пильності.

Відповідно, маючи контроль над спектральними властивостями світла у системі, можна модулювати та регулювати багато фізіологічних властивостей людини [17].

На системному рівні пристрої можуть бути зображені у фізичній та логічній ієрархії для спільної взаємодії в мережі освітлення. Ця мережа може бути розроблена для підтримки різних фізичних топологій, таких як кільце, зірка, лінійне дерево, шина, сітка або гібридне розташування, щоб забезпечити високий ступінь надійності. Як і у звичайних комунікаційних мережах, різні вузли можуть бути з'єднані кабелем або бездротовим способом, охоплюючи різні зони фізичної установки. Управління мережею може бути локальним або віддаленим і включати різні дротові або бездротові інтерфейси [17].

Зараз на ринку розробляються різні освітлювальні пристрої з різними варіантами підключення, щоб охопити декілька інтерфейсів дротового або бездротового зв'язку для належної роботи системи освітлення. Загальні інтерфейси дротового зв'язку [19] використовують протоколи 0-10 V, RS485, DALI, DMX, LON, KNX, BACnet, лінії електроживлення, TCP/IP. Крім того, з точки зору бездротових стандартів, світильники цифрового освітлення мають такі інтерфейси бездротового зв'язку, такі як Sub-GHz, IEEE802.15.4, Bluetooth, Wi-Fi, Visible Light Communication (VLC). Світлові рішення, орієнтовані на короткий діапазон підключення та низьке енергоспоживання [20] засновані на фізичному рівні IEEE 802.15.4, такому як ZigBee Light Link або 6LoWPAN [21]. До протоколів Інтернету Речей (Internet of Things, IoT) слід віднести COAP, MQTT та ін. [17].

1.2.1 Датчики для ІСКО

В основі ІСКО лежать різні сенсорні технології та комунікаційні інтерфейси, що спрямовані на керування освітленням залежно від змін навколишнього середовища за допомогою широкого спектру цифрових датчиків. На рисунку 1.3 показано основні типи датчиків, які використовуються в таких системах.



Рисунок 1.3 – Типи датчиків ІСКО [17]

Розумне освітлення включає датчики освітленості та фотоелементи, які виявляють невеликі зміни в рівнях освітленості, щоб урахувати умови денного освітлення. Датчики кольору RGB призначені для виявлення червоно-зелено-синього вмісту світла та налаштування білого світла в світлодіодних світильниках. Для оптичних комунікацій, включаючи підключення за технологією оптичного бездротового VLC, кілька технологій на основі фотодіодів можуть використовуватися в бездротових мережах [22].

Деякі освітлювальні платформи пропонують використання пасивних інфрачервоних датчиків (Pyroelectric InfraRed, PIR) для виявлення інфрачервоного випромінювання користувачів, що рухаються, регулюючи світловий потік відповідно до профілю зайнятості [23].

Крім того, розширені функції, такі як спектральне виявлення світла, забезпечуються мікроспектрометрами для виявлення спектру світла у видимому діапазоні, який може бути виявлений нашим оком. Ця функція важлива в системах циркадного освітлення для відтворення будь-якого спектру світла та налаштування величин, що вимірюють два різні аспекти кольору Color Rendering Index (CRI) та Correlated Color Temperature (CCT) в режимі реального часу. Крім того, як відомо, світлодіоди з часом зменшують свій максимальний світловий потік в основному через температуру або вплив старіння, і тому такі датчики та передові системи керування представляють інтерес для забезпечення оптимальної роботи системи освітлення [22].

Для реалізації контролю присутності запропоновано багато методів, включаючи PIR-датчики [23]-[25], мікрохвильові доплерівські датчики [26], ультразвукові датчики [27] та Wi-Fi датчики [28]. Типи датчиків виявлення присутності наведено на рисунку 1.4.

PIR-датчики широко використовуються для виявлення присутності, оскільки вони швидкодіючі та недорогі [29]. Зокрема, PIR-сенсор може виявляти випромінювання на довжині хвилі приблизно 10 мкм, що є піковою довжиною хвилі теплової енергії, що випромінюється людиною, а його вихідні параметри представлено нулем або одиницею, що відповідає стану відсутності та присутності, відповідно [30].



Рисунок 1.4 – Типи датчиків виявлення присутності

Хоча PIR-датчик може надати високий рівень точності 98,4%, він часто генерує помилковий результат, коли мешканці незначно рухаються, а також інколи не вдається виявити людей у спекотну погоду [29].

Мікрохвильовий доплерівський датчик використовує ефект Доплера для аналізу різниці частот між переданими та прийнятими сигналами [31].

Він може не тільки виявляти рух об'єктів, але й контролювати незначний рух. Оскільки мікрохвильові датчики мають високу чутливість, їм притаманні помилки через незначну сторонню вібрацію або швидке переміщення предметів у повітрі.

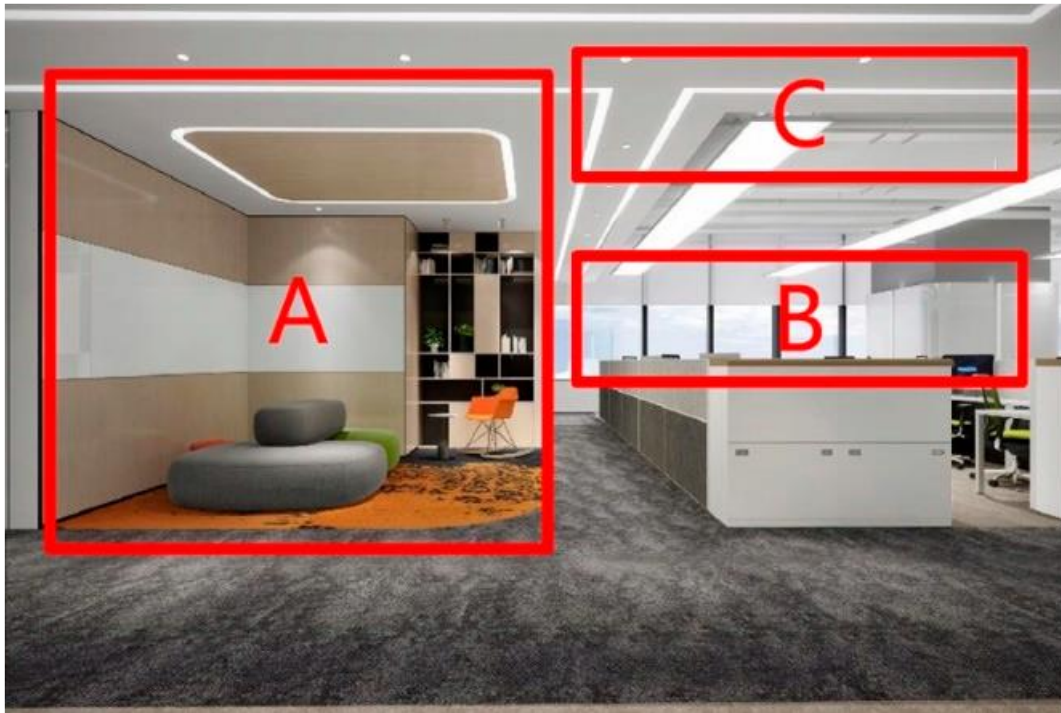
Ультразвукові датчики подібні до мікрохвильових, за винятком що високочастотні звукові хвилі використовуються для виявлення руху за доплерівським ефектом [32].

Ультразвукові датчики дуже підходять для виявлення присутності за перешкодами, тому присутність на також виявляється у суміжних приміщеннях та зовні, що призводить до хибнопозитивних помилок [30].

Wi-Fi також пропонується для визначення присутності, особливо для розміщення в приміщенні. Wi-Fi точки доступу виявляють присутність за допомогою сигналів Wi-Fi, що передаються мобільними пристроями. Недоліком цього підходу є те, що мешканці зобов'язані носити всі свої мобільні пристрої весь час [28].

Інші датчики, включаючи датчики CO₂ [33] та камеру [34], також можуть бути використані для виявлення присутності. Однак існує тривалий період затримки між присутністю людей і спрацюванням датчиків CO₂, в той час як підходи, засновані на використанні камери, вимагають додаткового освітлення та мають високе обчислювальне навантаження, а також проблеми з конфіденційністю.

Об'єднання даних з різних датчиків може забезпечити кращі результати, оскільки різні типи датчиків компенсують один одного [37]. Наприклад, в роботі [36] інтеграція декількох датчиків була запропонована для покращення ефективності виявлення присутності (рис. 1.5).



А - PIR-датчик; В – датчик освітленості, PIR-датчик, мікрохвильовий датчик;
С - PIR-датчик, мікрохвильовий датчик.

Рисунок 1.5 – Використання декількох типів датчиків для різних зон приміщення [36]

Автори роботи [37] використовували нейронну мережу радіальної базисної функції, вхідною інформацією для якої були попередньо оброблені дані датчиків температури, вологості, CO_2 , світла, звуку та руху, щоб оцінити кількість присутніх людей.

Автори роботи [38] оцінювали присутність шляхом виявлення руху, споживання енергії, концентрації CO_2 , мікрофона або положення дверей/вікон, і вибрали метод дерева рішень як модель прогнозування.

В роботі [33] представлено метод оцінки присутності в реальному часі, заснований на моделі умовного випадкового поля, який об'єднав інформацію з таких датчиків як: дверні лічильники, акустичні датчики, датчики руху PIR та CO_2 . Автори застосували модель з різними комбінаціями датчиків до чотирьох реальних приміщень: гостьової, кухні, кімнати для переговорів та офісу. Однак на ефективність цих методів об'єднання впливає подібність навчальних і тестових зразків. Наприклад, рівень виявлення

становив 64,83% для перехресної оцінки порівняно з 87,62% для самооцінки в роботі [31].

Автори роботи [31] розробили метод виявлення пішоходів у режимі реального часу, коли PIR-датчик використовувався при температурі навколишнього середовища нижче 40 С, а при вищих температурах він переключався на мікрохвильовий датчик. Причина такого рішення полягала в тому, щоб уникнути помилок роботи PIR датчиків при високих температурах, використовуючи переваги низького споживання енергії PIR датчиків. Хоча температура не впливає суттєво на PIR-датчики в приміщеннях, мікрохвильові датчики все ще можуть використовуватися для вирішення проблем PIR-датчиків, спричинених помилками виявлення.

Таким чином, в сучасних ІСКО виявлення мешканців має вирішальне значення для стратегії управління та економії енергії. Для виявлення мешканців може бути використано декілька сенсорних технологій, включаючи PIR [34], мобільні пристрої [22], а також комбінації PIR та мікрохвильового датчика, або PIR та ультразвукового датчика [35].

У більшості досліджень датчики розміщувалися разом із світильниками і виявляли присутність мешканців на рівні окремого робочого простору замість рівня зони та рівня приміщення [36]-[37]. Крім того, дослідники запропонували деякі методи оптимізації використання датчиків. Автори [38] сформулювали оптимальний алгоритм розгортання на основі адаптивного алгоритму рою бінарних частинок для сенсорних вузлів у площині будівлі для виявлення цілей за повного покриття та обмеженої вартості. Автори [39] проаналізували доцільність встановлення різних датчиків присутності за допомогою імовірнісної моделі та програмного забезпечення (ПЗ) для моделювання, інтегрованого з макетом будівлі та функціями освітлення, і вибрали найбільш рентабельний з урахуванням кількості мешканців, присутності та руху мешканців, а також дій та поведінки мешканців.

1.2.2 Централізовані та розподілені системи керування освітленням

Архітектура системи керування освітленням може бути централізованою або розподіленою [40]. У централізованій системі керування дані датчиків передаються на центральний контролер, де рівень затемнення відповідного світильника визначається законом керування та передається на світильник [28].

Навпаки, у розподіленій системі керування кожен сенсорний модуль має контролер і спілкується з сусідами для обчислення рівнів затемнення [25], [46].

У бездротових мережах порівняно з мережами централізованого керування, розподілена система керування вимагає більшої пропускної здатності та має більш високу вартість через більші обсяги обробки та зберігання в сенсорному модулі [47]. Однак централізованій системі керування потрібно більше часу для обробки даних у своєму центральному вузлі, що робить центральний вузол більш складним і вразливим і збільшує трафік і затримки системного зв'язку. Враховуючи надійність та швидкодію, може бути рекомендована для використання архітектура розподіленої системи керування.

Для визначення рівня затемнення світильників використовуються два різні методи керування: метод із закритим циклом і метод із відкритим циклом. Метод відкритого циклу вимірює вхідне денне світло та сигналізує контролеру про пропорційне затемнення світильника на основі внеску денного світла [48].

Метод закритого циклу регулює рівень затемнення світильника, щоб гарантувати, що сукупний внесок денного та штучного світла підтримує потрібний рівень освітлення.

Зокрема, пропорційний інтеграл і пропорційний інтегральний диференціал є двома часто використовуваними методами закритого

циклу [40]. Порівняно з методом закритого циклу продуктивність методу відкритого циклу впливає на відсутність зворотнього зв'язку. Однак метод відкритого циклу є більш економічним через врахування обмежених можливостей обробки мікроконтролера (МК) в сенсорному модулі, а також більш стійким до помилок при розміщенні датчиків світла. Крім того, до методів керування застосовуються алгоритми оптимізації та машинне навчання, щоб мінімізувати загальну освітленість [40] та зробити систему керування більш інтелектуальною [48]. Хоча алгоритми оптимізації дозволяють досягти високої економії енергії, вони споживають більше обчислювальних ресурсів і багато часу та рідко враховують переміщення людей.

1.3 Дослідження існуючих систем керування освітленням

Philips Hue – це IoT платформа керування освітленням, заснована на чотирьох основних компонентах: світлодіодні світильники, міст з підключенням до Інтернету, вебсервіс та застосунки для смартфонів з відкритим Application Programming Interface (API) для надсилання та отримання команд. Розумні світильники Hue містять три типи світлодіодів RGB, спеціально підібраних для динамічного створення діапазону кольорів та інтенсивності. Власник світильників може створити сітчасту мережу, яка дозволяє кожному ліхтарю передавати повідомлення наступному, розширюючи діапазон і роблячи систему більш надійною. Ця система підключається до Інтернету через шлюз, який підтримує стек Ethernet і протокол ZigBee Light Link. Ця система використовує API як інструмент для керування світлом. Це адаптивний інтерфейс RESTful через протокол HTTP. Метою цього інтерфейсу вебслужби є надання кожному індикатору в системі URL-адреси в локальній мережі. Крім того, різні контрольовані параметри цих світильників зберігаються як локальні URL-адреси. Це означає, що

керування світлом здійснюється шляхом простого надсилання нового значення на цю локальну URL-адресу [17].

Osram LIGHTIFY це IoT платформа для світлодіодних світильників із підключенням до Інтернету, для дому та промислового застосування. Ця система має масштабовані функції та додаткові послуги, такі як різні варіанти інтерфейсу, підтримує різні профілі клієнтів і має опцію керування через програмний API на основі вебсервісу REST. Системою можна зручно керувати за допомогою планшету або смартфона з мобільним застосунком в операційній системі Android або iOS. Для підключення до Інтернету потрібен маршрутизатор Wi-Fi і шлюз LIGHTIFY. Шлюз зв'язується на основі стандарту ZigBee Light Link, тому його можна комбінувати з додатковими пристроями ZigBee Light Link [17].

LIFX це розумна платформа керування освітленням, яка використовує Wi-Fi для керування системою. Це рішення орієнтоване для домашнього застосування. Система включає в себе світильник, шлюз і простий у використанні застосунок для керування одним світильником або всією мережею освітлення в будинку. Система має підключення до Wi-Fi і керувати нею можна з годинника Apple або пристрою Android. Ці світильники працюють у кількох платформах керування для будинків, таких як Nest, SmartThings, Harmony, Scout Alarm, тощо. Система має додаткові функції, включаючи музичний інтерфейс, теми, сцени та кілька розкладів керування. Платформа LIFX призначена для використання у закритих приміщеннях, однак її можна використовувати у відкритих місцях, які не піддаються безпосередньому впливу води. Її також можна використовувати у ванних кімнатах та інших приміщеннях з високим рівнем вологості. LIFX має функцію нічного бачення, яку можна використовувати на відкритому повітрі для роботи з камерами, призначеними для систем безпеки [17].

WeMo Smart це платформа на основі світлодіодів і мостових мережевих пристроїв для домашнього застосування. Ці світлодіодні світильники подібні до традиційних ламп розжарювання, але вони більш

енергоефективні, а також мають більший термін служби. Світлодіодами можна керувати з будь-якого місця за допомогою мережі Wi-Fi та мобільного Інтернету, а світло можна дистанційно вмикати або вимикати. Спеціальні розклади можуть бути визначені для керування кожним джерелом окремо або групою джерел освітлення в різних зонах будинку. Систему можна автоматично ввімкнути на заході сонця, налаштувати її для перегляду фільму або вимкнути після того, як користувач залишить будинок. У комплект WeMo входить пристрій WeMo Link. Цей міст призначений для підключення до 50 світлодіодних ламп WeMo Smart і керування ними окремо або групою. Інтерфейсом користувача є програма WeMo, яка доступна для операційних систем Android, iOS і працює на кількох розумних пристроях одночасно. Додаток WeMo можна підключити до вебсервісу IFTTT для створення розширених з'єднань за допомогою простих заяв, наприклад, для отримання SMS-повідомлення або електронного листа, коли вхідні двері відчиняються або коли світло вмикається, коли заходить сонце [17].

Розумна освітлювальна платформа від Cree включає в себе високоякісні білі світильники, які виглядають як традиційні лампочки, але з подовженим терміном служби. Світлодіодами Cree можна керувати дистанційно, і вони сумісні з сертифікованим концентратором ZigBee Wink. Кожне джерело світла можна синхронізувати з застосунком за допомогою будь-якого пристрою iOS або Android. Це рішення сумісне з кількома системами домашньої автоматизації, такими як Wink, SmartThings, WeMo і сертифікований концентратор ZigBee [17].

Flux - це система освітлення з підтримкою Bluetooth на основі різнокольорових випромінювачів, вбудованих в енергоефективну світлодіодну лампочку, якою можна керувати за допомогою смартфона або планшета. Світильник може відтворювати в колірній палітрі понад 16 мільйонів кольорів, а також різні тони білого світла від теплого жовтого білого світла до яскравого синього білого світла. Лампочки взаємодіють із програмою Flux для створення персоналізованих сцен освітлення. Застосунок

Flux може змінити атмосферу кімнати, вибравши один із 20 попередньо запрограмованих колірних режимів. Можливості визначаються користувачем, а додаток Flux може керувати безпосередньо до 50 розумними джерел освітлення в режимі трансляції або керувати кожним окремо [17].

Платформа SiteWorx від Digital Lumens - це бездротова мережева система для розумного освітлення з вбудованим датчиком присутності, вимірюванням потужності, збиранням денного світла та прогресивним затемненням для досягнення економії енергії до 90%. Ця система призначена для промислових застосунків, головним чином, для нагляду за установкою в режимі реального часу та автоматичного визначення споживання електроенергії та впливу на можливості енергозбереження та підтримки безпечного та комфортного рівня освітлення по всьому об'єкту. У системі SiteWorx є як настільні, так і мобільні застосунки для iOS та Android для керування однокімнатними та багато кімнатними приміщеннями на основі аналітики та розширених засобів керування. На інформаційній панелі SiteWorx в режимі реального часу відображаються дані про споживання енергії та економії, а також можна створювати спеціальні звіти для будь-якого періоду часу або зони [17].

Розумні модулі освітлення Samsung перетворюють статичні світлодіодні світильники в справжні розумні цифрові вузли. Ця платформа IoT включає в себе передові можливості обробки, підключення та відкритої архітектури для збору даних і створення нових додатків. Основним елементом є модуль SLM, який служить основним з'єднувачем для всіх типів пристроїв, що використовуються в розумних світильниках, включаючи датчики та вдосконалені драйвери. Функціями цієї системи є програмування по повітрю (OTA) і вимірювання потужності в режимі реального часу. Модулі SLM дозволяють пристроям спілкуватися один з одним, підтримуючи кілька протоколів дротового та бездротового зв'язку, використовуючи не тільки ZigBee або DALI, але і протокол Bluetooth. Це

рішення можна підключати до різних сенсорних мереж і ефективно взаємодіяти з розумними пристроями керування, такими як смартфони [17].

Екосистема Goeee призначена для виявлення, контролю та зв'язку з освітлювальними пристроями в хмарі. Ця система об'єднує датчики для збору даних про навколишнє середовище та людську діяльність, а також можливість контролювати роботу світлодіодного драйвера. Платформа включає детектор руху, напрямка, рівня зовнішнього освітлення та температури. Додаткові датчики контролюють світловіддачу, колірну температуру, якість та робочу температуру. Кожен світильник Goeee має вбудований процесор для аналізу даних, які він отримує, і для зменшення кількості даних, що надсилаються назад до шлюзу. Різні алгоритми визначають, чи потрібно передавати зібрані дані в мережу. Goeee використовує модуль бездротового інтерфейсу для моніторингу споживання електроенергії, забезпечення функціональності маячка для залучення споживачів і надсилання даних назад у хмару через шлюз. Усі дані з датчиків шифруються локально, а зв'язок між WIM та шлюзами шифрується за допомогою AES128 у мережі. Кожен шлюз Goeee здатний керувати до 250 вузлів, але його можна розширити до 1000 вузлів. Кожному пристрою в мережі Goeee присвоюється унікальний ідентифікатор для керування та зчитування даних зондування. Взаємодія шлюзу може здійснюватися через Інтернет, застосунок для Android або iOS і навіть на самому шлюзі через вбудований дисплей. Хмарна платформа керує метаданими для розробки застосунків і візуалізації даних через свій API і SDK [17].

Ledmotive виготовляє спектрально-регульовані цифрові джерела освітлення з різною кількістю світлодіодних каналів, типами датчиків і варіантами підключення. Кожен світлодіодний модуль із спектрально настроюваним світлодіодним модулем забезпечує контроль зі зворотним зв'язком через спектральні та температурні датчики для врахування зсувів довжини хвилі, коливань потоку та включає захист від перегріву. Система Ledmotive включає в себе шлюз з бездротовим підключенням на частотах

нижче ГГц, Wi-Fi, Bluetooth або DALI. Підключена платформа освітлення дозволяє клієнтам розробляти передові світлові продукти, які є інтуїтивно зрозумілими та простими у використанні зі смартфона або безпосередньо через хмару [17].

Таким чином, існуючі системи керування освітленням надають потужний функціонал, але їх вартість є досить високою, а налаштування та обслуговування складним та тривалим процесом.

1.4 Висновки до розділу 1

Як показали проведені дослідження, сучасні інтелектуальні системи керування освітленням пропонують гнучкі рішення для обміну даними та командами з мобільними застосунками та хмарними платформами в різних екосистемах освітлення, орієнтованих на Інтернет.

Але, розробка ІСКО залишається складною задачею, що потребує правильного вибору та інтеграції різноманітних пристроїв, сенсорів, актуаторів, стратегій управління, технологій передачі даних та ПЗ на основі алгоритмів сприйняття кольору, циркадних циклів та поведінкових уподобань.

Метою роботи є розробка підсистеми віддаленого керування освітленням СДА на основі бездротових та мобільних технологій для ефективного використання електроенергії.

Задачі роботи:

- виконати аналіз технологій та засобів передачі даних для підсистеми керування освітленням;
- розробити архітектуру підсистеми керування освітленням;
- обрати апаратні та програмні засоби розробки;
- виконати програмну реалізацію підсистеми керування освітленням;
- розробити програмну документацію.

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

2.1 Стандартизовані комунікаційні інтерфейси для підсистем керування освітленням

Підключення через стандартизований дротовий або бездротовий інтерфейс зв'язку є ключовою особливістю ІСКО. Однак для критичної інфраструктури та систем вуличного освітлення обов'язковим є використання дротових інтерфейсів, в основному на основі DALI, ліній електропередачі та Ethernet через надійність комунікаційного інтерфейсу. Застосунки для домашнього освітлення та освітлення для некритичних інфраструктур можуть використовувати декілька стандартизованих інтерфейсів бездротового зв'язку. Розумні освітлювальні платформи вважають за краще використовувати підключення Sub-GHz, IEEE802.15.4, Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi, VLC або ZigBee Light Link у приміщеннях. ZigBee Light Link і 6LoWPAN використовують той самий MAC і фізичний рівень стандарту IEEE802.15.4. Є організації, які пропонують спеціалізовані протоколи бездротового зв'язку (наприклад, M2M Global Alliance, Internet of Things Alliance та IPSO Alliance) [17].

У таблиці 2.1 показано порівняння декількох технологій бездротового зв'язку для ІСКО, які поєднані з деякими радіофізичними рівнями в різних радіо діапазонах, таких як IEEE 802.11/b/g/n/a/ac (Wi-Fi), IEEE 802.15.4 (ZigBee Light Link, 6LoWPAN, THREAD), IEEE802.15.1 (Bluetooth) або LoRaWAN [49] - [50].

Функціональна сумісність [51] в освітлювальних приладах націлена на стандартизовані протоколи Інтернету (IPv4 та IPv6). OpenAIS - це європейський проект, який працює над новою архітектурою IoT для застосунків освітлення, щоб підвищити сумісність різномірних систем освітлення [52]. Це рішення на основі IP, розширюване, сумісне та безпечне; також його створили ключові гравці з галузі освітлення та IoT. Ця система

визначає відкриту архітектуру для систем освітлення зі стандартизованими відкритими API, які також забезпечують взаємодію системи з системами автоматизації будівель та хмарними сервісами.

Таблиця 2.1 – Порівняння бездротових технологій для ІСКО

Технологія	Тип мережі	Частота	Максимальна пропускна здатність
Wi-Fi	WLAN	2.4, 3.6, 5.6 ГГц	6-780 Мб/с; 6.75 Гб/с @20ГГц
Z-Wave	Mesh	868.42 МГц	100 Кб/с
Bluetooth Class 1	WPAN	2.4 -2.4835 ГГц	1 Мб/с
Bluetooth Smart (BLE)	WPAN	2.4 -2.4835 ГГц	1 Мб/с
ZigBee	Mesh	2.4 -2.4835 ГГц	250 Кб/с
RFID	P2P	13.56 МГц	42 Кб/с
NFC	P2P	13.56 MHz	424 Кб/с
LTE (4G)	GERAN/UTRAN	1800-2600 МГц	0.1-1 Гб/с
6LoWPAN	Mesh	2.4 ГГц	255 Кб/с
LoRaWAN	LPWAN	433/868/780/915 МГц	ЕС: 0.3 Кб/с - 50 Кб/с США: 0.9 Кб/с - 100 Кб/с

Додаткові схеми для підвищення сумісності засновані на стандартизації IP [53], що є практичним рішенням для полегшення проблем зв'язку між різнорідними освітлювальними пристроями з залежними від виробника протоколами або, в деяких випадках, закритими екосистемами. У цьому випадку сумісність може бути досягнута шляхом поєднання схем стандартизації IPv4 і IPv6 з включенням полегшених прикладних протоколів, таких як COAP і MQTT [54], що працюють через транспортні протоколи UDP і TCP відповідно.

В таблиці 2.2 представлено результати порівняння протоколів COAP і MQTT [55].

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика протоколів COAP і MQTT [55]

Характеристика	COAP	MQTT
Тип зв'язку	Модель Запит-Відповідь	Модель Публікація-Підписка
Режим обміну повідомленнями	Асинхронний і синхронний режими	Лише асинхронний режим
Протокол транспортного рівня	User Datagram protocol (UDP)	Transmission Control protocol (TCP)
Розмір заголовка	Має заголовок розміром 4 байти.	Має заголовок розміром 2 байти
RESTful	+	-
Підтримка	+	-
Маркування повідомлень	+	-
Зручність у використанні/Безпека	Використовується в комунальних мережах і має захищений механізм.	Він використовується в застосунках IoT і є безпечним

У випадку, коли для ефективних освітлювальних пристроїв накладаються енергетичні обмеження, відповідним рішенням буде впровадження легких протоколів, таких як Bluetooth Low Energy (BLE) 5.0 або ZigBee light link. У той же час, для зовнішніх світлодіодних світильників, якими керують віддалено, варіанти підключення в основному охоплюються традиційними дротовими протоколами, такими як зв'язок по лінії електропередач (Power Line Communication, PLC) або DALI [17].

Сучасна концепція VLC, також відома як Li-Fi [56], стосується технології, спрямованої на передачу даних, забезпечуючи штучне освітлення. У цій концепції зазвичай використовуються світлодіоди для освітлення та надання даних для односпрямованого або двонаправленого зв'язку. Це

означає, що інформація кодується у спектрі видимого світла (380 нм – 780 нм), що передається цими світлодіодами, і найпростіший спосіб зробити це – за допомогою методів цифрової модуляції [57].

Оскільки світлодіодні випромінювачі недорогі, прості у виготовленні та можуть модулюватися на дуже високих швидкостях в діапазоні кількох МГц, відповідно ці переваги дають можливість для подальших застосувань переважно в оптичних комунікаціях, таких як VLC [58] та Li-Fi, а не лише для загального освітлення чи сигналізації.

Цифрові освітлювальні прилади, підготовлені з оптичними зв'язками у видимому діапазоні, мають різні переваги, головним чином у зв'язку з низьким рівнем перешкод і високим рівнем безпеки, які вони представляють, завдяки тому, що видиме світло не проходить крізь стіни. Крім того, може бути досягнута синхронізація між світильниками з інтерфейсами VLC, щоб забезпечити стабільну передачу даних, навіть якщо приймач переміщується у приміщенні. Сьогодні світлодіодні світильники білого світла є ядром сучасних рішень VLC. Існують різні способи забезпечення білого світла за допомогою світлодіодів: за допомогою світлодіодів RGB, світлодіодів з фосфорним покриттям (PC) і, нарешті, за допомогою OLED. У таблиці 2.3 узагальнено основні характеристики та основи сучасних світлодіодних і OLED-випромінювачів для застосунків VLC [17].

Експериментальні системи VLC розвиваються дуже швидко з оптичними системами з високою пропускнуою здатністю [59] для служб локації. Тестові стенди призначені для зв'язків на короткі відстані, менше 2 м між джерелом і приймачем. Ці схеми розроблені для визначення розташування в приміщенні та мультимедійних послуг, підтримуючи середню постійну інтенсивність світла, щоб уникнути дратівливого мерехтіння [17].

Таблиця 2.3 – Світлодіоди, що забезпечують біле світло для підключення VLC 2.2

Тип світлодіода	Матеріал	Характеристика	Пропускна здатність	Застосування
RGB LED	Неорганічні	Три різні неорганічні світлодіоди (червоний, зелений і синій)	10-20 МГц	Загальне освітлення, LI-FI, LED-ID, зв'язок оптичної камери
PC-LED	Неорганічні	Синій світлодіод з InGaN з фосфорним покриттям з YAG, який є синтетичним кристалічним матеріалом	3-5 МГц	Загальне освітлення, LI-FI, LED-ID, зв'язок оптичної камери
OLED	Органічні	Містить різні шари, а між анодом і катодом розташовані два шари з органічних молекул, які називаються емісійним шаром.	≤ 1 МГц	Внутрішнє освітлення, дисплей
mLED	Неорганічні	На основі неорганічного матеріалу, такого як GaN. Мікросвітлодіоди надзвичайно малі, зазвичай 1/10 ширини людського волосся	300 МГц	Носима техніка, мобільні пристрої

2.2 Огляд протоколів зв'язку для ІСКО

Існуючі протоколи для організації зв'язку між компонентами СДА мають свої особливості, переваги та недоліки [60]. Типи протоколів показано на рисунку 2.1.

1-Wire – простий спосіб, що використовує для передачі даних двонаправлену шину (двожильний дрід). Тобто, при створенні мережі можна обійтися навіть дешевим телефонним кабелем, причому один дрід випадку може використовуватися для живлення і передачі даних, а інший – для заземлення.



Рисунок 2.1 – Типи протоколів зв'язку для ІСКО

Топологія мережі – загальна шина, тобто керовані пристрої «нанизуються» на єдиний кабель. Для мережі 1-Wire можна також використовувати якісну «виту пару» або FireWire – кабель, а компоненти підключити через RJ – розетки. Чим краще організована мережа, тим більшу протяжність вона може мати: в ідеальних умовах це значення досягає 300 метрів. Використовувані компоненти: датчики температури, освітленості, вологи, протікання, електричні розетки. Переваги даного стандарту: дешевизна і невибагливість. Недолік: низька відмовостійкість [60].

X10 – на відміну від 1-Wire, не вимагає прокладки спеціального кабелю: для передачі сигналу використовується електропроводка будівлі. Також передбачена можливість використання трансиверів, які сприймають радіосигнал від бездротових пристроїв, перетворюють його в потрібний формат і передають в електричну мережу. Призначений для взаємодії з датчиками та пультами дистанційного керування. Переваги: універсальність

при відносно низькій вартості. Недоліки: низька швидкість передачі даних, може потребувати переробки електропроводки [60].

KNX – стандарт, що характеризується великою кількістю функцій, а також складністю проєктування і монтажу. Як середовище для передачі даних протокол KNX може використовувати шину (кручену пару), електричну мережу або радіоканал. Найчастіше застосовується перший варіант, причому необхідні дроти прокладаються сумісно з силовими кабелями ще на етапі будівництва. Стандарт передбачає різні варіанти топології мережі. Система повинна мати власне джерело живлення, але при цьому в ній може бути відсутнім центральний контролер. KNX дозволяє створювати децентралізовані рішення, в яких сенсори і актуатори взаємодіють безпосередньо. Переваги: протокол підходить для автоматизації великих будівель, в одну мережу можна об'єднати до 58000 пристроїв. Актуатори в даному випадку відрізняються різноманітністю і дозволяють отримати нетривіальний функціонал. Недолік: висока вартість [60].

Wi-Fi – це поширений стандарт, що застосовується для зв'язку смартфона або планшета з готовою автоматизованою системою. Мобільний пристрій завжди під рукою, а тому управляти СДА за його допомогою, часом, зручніше, ніж використовувати для цієї мети комп'ютер, настінну сенсорну панель, пульт дистанційного керування або інтерпретатор мови. Особливо це актуально в тих випадках, коли для взаємодії з системою передбачено спеціальний застосунок, а не тільки вебінтерфейс. Іноді Wi-Fi застосовується для зв'язку з пристроями, які можуть функціонувати автономно, без допомоги «розумної» мережі. Приклад такого гаджета – лампочка LIFX. Останнім часом подібні пристрої набирають популярність, адже вони дозволяють долучитися до технологій домашньої автоматизації, без витрат на установку допоміжного обладнання. Недолік: не підходить для складних систем автоматизації, оскільки модулі достатньо дорогі, споживають багато електроенергії, а демонстровані ними швидкості в рамках СДА не затребувані [60].

Insteon - як і X10, використовує проводку будівлі для передачі сигналів, також підтримує зв'язок по радіоканалу, причому дротова та бездротова мережа функціонують одночасно, доповнюючи один одного і істотно підвищуючи надійність автоматизованої системи. Переваги: комірчаста топологія мережі, сумісність з пристроями X10, немає проблем з чутливістю, властивих X10, можливість уникнути використання центрального контролера. Недоліки: недостатня розповсюдженість обладнання [60].

ZigBee – протокол зв'язку по радіоканалу, що дозволяє використовувати модулі з гарною чутливістю та низьким енергоспоживанням, оскільки більшу частину часу вони знаходяться в сплячому режимі, а на пробудження витрачається всього 15 мілісекунд. ZigBee підтримує комірчасту топологію мережі, при якій окремі компоненти можуть виступати в якості посередника, що передає сигнал від одного пристрою до іншого. Подібна структура здатна до самоорганізації і самовідновлення, вихід з ладу одного – двох елементів, як правило, не призводить до серйозних наслідків. Mesh – мережа також дозволяє істотно збільшити зону покриття бездротової мережі, так що при правильному підході ZigBee можна використовувати для автоматизації не тільки житлових будинків, але і великих робочих приміщень [60].

Z-Wave – протокол бездротового зв'язку, якому також притаманне низьке енергоспоживання та підтримка комірчастої топології мережі. Ці стандарти також можна порівняти за вартістю обладнання. Z-Wave притаманна стандартизація: всі пристрої базуються на бездротових модулях Sigma Designs, відповідно всі вони сумісні. Також для даного стандарту випущено менше ПЗ, ніж для ZigBee, але зате воно гарантовано працює з будь-яким обладнанням Z-Wave [60].

Таким чином, в якості технології передачі даних для СДА може бути рекомендовано широкодоступний протокол Wi-Fi, який дозволить легко реалізувати дистанційне керування підсистемою освітлення.

2.3 Огляд різновидів Wi-Fi модулів серії ESP

Як показали проведені дослідження, МК ESP8266 - це недорогий чіп Wi-Fi з повним стеком TCP/IP і можливостями мікроконтролерного блоку, схожий на Arduino, але має напругу живлення 3.6 В, замість 5 В. Його вартість менше ніж Arduino, а вбудованих можливостей достатньо для реалізації різноманітних проєктів у галузі СДА та IoT. Управляти цими проєктами можна як за допомогою браузера, так і застосунків для Android/iOS/Desktop, хоча перший варіант забезпечує більшу кроссплатформенність. Якщо ESP8266 буде застосовуватися там, де немає Wi-Fi-мережі, то він може працювати в режимі точки доступу. У цього МК немає вбудованої флеш-пам'яті, тому він працює із зовнішньою флеш-пам'яттю через інтерфейс SPI. В більшості популярних версій МК її об'єм варіюється від 512 Кбайт до 4 Мбайт [61].

Результати порівняння Arduino та модулю ESP8266 наведено в таблиці 2.4 [62].

Таблиця 2.4 – Порівняння Arduino та модулю ESP8266 [62]

Характеристика	Arduino	ESP8266
Мікроконтролер	ATmega328	TensilicaL106
Напруга живлення, В	5	3-3,6
Цифрові піни	14	11
Аналогові піни	6	1
Флеш-пам'ять, Кб	32	512
RAM, Кб	2	64
EEPROM, Кб	1	-
Підключення	W5100 Ethernet controller	Wi-Fi
Тактова частота, МГц	16	26-52

Існує багато версій МК серії ESP8266 (табл. 2.5) і величезна кількість модулів на їх основі [62].

Таблиця 2.5 – Порівняння модифікацій модуля ESP8266 [62]

Модуль	Активні виводи	Світлодіод	Антенa	Шилди
ESP-01	6	+	Друкована	-
ESP-03	10	-	Керамічна	-
ESP-07	14	+	Керамічна + U.FL рознім	+
ESP-12	14	+	Друкована	+
ESP-12F	20	+	Друкована	+

ESP-01 - має 8 контактів (VCC, GND, UTXD, URXD, CH_PD, GPIO0, GPIO2, GPIO6) і PCB-антену у вигляді друкованого провідника на платі. З розведених роз'ємів тут присутні тільки 3 GPIO. Але, якщо потрібно буде управляти одним реле, то досить лише пари роз'ємів МК. Існують плати розширення з можливістю простої комутації до цієї версії МК. Даний модуль наведено на рисунку 2.2 [61].

ESP-03 є трохи ефективнішою за ESP-01, має керамічну антену. Також на платі розведені всі доступні роз'єми GPIO. Даний модуль наведено на рисунку 2.3 [61].



Рисунок 2.2 – МК ESP-01 [61]



Рисунок 2.3 – МК ESP-03 [61]

ESP-07 має металевий екран, керамічну антену і роз'єм для зовнішньої антени. Даний модуль наведено на рисунку 2.4 [61].

ESP-12 – має кілька варіантів: ESP-12S, ESP-12F, ESP-12E. Друга і третя версії мають на торці додатково 6 контактів. Дані модулі наведено на рисунку 2.5 [61].

Існують також готові плати на основі чіпсета МК ESP8266EX: WeMos D1 mini, NodeMCU v0.9/v1, NodeMCU v3 [61].

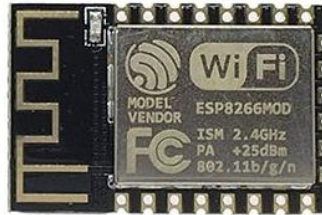
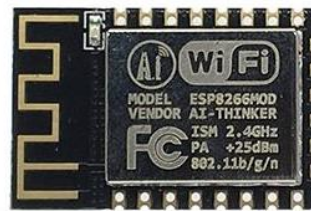


Рисунок 2.4 – МК ESP-07 [61]

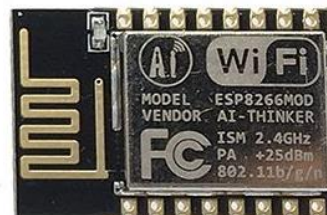
ORIGINAL ESP-12S



ORIGINAL ESP-12F



ESP-12F



ORIGINAL ESP-12E

Рисунок 2.5 – Різні варіанти МК ESP-12 [61]

Witty Cloud – модуль на основі ESP-12F (рис. 2.6), що складається з двох окремих плат (рис. 2.7) [63].

На верхній розташований сам Wi-Fi модуль ESP8266, стабілізатор на 3,3 В, RGB світлодіод (LED), фоторезистор (Light Dependent Resistor, LDR) і програмована кнопка. На нижній розташовано USB–UART конвертер на чіпі CH40 з обв'язкою.



Рисунок 2.6 – Модуль Witty Cloud [63]

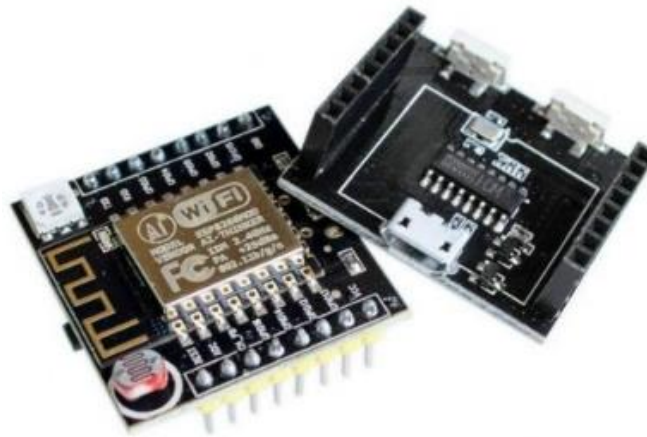


Рисунок 2.7 – Верхня та нижня частина модуля Witty Cloud [63]

За допомогою вибору програм (нижньої плати) можна прошивати і інші плати з серії ESP - 12, встановивши їх на сумісний по терморегулятору адаптер, і припаявши на нього стабілізатор. Піни модуля зображено на рисунку 2.8 [63].

Характеристики:

- живлення модуля – 5 В / 220 мА;
- режим Wi-Fi: 802.11 b / g / n, 2.4 ГГц;
- шифрування: WPA / WPA2;
- доступні мережеві протоколи: IPv4, TCP, UDP, HTTP, FTP;
- GPIO: 11;
- інтерфейс: UART, HSPI, I2C, I2S;
- внутрішня пам'ять: 4 Мб;;
- USB–UART міст: CH340
- розміри: 33×30×18 мм [63].

Режим роботи: клієнт (STA); точка доступу (AP); клієнт + точка доступу (STA + AP) [63].

Порівняльну характеристику ESP8266 з більш потужним, але й більш дорогим модулем ESP32 наведено в таблиці 2.6 [64].

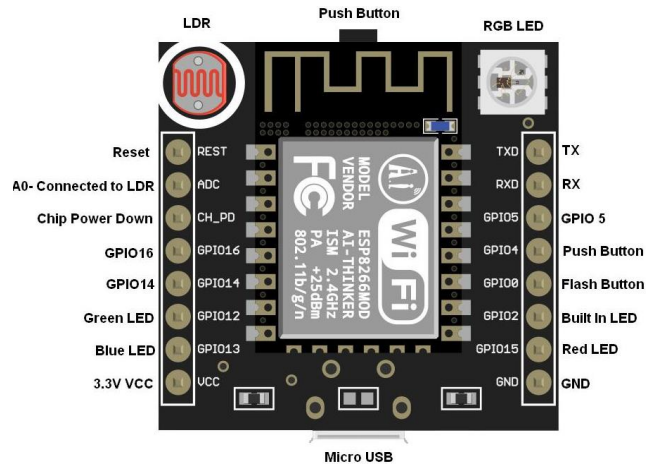


Рисунок 2.8 – Піни модуля ESP8266 Witty Cloud [63]

Таблиця 2.6 – Порівняння ESP модулів [64]

Характеристика	ESP8266	ESP32
MCU	Xtensa Single-Core 32-bit L106	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	Так, HT20	Так, HT40
Bluetooth	Немає	Bluetooth 4.2 та нижче
Типова частота	80 MHz	160 MHz
SRAM	160 kBytes	512 kBytes
Flash	SPI Flash up to 16 Mbytes	SPI
GPIO	17	36
Hardware / Software PWM	Немає / 8 каналів	1 / 16 каналів
SPI / I2C / UART	2 / 1 / 2 / 2	4 / 2 / 2 / 2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	Не застосовується	1
Ethernet MAC Interface	Не застосовується	1
Модуль сенсорного датчика	Не застосовується	Так
Температурний сенсор	Не застосовується	Так
Робоча температура	-40° C – 125° C	-40° C – 125° C

2.4 Висновки до розділу 2

Сучасні системи керування освітленням використовують дротові, бездротові та гібридні технології передачі даних. Але, більш перспективними є бездротові стандарти й протоколи, які стрімко розвиваються. Відповідно, виробники адаптують свою продукцію до тенденцій ринку освітлення, особливо в поєднанні з екосистемою IoT і передовими системами керування освітленням.

Аналіз показав, що в якості технології передачі даних для СДА може бути рекомендовано протокол Wi-Fi, оскільки це найдоступніший та малозатратний вид зв'язку, що дозволить легко реалізувати управління підсистемою освітлення через смартфон або планшет.

Мініатюрні Wi-Fi модулі на основі чіпа ESP8266, зокрема ESP8266 Witty Cloud, є гарною альтернативою платам Arduino для підсистеми управління освітленням, оскільки вони мають свої інтерфейси SPI, UART, а також порти GPIO, відповідно, їх можна використовувати автономно без Arduino або інших плат з МК.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Аналіз вимог

Підсистема віддаленого керування освітленням в СДА призначена для ефективного керування освітлювальними приладами та зменшення споживання електроенергії. Основні функціональні вимоги:

- авторизація в підсистемі;
- встановлення та редагування параметрів освітленості;
- віддалене керування освітлювальним обладнанням;
- можливість додавання нових видів освітлювального обладнання.

Нефункціональними вимогами виступають:

- можливість інтеграції в СДА;
- зручність керування;
- мінімальні витрати на створення підсистеми (зокрема, вартість ESP8266 модулів на даний момент складає 124 грн.);
- наявність підключення до мережі Інтернет.

Основний користувач системи – уповноважена особа. Користувач, який успішно підключився до системи за допомогою даних для входу, може змінити параметри освітлення: встановити бажаний рівень освітленості та час затримки вмикання/вимикання освітлювальних приладів.

Увійшовши в підсистему, користувач може керувати роботою освітлювального обладнання вручну, задати параметри для автоматичного керування (рівень освітленості та час затримки), додавати нове обладнання (джерела освітлення) або завершити сеанс, вийшовши з системи. Діаграму прецедентів для варіантів використання підсистеми віддаленого керування освітленням наведено на рисунку 3.1.

Авторизація в підсистемі. Процес призначений для аутентифікації користувача. Він містить введення логіну і паролю. Після успішного входу користувач може продовжувати роботу в підсистемі.



Рисунок 3.1 – Діаграма прецедентів

Встановлення параметрів освітленості. Після успішного підключення користувач може змінити два параметри освітлення. Вибір першого параметра: першим параметром є заданий рівень освітленості. Вибір другого параметра: другим параметром є час затримки вмикання/вимикання освітлювальних приладів.

Керування обладнанням. Користувач може керувати роботою освітлювального обладнання вручну, або задати автоматичний режим керування. При цьому, налаштування можуть проводитися індивідуально для кожного модуля, для чого вказується його номер в підсистемі.

Додавання обладнання. У разі розширення системи, користувач може додавати нові модулі для керування додатковим освітлювальним обладнанням з відповідним встановленням параметрів освітленості та режиму роботи.

3.2 Розробка архітектури підсистеми

В загальному вигляді прототип підсистеми віддаленого керування освітленням складається із освітлювального обладнання (світлодіодного), Wi-Fi модулів ESP8266 Witty Cloud та застосунку для керування підсистемою за допомогою смартфона або планшета.

На рисунку 3.2 зображено архітектуру підсистеми віддаленого керування освітленням в СДА. На кожен Wi-Fi модуль потрібно завантажити скетч для організації його роботи. Застосунок дозволить під'єднатися до декількох модулів Witty Cloud через протокол зв'язку Wi-Fi. Користувач може робити різні маніпуляції з освітлювальними приладами СДА в залежності від вибраних ним функцій в застосунку. Застосунок з'єднується зі смартфоном або планшетом користувача за допомогою протоколу Wi-Fi.

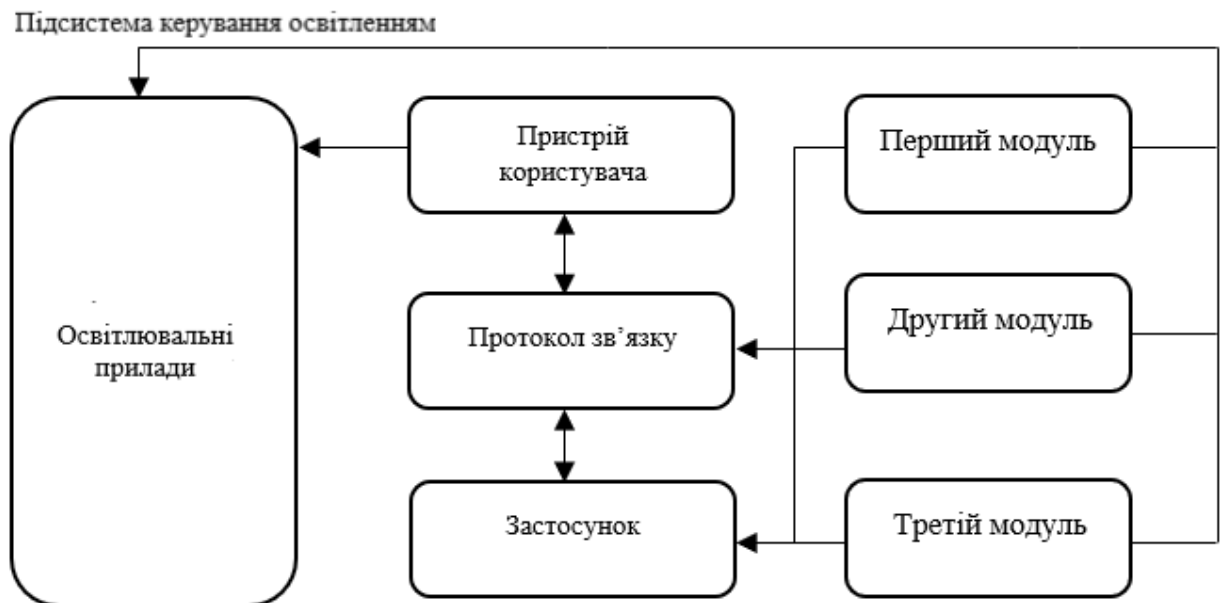


Рисунок 3.2 – Архітектура підсистеми керування освітленням

Існує кілька ОС для застосунків для смартфонів, планшетів та інших електронних пристроїв, зокрема iOS і Android. Для створюваної підсистеми буде розроблено застосунок для ОС Android, оскільки більшість існуючих пристроїв підтримують саме цю ОС.

Зв'язка смартфона на Android і Arduino надає величезні можливості для створення сучасних проєктів, спрощуючи віддалене програмування, управління та синхронізацію даних. Мобільні застосунки на смартфоні дають можливість взаємодіяти з реальним фізичним світом з будь-якої точки землі за допомогою звичних всім гаджетів [65].

3.3 Вибір інструментарію розробки

3.3.1 Вибір способу інтеграції Arduino та Android

Існує декілька способів з'єднання пристроїв на платформі Android з будь-якою платою Arduino або сумісним МК типу ESP8266 Witty Cloud.

ArduinoDroid – це безкоштовний застосунок, що дозволяє редагувати, компілювати і завантажувати ескізи до плати Arduino з мобільного пристрою або планшета Android. Відмінною рисою цієї програми є те, що в неї можна завантажувати вже готовий запрограмований код або створювати новий. У випадку з неполадками або збоями програми, відкритий код можна завжди відредагувати [65].

Переваги використання програми ArduinoDroid: можливість оперативно вносити зміни в поля; менш складний та трудомісткий процес інтеграції з пристроєм Android. Недоліки програми ArduinoDroid: написання коду на смартфоні може бути не дуже комфортним заняттям; підтримуються не всі плати Arduino; не надає функцій підсвічування синтаксису, інтелектуальні підказки коду (автозаповнення) та інтеграцію сторонніх застосунків [66].

Arduino Bluetooth Controller - цей застосунок має простий інтерфейс користувача і його легко налаштувати. Потрібно з'єднати Android з модулем Bluetooth, підключеним до Arduino. Можна працювати з застосунком у чотирьох різних режимах:

- режим контролера: цей режим є інтерфейсом ігрового контролера; при натисканні будь-якої з кнопок буде відправлена відповідна команда на Arduino;
- режим перемикача: цей режим складається з однієї кнопки, яку можна використовувати для дистанційного керування перемикачем;
- режим диммера: може надсилати значення, що змінюються, в Arduino; є корисним, коли потрібно фіксувати такі дані, наприклад, як яскравість та швидкість;
- режим терміналу: дозволяє надсилати власні команди, які будуть декодуватися на Arduino [65], [67].

RemoteXY: Arduino Control – програма, що дозволяє користувачеві розробити власний графічний інтерфейс шляхом зручного створення кнопок, перемикачів, слайдерів, джойстиків та інших елементів графічного інтерфейсу користувача для управління Arduino. Передбачене використання Bluetooth, Wi-Fi або Ethernet. Також доступне підключення через сервер хмари, що дає перевагу перед іншими застосунками [65], [67].

Virtuino – це безкоштовний застосунок, що дозволяє контролювати декілька плат Arduino через Bluetooth або Wi-Fi; створювати візуальні інтерфейси для світлодіодів, перемикачів, діаграм, аналогових приладів, лічильників та ін. Він поставляється з бібліотечною підтримкою і безліччю навчальних посібників, включаючи відеоуроки [65], [67].

IoT Wi-Fi контролер - це Wi-Fi контролер, що містить інтерфейс, який показує конфігурацію кожного з контактів введення–виведення Arduino. Можливість перемикати значення GPIO в реальному часі, а також показ значень АЦП дозволять легко керувати вашим гаджетом [65], [67].

BT Voice Control для Arduino – використовує функцію розпізнавання мови Android для надсилання команд для Arduino, тобто приймає мовне введення і відправляє його в Arduino через Bluetooth у вигляді рядка. За допомогою цієї програми можна надсилати та отримувати дані з таких пристроїв, як ультразвуковий датчик, підключений до Arduino через

Bluetooth. Для підключення пристрою Arduino до мобільного телефону через Bluetooth може бути використано модуль HC-05. Після підключення ультразвуковий датчик передаватиме відстань до найближчого об'єкта, і це відобразатиметься на мобільному телефоні в цьому застосунку.

Arduino можна запрограмувати на список команд, що розпізнаються, такі як «Вперед», «Назад», «Вліво», «Вправо» і «Стоп». При цьому, ультразвуковий датчик відправляє відстань до найближчого об'єкта Arduino, а потім відправляє його в застосунок за допомогою модуля Bluetooth HC-05 [65], [67].

Blynk - це унікальний застосунок с чудовим дизайном, який встановлюється на смартфон або планшет та дозволяє розробляти проєкти, які безпосередньо мають доступ до триггеру подій на платі Arduino. Може працювати з різним апаратним забезпеченням - як з платами Arduino так і модулями на чіпі ESP8266, що підключені до мережі Інтернет через Wi-Fi або Ethernet [65].

Також можливо використовувати мобільні дані для доступу до Blynk [Broken URL Removed], що робить його ідеальним для використання на смартфоні [66].

Платформа Blynk була розроблена для IoT та дозволяє дистанційно керувати обладнанням, відображати дані датчиків, зберігати дані, візуалізувати їх [68].

У платформи є три основні компоненти:

- застосунок Blynk - дозволяє створювати інтерфейси для проєктів за допомогою різних віджетів;
- Blynk Server - відповідає за всі комунікації між смартфоном і обладнанням. Можливо використовувати Blynk Cloud або запустити свій приватний сервер Blynk локально. Він з відкритим вихідним кодом, може легко працювати з тисячами пристроїв і навіть може бути запущений на Raspberry Pi;

– бібліотеки Blynk - для всіх популярних апаратних платформ забезпечують зв'язок із сервером і обробляють всі вхідні та вихідні команди [68].

Недоліком Blynk є лімітований набір елементів інтерфейсу для створення свого застосунку. Наприклад, спочатку доступно лише 1000 одиниць. Кожна кнопка, встановлена в проєкті вартує 200 одиниць, а щось складніше, наприклад графік, вийде вже 400. Таким чином, будуючи свою програму з елементів, розробник витрачає надані одиниці. Щойно вони вичерпаються, додати нові елементи в застосунок буде неможливо. Треба або докуповувати можливості за гроші або видаляти елементи з програми. При видаленні, вже витрачені одиниці, повертаються назад в повному обсязі.

Оскільки застосунок Blynk має обмеження в використанні віджетів, краще одразу придбати розширену версію. Схему роботи Blynk зображено на рисунку 3.3 [68].

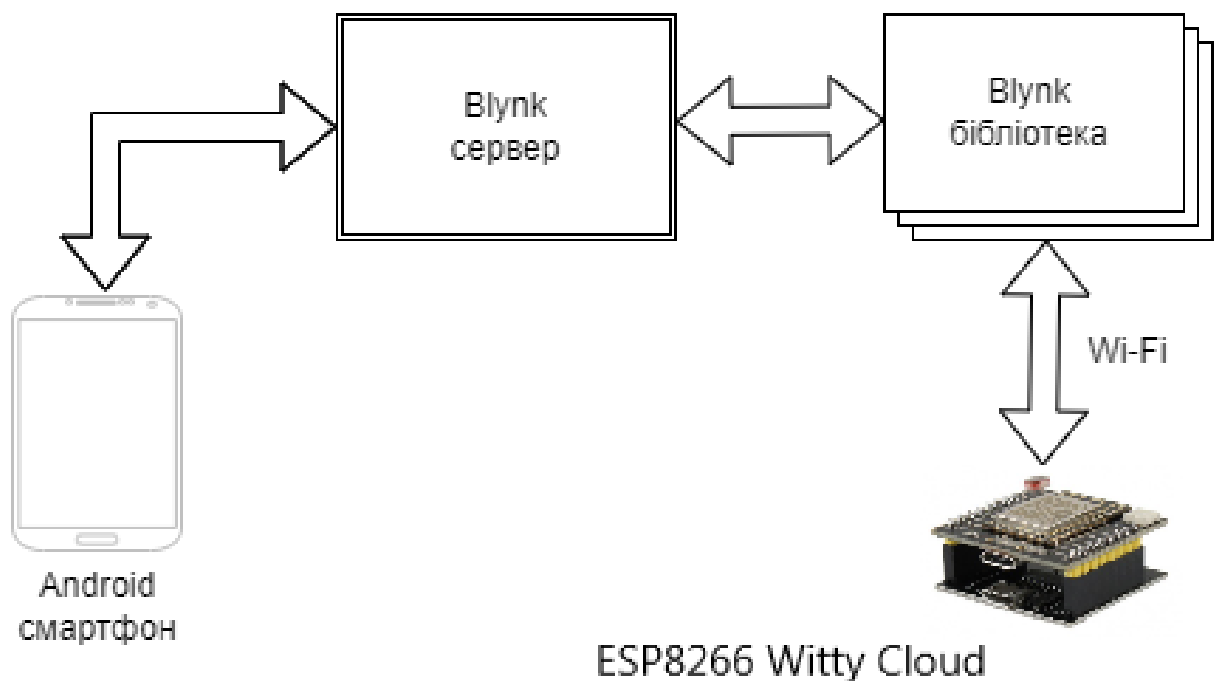


Рисунок 3.3 – Схема роботи Blynk [68]

3.3.2 Огляд середовищ розробки для Wi-Fi модуля

Як показали проведені дослідження, на сьогодні існує величезна кількість середовищ програмування (Integrated Development Environment, IDE) для кодування модулів та плат.

Базовим є середовище Arduino IDE, яке надає необхідний мінімум для розробки програм: написання та перевірка коду, компіляція, завантаження скетчу Ардуїно, монітор послідовного порту [69].

Мовою програмування для Arduino є стандартний C ++ (використовується компілятор AVR-GCC) з деякими особливостями, що полегшують написання програм новачкам в цій справі [70].

Переваги:

- доступність;
- зручний для використання і розуміння інтерфейс;
- програма сумісна з усіма версіями операційних систем Windows;
- наявність необхідних для роботи інструментів;
- кілька варіантів мов програмування;
- можливість поглибити знання мови C ++;
- вбудований набір прикладів програм;
- функції збереження, експорту, перевірки, пошуку, заміни скетчів [70].

Недоліки:

- програма не розрахована на роботу зі складними системами;
- робота окремих версій, зі слів користувачів, характеризується нестабільністю [70].

Для заміни Arduino IDE пропонуються схожі за функціоналом аналоги, які замінюють програму частково чи повністю:

- Microsoft Visual Studio – це інтегроване середовище розробки від Microsoft;
- PlatformIO IDE – відкрита екосистема для розвитку IoT;

- KTechLab – це IDE для МК та електроніки, що підтримує симуляцію схем, розробку програм для МК та симуляцію запрограмованого МК разом із його прикладною схемою.
- Eclipse – це безкоштовне середовище розробки, яке можна налаштувати для роботи з Arduino за допомогою Arduino Eclipse plugin;
- Visual Micro – плагін розробки Arduino для Microsoft Visual Studio, цілком сумісна альтернатива Arduino IDE;
- UECIDE – універсальна IDE на основі Arduino IDE, яка може легко підтримувати усі доступні плати;
- XOD – візуальна мова програмування для МК [71].

Visual Studio Code - редактор вихідного коду, заснований на Electron, розроблений Microsoft для Windows, Linux та macOS. Позиціонується як «легкий» редактор коду для кросплатформної розробки веб- та хмарних програм. Включає в себе відладчик, інструменти для роботи з Git, підсвічування синтаксису, IntelliSense та засоби для рефакторингу. Має широкі можливості для кастомізації: теми користувача, поєднання клавіш і файли конфігурації. Поширюється безкоштовно, розробляється як програмне забезпечення із відкритим вихідним кодом. VS Code також має багато доступних розширень, які покращують його функціональні можливості. Одним із таких розширень є PlatformIO [72].

PlatformIO – це open-source екосистема для розробки, що підтримує безліч платформ: Arduino, PIC32, AVR, ESP32, ESP8266, Maixduino, Raspberry Pi та ін. PlatformIO може використовуватися з VS Code для надання потужного набору інструментів, які допоможуть у розробці [72].

Основними недоліками PlatformIO є більш складний поріг входу, складні налаштування та менеджер бібліотек, маленька та незручна панель, менше функціональність монітора COM-порта в PlatformIO у порівнянні з Arduino IDE, відсутність бібліотек для сенсорів та інших зовнішніх пристроїв, зокрема LED [72].

Результати порівняння середовищ Arduino IDE та PlatformIO наведено в таблиці 3.1 [70] - [72].

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз середовищ Arduino IDE та PlatformIO [70] - [72]

Характеристика	Arduino IDE	PlatformIO
Складність входження	-	+
Наявність бібліотек для сенсорів та актуаторів	+	-
Функціональність монітора	+	-
Менеджер бібліотек	+	-

3.4 Висновки до розділу 3

В даному розділі було розглянуто різні середовища розробки для програмування модулів ESP8266, їх переваги та недоліки, а також застосунки, які дозволяють інтегрувати Android з Arduino.

Для реалізації проєкту було обрано середовище розробки Arduino IDE. Хоча воно і має ряд недоліків, але є доступним, легким у використанні та надає бібліотеки для роботи з датчиками та LED, що важливо для реалізації підсистеми освітлення СДА.

Для розробки мобільного застосунку було обрано платформу Blynk, оскільки вона безкоштовна, дозволяє створювати різноманітні проєкти й має приємний та легкий в розумінні інтерфейс.

4 КОНСТРУЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Алгоритм керування освітленням

Алгоритм керування освітленням вимагає керуючого сигналу від користувача. Сигнал надсилається через застосунок для смартфона, коли користувач хоче задати яскравість світла відповідно до його потреб. На рисунку 4.1 представлено узагальнений інтелектуальний алгоритм управління освітленням.

Існує три типи режимів роботи: автоматичний режим, режим «ON» і режим «OFF». В автоматичному режимі освітлення регулюється автоматично відповідно до руху користувача та рівня навколишнього світла. У режимі «ON» освітлення горить на повну силу. У режимі «OFF» освітлення повністю вимикається. Також користувач може регулювати інтенсивність освітлення відповідно до його нагальних потреб.

Алгоритм містить наступні кроки.

Крок 1. Початок.

Крок 2. Ініціалізація вхідних та вихідних портів. Ініціалізація послідовного зв'язку і швидкості передачі даних. Ініціалізація значення переривання.

Крок 3. Перевірка наявності сигналу, пов'язаного з певним режимом роботи. Далі, дії у відповідності до режиму роботи.

Крок 4. Для автоматичного режиму.

Крок 4.1. Перевірка виявлення руху в кімнатах. Якщо рух не виявлено, перевірка повторюється.

Крок 4.2. Відповідно до виявлення руху в будь-якій кімнаті, визначення рівня освітлення цієї кімнати. Якщо навколишнього світла достатньо, розрахунок відповідного значення ШІМ, світло не вмикається.

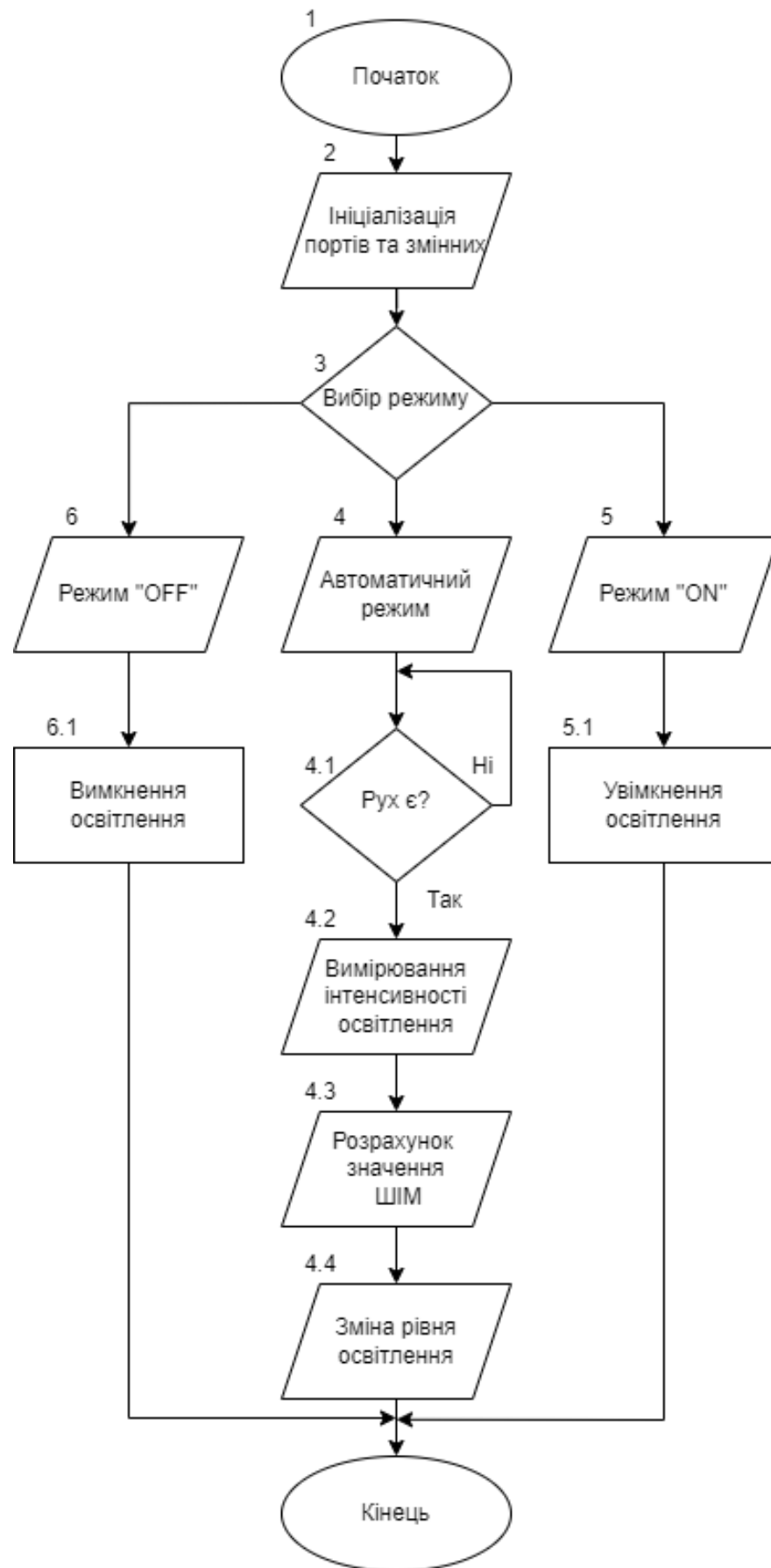


Рисунок 4.1 - Алгоритм керування освітленням

Крок 4.3 Відповідно до виявлення руху в будь-якій кімнаті, визначення рівня освітлення цієї кімнати. Якщо навколишнього світла не достатньо, розрахунок відповідного значення ШІМ, світло вмикається.

Крок 5. Для режиму «ON»

Крок. 5.1. Освітлення вмикається зі 100% робочим циклом.

Крок 6. Для режиму «OFF»:

Крок 6.1. У цьому режимі освітлення вимикається на 0% робочого циклу.

Крок 6.2. Перевірка наявності сигналу про певну потребу користувача щодо освітленості, регулювання інтенсивність світла відповідно до потреб користувача.

Крок 7. Якщо сигнал не надійшов, виконайте крок 3.

4.2 Опис особливостей програмної реалізації

На рисунку 4.2 наведено модульну структуру розробленої підсистеми віддаленого керування освітленням для СДА. В таблицях 4.1-4.3 наведені основні функції та методи, які завантажуються на модулі ESP8266 Witty Cloud, код розробленої програми та стандартних фрагментів для роботи з ESP8266 [73] наведено в Додатку А.

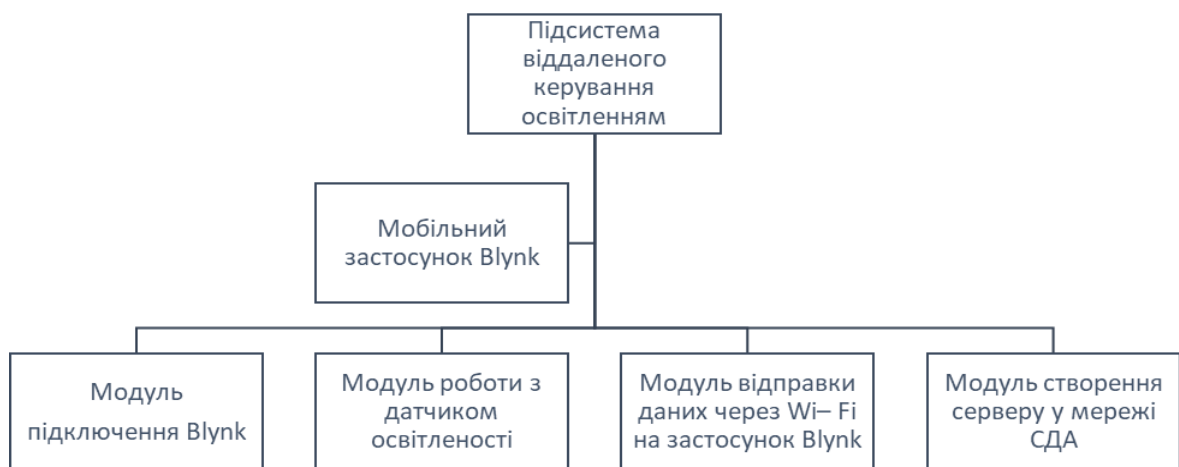


Рисунок 4.2 – Структура підсистеми віддаленого керування освітленням

Таблиця 4.1 – Поля і методи модуля підключення Blynk

Поле(метод)	Призначення
<code>char auth = "";</code>	токен авторизації в додатку Blynk
<code>char ssid[] = "";</code> <code>char pass[] = "";</code>	облікові дані Wi-Fi

Таблиця 4.2 – Поля і методи модуля роботи з датчиком освітленості

Поле(метод)	Призначення
<code>void LightSensor()</code>	виявлення рівня освітленості

Таблиця 4.3 – Поля і методи модуля відправки даних через Wi-Fi на застосунок Blynk

Поле(метод)	Призначення
<code>WiFi.begin(ssid, password);</code>	підключення до мережі Wi-Fi
<code>WiFiClient client;</code>	клас для створення TCP-з'єднань
<code>String url = "/input/";</code>	створення URL для запиту
<code>client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" + "Host: " + host + "\r\n" + "Connection: close\r\n\r\n");</code>	запит на сервер

4.3 Висновки до розділу 4

В даному розділі було розглянуто алгоритм управління освітленням в СДА та особливості його роботи. Наведено модульну структуру підсистеми віддаленого керування освітленням. Представлено методи, які використовуються для роботи з модулем ESP8266 Witty Cloud.

5 КЕРІВНИЦТВО ПРОГРАМІСТА

5.1 Призначення і умови використання програми

Програма призначена для віддаленого керування освітленням в СДА на основі використання Wi-Fi модулів ESP8266 Witty Cloud та мобільного застосунку Blynk.

Для кодування модулів ESP8266 використано середовище Arduino IDE. Системні вимоги:

- операційна система (ОС): Windows XP / Vista / 7/8 / 8.1 / 10;
- обсяг пам'яті: 512 МБ ОЗУ;
- місце на жорсткому диску: 10 МБ вільного місця;
- процесор: Intel Dual Core або новіше.

5.2 Звернення до програми

Arduino IDE - це безкоштовне середовище розробки, яке можна завантажити на офіційному сайті. Після встановлення Arduino IDE на комп'ютер, потрібно завантажити бібліотеку Blynk. Для цього потрібно перейти на вкладку: Скетч → Підключити бібліотеку → Управляти бібліотеками та ввести ім'я бібліотеки Blynk (рис. 5.1) або за допомогою гарячих клавіш «Ctrl + Shift + I» відразу відкрити вікно «Менеджер бібліотек».

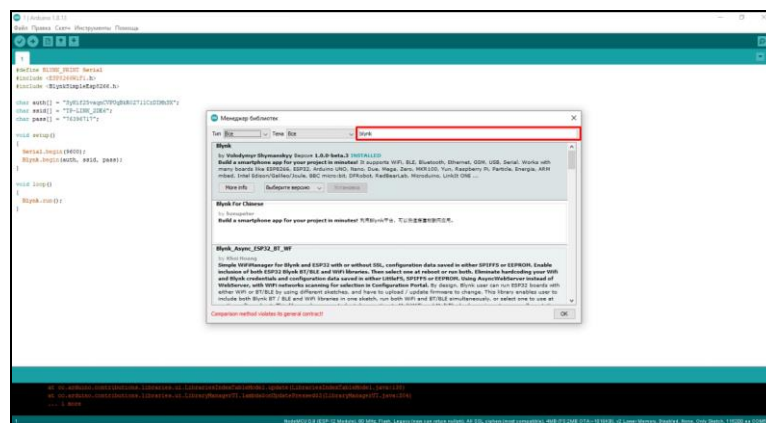


Рисунок 5.1 – Установка бібліотеки Blynk

Після завантаження бібліотеки потрібно написати код (рис. 5.2) для з'єднання модуля по мережі Wi-Fi або відкрити: Файл → Приклади → Blynk → Boards_WiFi → ESP8266_Standalone (рис. 5.3).

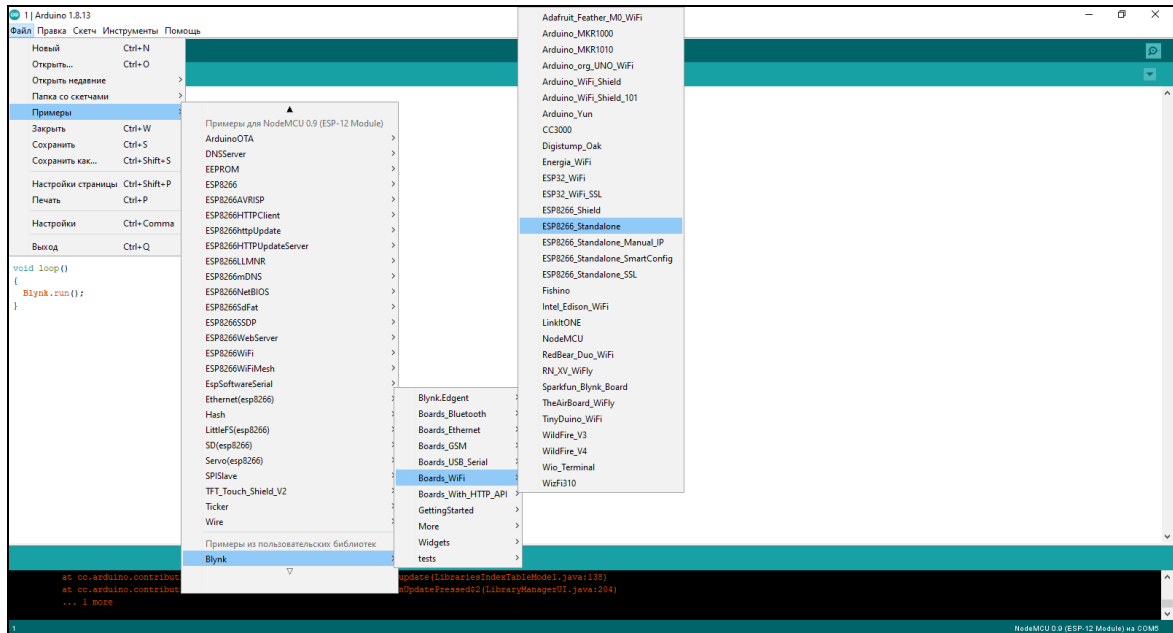


Рисунок 5.2 – Завантаження прикладу



Рисунок 5.3 – Базовий код для зв'язку ESP8266 та Blynk

Далі необхідно вписати токен (унікальний ключ), назву точки доступу та пароль від неї. Останнім кроком залишається завантажити код на модуль. Для цього необхідно приєднати модуль до комп'ютера, це можна здійснити за допомогою звичайного USB кабелю. З'єднання здійснюється в нижню частину модуля, як показано на рисунку 5.4. Потім потрібно завантажити код через Arduino IDE, як показано на рисунку 5.5. Після завантаження коду на модуль, його можна від'єднати та подавати живлення лише на верхню частину.

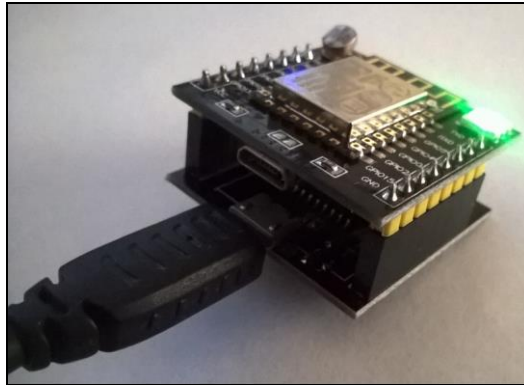


Рисунок 5.4 – Підключення ESP8266 до комп'ютера

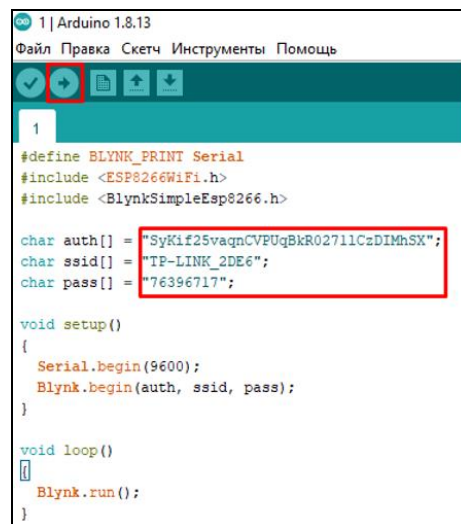


Рисунок 5.5 – Завантаження коду через Arduino IDE

За допомогою цих кроків можна прошити програму в модуль ESP8266 Witty Cloud для подальшого використання в підсистемі віддаленого керування освітленням СДА.

6 КЕРІВНИЦТВО КОРИСТУВАЧА

6.1 Призначення програми

Програма призначена для віддаленого керування освітленням в СДА на основі використання Wi-Fi модулів ESP8266 Witty Cloud та мобільного застосунку Blynk.

6.2 Умови виконання та запуск програми

Для роботи з застосунком Blynk необхідно мати наступне:

- смартфон – з ОС Android версії 4.2+ або iOS версії 9+; Blynk не працює на телефонах Windows та Blackberry; його можливо запустити також на емуляторах;
- IoT обладнання – Blynk може працювати на понад 400 апаратних модулів, зокрема ESP8266, ESP32, NodeMCU, Arduino, Raspberry Pi та ін.;
- підключення до Інтернету: Wi-Fi, Ethernet, стільниковий (GSM, 2g, 3g, 4g, LTE), послідовний, USB, Bluetooth.

Застосунок можна завантажити за допомогою App Store або Google Play в залежності від ОС смартфона або планшета.

Після завантаження застосунку Blynk (рис. 6.1) необхідно створити новий обліковий запис Blynk (рис. 6.2). Обліковий запис потрібен для збереження проєктів та доступу до них із різних пристроїв з будь-якого місця.

6.3 Виконання програми

Після успішного входу у свій обліковий запис, потрібно створити новий проєкт (рис. 6.3). Для створення проєкту потрібно вказати: назву проєкту, модель обладнання та тип підключення (рис. 6.4). В даному випадку використовується модуль ESP8266 та протокол Wi-Fi.

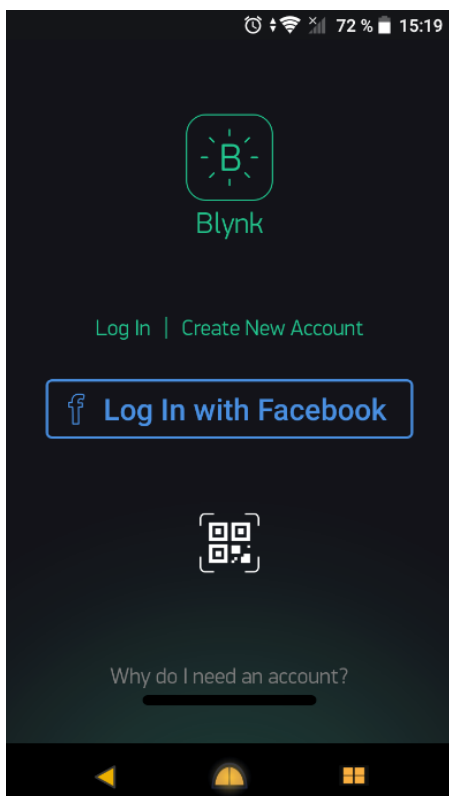


Рисунок 6.1 – Головне меню
Blynk

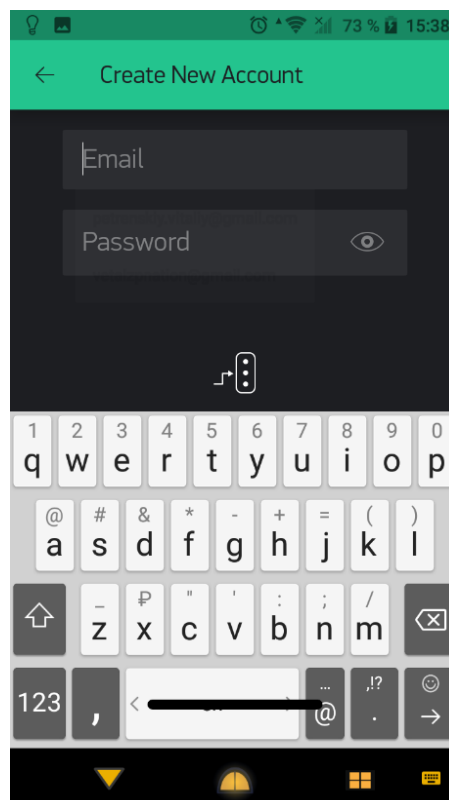


Рисунок 6.2 – Створення
облікового запису

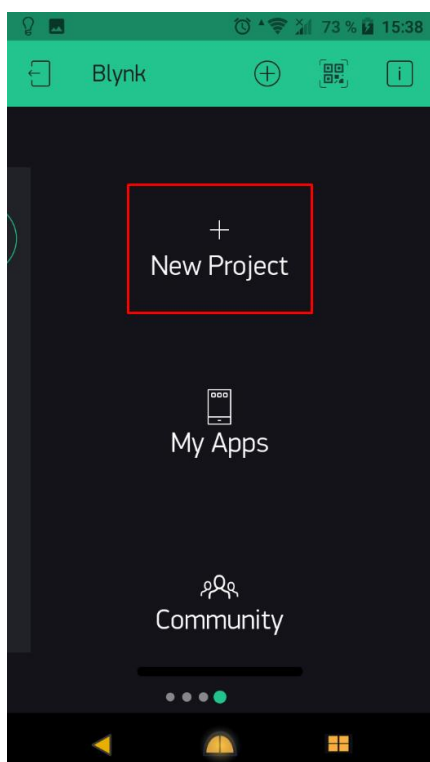


Рисунок 6.3 – Створення нового
проєкту

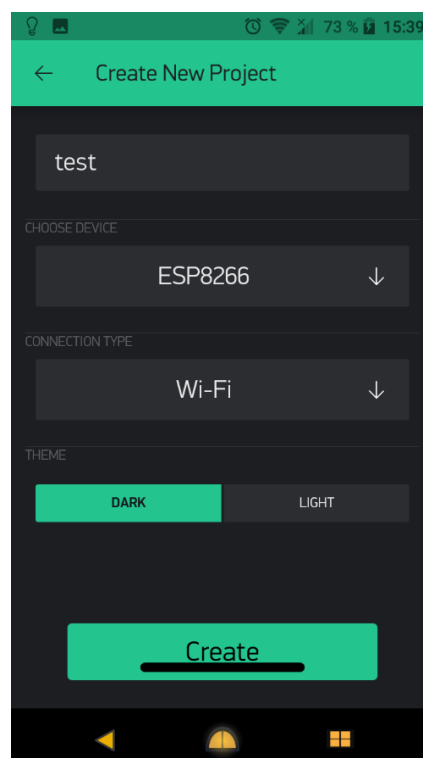


Рисунок 6.4 – Вибір обладнання та
типу підключення

Після створення проєкту, користувач автоматично отримає маркер (токен) авторизації на електронну пошту. Auth Token – це унікальний ідентифікатор, який необхідний для підключення обладнання до смартфона. Кожен новий проєкт, який створюється, матиме власний маркер авторизації.

Полотно проєкту буде порожнє, тому потрібно додати будь-який віджет, наприклад датчик освітленості (рис. 6.5). Для цього торкніться будь-якого місця на полотні, щоб відкрити поле віджетів. Тут доступні всі доступні віджети, тепер потрібно обрати Gauge.

Для змінення положення віджета потрібно натиснути та утримувати віджет, щоб перетягнути його на нове місце. Кожен віджет має власні налаштування, щоб перейти в налаштування потрібно натиснуть на віджет, після чого відкриється нове вікно з налаштуванням віджета (рис. 6.6–6.7).

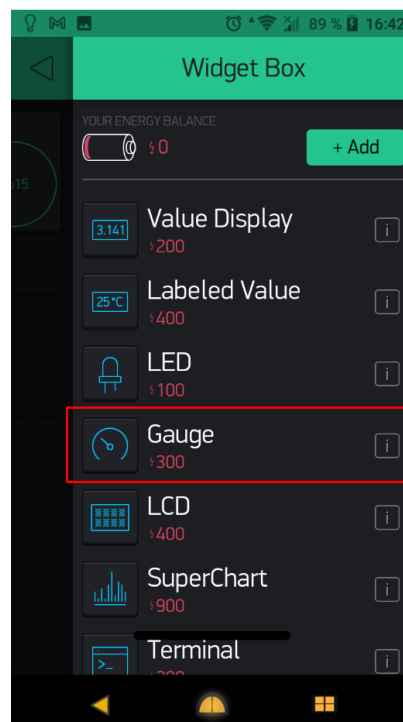


Рисунок 6.5 – Додавання віджетів

Закінчивши налаштування, натисніть кнопку PLAY (рис. 6.8–6.9). Це дозволить переключитися з режиму редагування в режим відтворення, де вже можливо взаємодіяти з обладнанням. Перебуваючи в режимі PLAY, неможливо перетягувати або налаштовувати нові віджети. Щоб це робити, треба натиснути STOP і повернутися до режиму редагування.

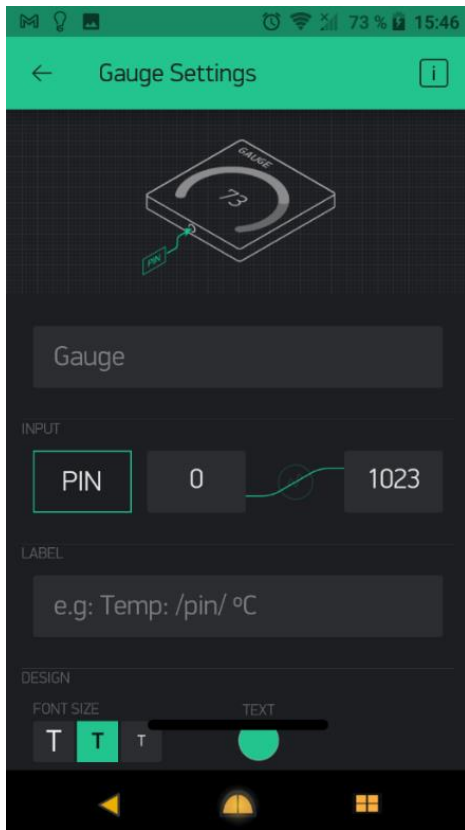


Рисунок 6.6 – Налаштування
віджетів, крок 1

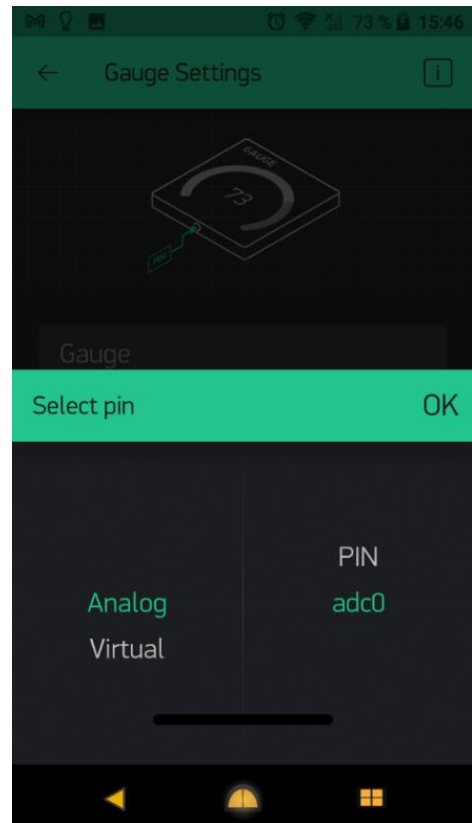


Рисунок 6.7 – Налаштування
віджетів, крок 2

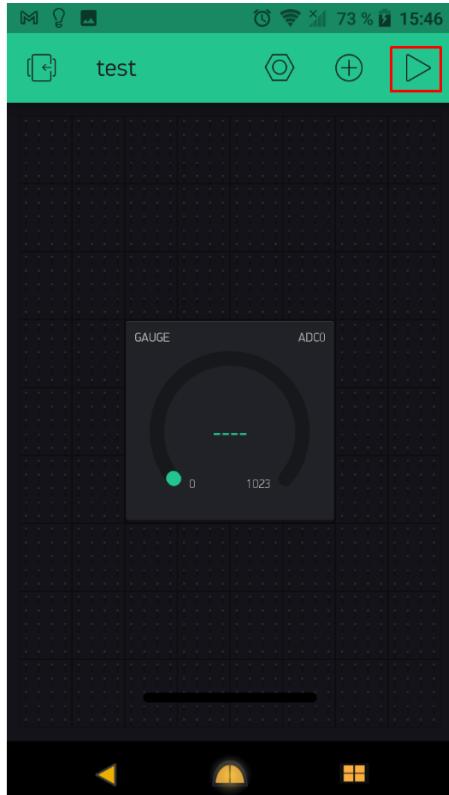
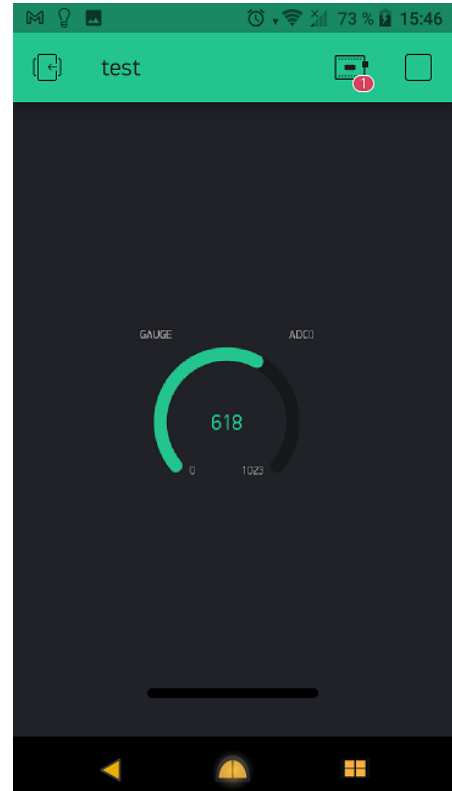


Рисунок 6.8 - Увімкнення проекту



Рисунки 6.9 – Вимкнення проекту

6.4 Повідомлення користувачу

На рисунку 6.10 зображено повідомлення про те, що модуль ESP не в мережі.

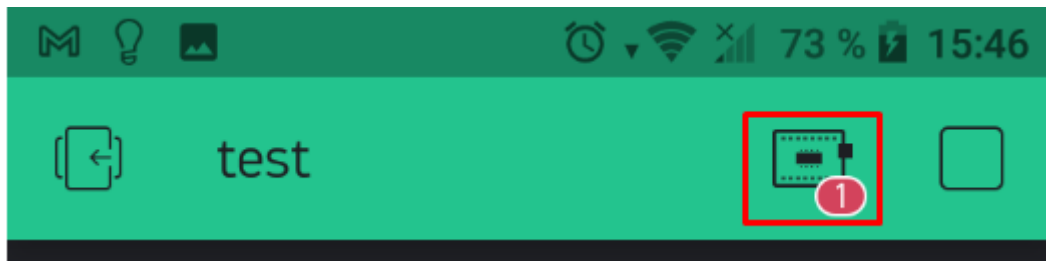


Рисунок 6.10 – Повідомлення про помилку підключення модуля ESP8266

В підсистемі передбачено візуальне сповіщення користувача про низький або достатній рівні освітленості. На рисунку 6.11 RGB LED блимає червоним світлом у випадку низького рівня освітленості. Якщо рівень освітленості нормальний, червоний світлодіод вимикається, а зелений світлодіод постійно світиться, як показано на рисунку 6.12.

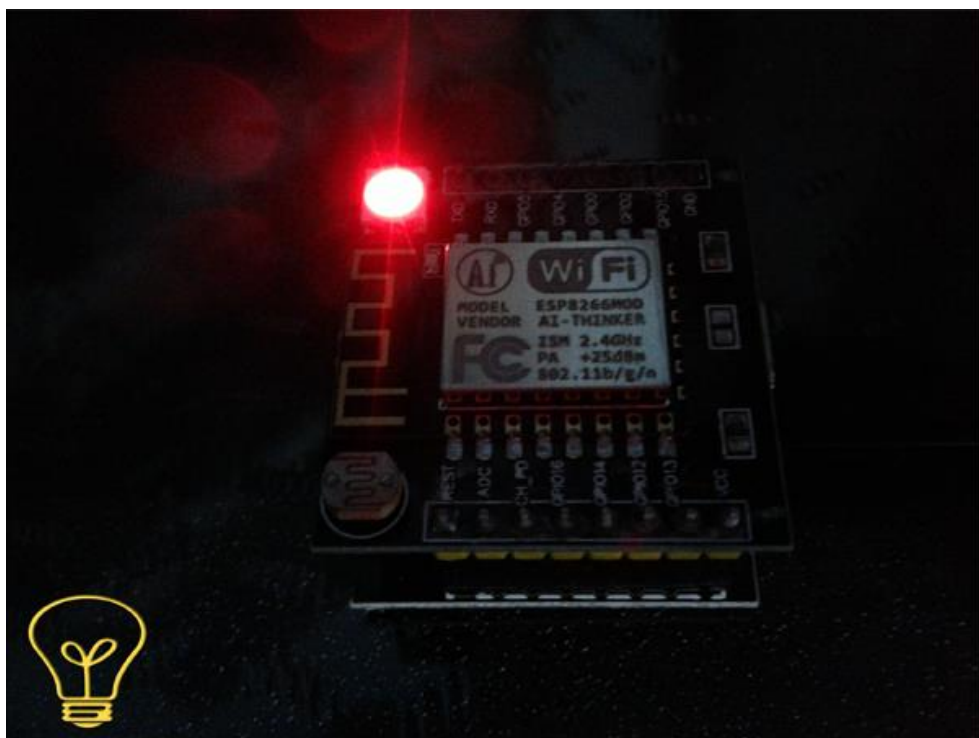


Рисунок 6.11 – Низький рівень освітленості



Рисунок 6.12 – Достатній рівень освітленості

ВИСНОВКИ

Як показали проведені дослідження, підсистема керування освітленням СДА надає своїм користувачам можливість економити електроенергію за умови комфортного освітлення відповідних зон відпочинку або роботи. Створення інтелектуальної підсистеми керування освітленням потребує використання різноманітних сенсорів та актуаторів, сучасних бездротових та мобільних технологій, а також стратегій керування.

Технології бездротової передачі даних стають все більш популярними серед розробників СДА завдяки появі різноманітних плат та модулів, зокрема Arduino, Raspberry Pi, ESP та ін. Wi-Fi модулі серії ESP8266 надають потужні можливості створення інтелектуальних рішень для СДА та IoT.

В результаті виконання роботи на мові програмування C++ в середовищі Arduino IDE та на платформі Blynk розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє інтегрувати модуль ESP8266 з Android смартфоном для прийняття та обробки даних з датчика освітленості та відправки керуючих команд з мобільного застосунку для включення/виключення LED.

Розроблено простий, наочний, інтелектуально зрозумілий інтерфейс підсистеми керування освітленням на основі віджетів, які може додавати/видаляти користувач СДА, наприклад у разі застосування нових датчиків та актуаторів.

Функціональне тестування підсистеми підтвердило її працездатність та можливість віддаленого керування освітленням в СДА за допомогою смартфона. Підсистема є масштабованою за рахунок можливості додавання модулів ESP8266.

Практична цінність роботи полягає тому, що розроблене ПЗ допомагає легко та зручно працювати з підсистемою керування освітленням СДА, надає можливість робити це дистанційно та економити електроенергію в системах домашньої та офісної автоматизації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Atıcı, Ç. Exploring user-centered intelligent road lighting design: a road map and future research directions / Ç. Atıcı, T. Özçelebi, J. J. Lukkien // IEEE Transactions on consumer electronics. – 2011. - Vol. 57, № 2. - P. 788-793.
2. ZigBee based energy efficient outdoor lighting control system / [A. A. Siddiqui, A. W. Ahmad, H. K. Yang, C. Lee] // Advanced communication technology: 14th International conference, PyeongChang, Korea (South), 19-22 Feb. 2012: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2012. - P. 916-919.
3. Intelligent household LED lighting system considering energy efficiency and user satisfaction / [J. Byun, I. Hong, B. Lee, S. Park] // IEEE Transactions on consumer electronics. – 2013. - Vol. 59, № 1. – P.70-76.
4. Home server for home digital service environments / [C. Bae, J. Yoo, K. Kang, et.al.] // IEEE Transactions on consumer electronics. – 2003. - Vol. 49, № 4. - P. 1129-1135.
5. Alkar, A. Z. An Internet based wireless home automation system for multifunctional devices / A. Z. Alkar, U. Buhur // IEEE Transactions on consumer electronics. – 2005. - Vol. 51, № 4. - P. 1169-1174.
6. Patil, N. Intelligent lighting system with energy efficiency / N. Patil, A. C. Wani // International journal of engineering sciences & research technology. – 2016. – Vol. 5, № 7. - P. 95-101.
7. Imam, M.H.T. Smart lighting control systems / M.H.T. Imam, S. Afshari, S. Mishra // Intelligent building control systems. - Springer international publishing: Cham, Switzerland, 2018. - P. 221–251.
8. Platform design for lifelog-based smart lighting control / [Y. Cho, J. Seo, H. Lee et. al.] // Building and environment. – 2020. - Vol. 185. - P. 1-28.
9. Pandharipande, A. Ligh-harvesting wireless sensors for indoor lighting control / A. Pandharipande, S. Li // IEEE Sens. J. - 2013. – Vol. 13, P. 4599–4606.
10. Lighting control with distributed wireless sensing and actuation for

daylight and occupancy adaptation / [A. Peru_o, A. Pandharipande, D. Caicedo, L. Schenato] // Energy Build. - 2015. – Vol. 97. – P. 13–20.

11. Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight / [J. Liu, W. Zhang, X. Chu, Y. Liu] // Energy Build. - 2016. – Vol. 127. – P. 95–104.

12. On the application of wireless sensors and actuators network in existing buildings for occupancy detection and occupancy-driven lighting control/ [T. Labeodan, C. de Bakker, A. Rosemann, W. Zeiler] // Energy Build. - 2016. – Vol. 127. – P. 75–83.

13. Wen, Y.-J. Personalized dynamic design of networked lighting for energy-e_cieny in open-plan o_ces. / Y.-J. Wen, A. M. Agogino // Energy Build. - 2011. – Vol. 43. – P. 1919–1924.

14. Occupant centered lighting control for comfort and energy e_cient building operation / [Z. Nagy, F. Y. Yong, M. Frei, A. Schlueter] // Energy Build. - 2015. – Vol. 94. – P. 100–108.

15. Caicedo, D. Distributed illumination control with local sensing and actuation in networked lighting systems / D. Caicedo, A. Pandharipande // IEEE Sens. J. - 2013. – Vol. 13. – P. 1092–1104.

16. Distributed lighting control with daylight and occupancy adaption/ [N. Van de Meughevel, A. Pandharipande, D. Caicedo, P.P.J. van den Hof]// Energy Build. - 2014. – Vol. 75. – P. 321–329.

17. Higuera, J. Trends in smart lighting for the Internet of Things [Electronic resource] / J. Higuera, A. Llenas, J. Carreras. - Access mode: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1809/1809.00986.pdf>.

18. Workplace lighting for improving alertness and mood in daytime workers // [D. V. Pachito, A. L. Eckeli, A. S. Desouky et. al.] // Cochrane database of systematic reviews. - 2018. – Vol. 3, № 4. – P. 1-20.

19. Building lighting automation through the integration of DALI with wireless sensor networks / [F. J. Bellido-Outeirino, J. M. Flores-Arias, F. Domingo-Perez, et al.] // IEEE Transactions on consumer electronics. – 2012. –

Vol. 58, № 1. - P. 47-52.

20. Varghese, S. G. A study of communication protocols and wireless networking systems for lighting control application / S. G. Varghese, C. P. Kurian, V. I. George // Renewable energy research and applications (ICRERA): International conference, Palermo, 22-25 November 2015: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2015. - P. 1301-1306.

21. Higuera, J. E. IEEE 1451 standard in 6LoWPAN sensor networks using a compact physical-layer transducer electronic datasheet / J. E. Higuera, J. Polo // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2011. - Vol. 60, № 8. - P. 2751-2758.

22. Beling, A. High-speed photodiodes / A. Beling, J. C. Campbell // IEEE J. Sel. Topics. Quantum Electron. – 2014. - Vol. 20, № 6. - P. 57-63.

23. PIR-sensor-based lighting device with ultra-low standby power consumption / [C.-H. Tsai, Y.-W. Bai, C.-A. Chu et al.] // IEEE Transactions on consumer electronics. – 2011. - Vol. 57, № 3. – P. 1157-1164.

24. A low cost, highly scalable wireless sensor network solution to achieve smart LED light control for green buildings / [M. Magno, T. Polonelli, L. Benini, E. Popovici] // IEEE Sens. J.- 2015. – Vol. 15. - P. 2963–2973.

25. Li, S. Networked illumination control with distributed light-harvesting wireless sensors. / S. Li, A. Pandharipande // IEEE Sens. J. – 2015. – Vol.15. – P. 1662–1669.

26. Papatsimpa, C. Propagating sensor uncertainty to better infer office occupancy in smart building control. / C. Papatsimpa, J.P.M.G. Linnartz // Energy Build. – 2018. – Vol. 179. – P. 73–82.

27. SoundLoc: accurate room-level indoor localization using acoustic signatures / [R. Jia, M. Jin, Z.Chen et al.] // Automation science and engineering (IEEE CASE 2015): IEEE International conference, Gothenburg, Sweden, 24–28 August 2015: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2015. - P. 186–193.

28. A WiFi-based occupancy-driven lighting control system for smart building / [H. Zou, Y. Zhou, H. Jiang et al.] // Energy Build.- 2018. – Vol. 158. – P. 924–938.

29. Han, K.H. Energy-saving building system integration with a smart and low-cost sensing/control network for sustainable and healthy living environments: Demonstration case study / K. H. Han, J. Zhang // *Energy Build.* – 2020. - Vol. 214. – P. 1-20.
30. Occupancy detection in non-residential buildings - a survey and novel privacy preserved occupancy monitoring solution / [J. Ahmad, H. Larijani, R. Emmanuel et al.] // *Applied Computing and Informatics.* - 2021. - Vol. 17, № 2. - P. 279-295.
31. A scheme on pedestrian detection using multi-sensor data fusion for smart roads. / [H. Wang, C. Li, Y. Zhang et al.] // *Vehicular technology: 91st IEEE conference, Antwerp, Belgium, 25–28 May 2020: proceedings.* – Los Alamitos: IEEE, 2020. - P. 1–5.
32. Fraden, J. Occupancy and motion detectors / J. Fraden // *Handbook of modern sensors.* - Springer: New York, USA, 2010. - P. 247–278.
33. An information technology enabled sustainability test-bed (ITEST) for occupancy detection through an environmental sensing network. / [B. Dong, B. Andrews, K. P. Lam et al.] // *Energy Build.* – 2010. – Vol. 42. – P. 1038–1046.
34. People counting based on head detection combining Adaboost and CNN in crowded surveillance environment / [C. Gao, P. Li, Y. Zhang et al.] // *Neurocomputing.* - 2016. – Vol. 208. – P. 108–116.
35. Sun, K. A review of building occupancy measurement systems / K. Sun, Q. Zhao, J. Zou // *Energy Build.* - 2020. – Vol. 216. P. 1-10.
36. Design and application of a Smart lighting system based on distributed wireless sensor networks / [Y. Cheng, C. Fang, J. Yuan, L. Zhu] // *Appl. Sci.* – 2020. – Vol. 10. - P. 1-21.
37. A multi-sensor based occupancy estimation model for supporting demand driven hvac operations / [Z. Yang, N. Li, B. Becerik-Gerber, M. Orosz] // *Simulation for architecture and urban design : Symposium, Orlando, Florida, 26 – 30 March 2012: proceedings.* - №. 2. – P. 1-8.
38. Estimating occupancy in heterogeneous sensor environment / [M.

Amayri, A. Arora, S. Ploix et al.] // *Energy Build.* – 2016. – Vol. 129. – P. 46–58.

39. Conditional random fields-based approach for real-time building occupancy estimation with multi-sensory networks / [S. Zikos, A.Tsolakis, D. Meskos et al.] // *Autom. Constr.* – 2016. – Vol. 68. – P. 128–145.

40. Lighting system control techniques in commercial buildings: current trends and future directions / [K. R. Wagiman, M. N. Abdullah, M.Y.Hassan et al.] // *J. Build. Eng.* – 2020. – Vol. 31. – P. 1-14.

41. The performance of occupancy-based lighting control systems: a review / [X. Guo, D. K. Tiller, G. P. Henze, C. E. Waters] // *Light. Res. Technol.* – 2010. – Vol. 42. - P. 415–431.

42. A review on sensing-based strategies of interior lighting control system and their performance in commercial buildings / [K. R. Wagiman, M. N. Abdullah, M. Y. Hassan, N.H.M. Radzi] // *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.* – 2019. – Vol. 16. - P. 208–215.

43. Occupancy-based lighting control in open-plan office spaces: A state-of-the-art review / [C. De Bakker, M. Aries, H. Kort, A. Rosemann] // *Build. Environ.* – 2017. – Vol. 112. – P. 308–321.

44. An optimal strategy for the deployment of sensor nodes in green buildings / [L. Wang, X. Zou, Q. Meng, X. Song] // *Intelligent control and information processing: Six international conference, Wuhan, China, 26–28 November 2015: proceedings.* – Los Alamitos: IEEE, 2015. - P. 209–213.

45. Norouzasl, S. Analysis of lighting occupancy sensor installation in building renovation using agent-based modeling of occupant behavior / S. Norouzasl, A. Jafari, C. Wang // *Computing in civil engineering: International conference, Atlanta, Georgia, 17–19 June 2019: proceedings.* – ASCE, 2019. - P. 593–601.

46. Smart and dynamic route lighting control based on movement tracking/ [E. Juntunen, E.-M. Sarjanoja, J. Eskeli et al.] // *Build. Environ.* – 2018. – Vol. 142. – P. 472–483.

47. A comparison of centralized and distributed monitoring architectures

in the smart grid./ [R. M. Oviedo, F. Ramos, S.Gormus et al.] // IEEE Syst. J. – 2013. – Vol. 7. – P. 832–844.

48. Daylight adaptive smart indoor lighting control method using artificial neural networks / [A. Seyedolhosseini, N. Masoumi, M. Modarressi, N. Karimian] // J. Build. Eng. – 2020. – Vol. 29. - P.1-15.

49. Experimental study of Bluetooth, ZigBee and IEEE 802.15.4 technologies on board high-speed trains / [J. Higuera, E. Kartsakli, J.-L. Valenzuela González et al.] // Vehicular technology: IEEE 75th conference (VTC Spring), Yokohama, 6-9 May 2012: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2012. – P. 1-5.

50. Wang, J. Zigbee light link and its applications / J. Wang // IEEE Wireless communications. - 2013. - Vol. 20, № 4. – P. 6-7.

51. Higuera, J. Standardization for interoperable autonomous smart sensors in the future energy grid system / J. Higuera, J. Polo // Telecommunications energy: IEEE 33rd international conference (INTELEC), Amsterdam, 9-13 Oct. 2011: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2011. - P. 1-9.

52. The Internet of lights: an open reference architecture and implementation for intelligent solid state lighting systems / [E. Mathews, S. S. Guclu, Q. L et al.] // Energies. -- 2017. - Vol. 10, № 8. - P. 1-27.

53. Smart lighting system ISO/IEC/IEEE 21451 compatible / [J. Higuera, W. Hertog, M. Perálvarez et al.] // IEEE Sensors J., 2015. -- Vol. 15, № 5. - P. 2595-2602.

54. Bellavista, P. Towards better scalability for IoT-cloud interactions via combined exploitation of MQTT and CoAP / P. Bellavista, A. Zanni // Research and technologies for society and industry leveraging a better tomorrow (RTSI): IEEE 2nd international forum, Bologna, Italy, 7-9 September 2016: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2016. - P. 1-6.

55. Difference between COAP and MQTT protocols [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-coap-and-mqtt-protocols/>.

56. Kulkarni, S. A survey on Li-Fi technology/ S. Kulkarni, A. Darekar, P. Joshi // Wireless communications, signal processing and networking (WiSPNET): International conference, Chennai, 23-25 March 2016: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2016. - P. 1624-1625.

57. Visible light communication, networking, and sensing: a survey, potential and challenges / [P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, P. Mohapatra] // IEEE Communications surveys and tutorials. -- 2015. - Vol. 17, № 4. – P. 2047-2077.

58. Tuneable and portable lighting system for visible light communications (TP-VLC) / [J. Higuera, B. Verge, M. Perálvarez, J. Carreras] // Instrumentation and measurement technology (I2MTC): IEEE international conference: proceedings, Pisa, Italy, 11-14 May 2015: proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2015. - P. 91-96.

59. Hussein, A. T. Fast and efficient adaptation techniques for visible light communication systems / A. T. Hussein, M. T. Alresheedi, J. M. H. Elmirghani // IEEE/OSA J. Optical Commun. and Networking. -- 2016. - Vol. 8, № 6. – P. 382-397.

60. Протоколы связи для "умного дома" [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ferra.ru/review/smarthome/SmartHome-Protocols.htm>.

61. Знакомство с недорогим и функциональным микроконтроллером ESP8266 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://tproger.ru/articles/about-esp8266/>.

62. Aprendiendo Arduino [Электрон. ресурс]. – Режим доступа <https://www.aprendiendoarduino.com/2018/01/23/video-iniciacion-a-esp8266-hardware/>.

63. Обзор модуля ESP-8266 Witty [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/391403>.

64. ESP32 vs ESP8266 – Pros and Cons [Electronic resource]. – Access mode: <https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/>.

65. Android приложения для Arduino [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/projects/android-arduino-prilozheniya/>.

66. 6 Easy Ways to Connect Arduino to Android [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.makeuseof.com/tag/6-easy-ways-connect-arduino-android/>.
67. Приложения для удаленного управления Arduino на Android [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://arduinoplus.ru/7-prilozhenii-arduino-na-android/>.
68. Blynk [Electronic resource]. – Access mode: <http://docs.blynk.cc/>.
69. Какие существуют среды разработки (IDE) для Arduino [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://soltau.ru/index.php/themes/kompyutery-i-programmy/item/465-kakie-sushchestvuyut-sredy-razrabotki-ide-dlya-arduino>.
70. Arduino IDE [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://biblprog.org.ua/ru/arduino_ide/.
71. Аналоги Arduino IDE [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://ruprogi.ru/software/arduino-ide>.
72. PlatformIO и Visual Studio Code для программирования Arduino, ESP32, Maixduino и не только [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://micro-pi.ru/platformio-visual-studio-code-arduino/>.
73. How to use an ESP-01S module [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.taydaelectronics.com/datasheets/files/ESP-01S.pdf>.

ДОДАТОК А
Текст програми

A.1 Модуль підключення Blynk

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

char auth[] = "SyKif25vaqnCVPUqBkR0271lCzDIMhSX";
char ssid[] = "TP- LINK_2DE6";
char pass[] = "76396717";

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
}

void loop()
{
  Blynk.run();
}
```

A.2 Модуль роботи з датчиком освітленості

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

const int redPin = D8;
const int greenPin = D6;
const int bluePin=D7;
const int ldrPin = A0;

char auth[] = "lC5jGP7UUsdIVX97PjWtKvat6IZI54j";
char ssid[] = "TP- LINK_2DE6";
char pass[] = "76396717";

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);

  pinMode(redPin, OUTPUT);
  pinMode(greenPin, OUTPUT);
  pinMode(bluePin, OUTPUT);
}
```

```

pinMode(ldrPin, INPUT);
digitalWrite(bluePin,HIGH);
delay (5000);
digitalWrite(bluePin,LOW);

}

void LightSensor()
{
  Blynk.run();
  int ldrStatus = analogRead(ldrPin);
  Serial.println(ldrStatus);
  if (ldrStatus <= 100) {
    digitalWrite(greenPin, LOW);
    digitalWrite(redPin, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(redPin, LOW);
    delay(100);
    Serial.println("LOW LIGHT LEVEL");
  }
  else {
    digitalWrite(redPin, LOW);
    digitalWrite(greenPin, HIGH);
    delay(100);
    Serial.println("NORMAL LIGHT LEVEL");
  }
}

```

A.3 Модуль відправки даних через Wi– Fi на застосунок Blynk [73]

```

#include <ESP8266WiFi.h>

const char* ssid    = "your– ssid";
const char* password = "your– password";
const char* host = "data.sparkfun.com";
const char* streamId  = ".....";
const char* privateKey = ".....";

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(10);

```

```

Serial.println();
Serial.println();
Serial.print("Connecting to ");
Serial.println(ssid);

```

```

WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}

```

```

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
}

```

```

int value = 0;
void loop() {
    delay(5000);
    ++value;
}

```

```

Serial.print("connecting to ");
Serial.println(host);

```

```

WiFiClient client;
const int httpPort = 80;
if (!client.connect(host, httpPort)) {
    Serial.println("connection failed");
    return;
}

```

```
}
```

```
String url = "/input/";
url += streamId;
url += "?private_key=";
url += privateKey;
url += "&value=";
url += value;
```

```
Serial.print("Requesting URL: ");
Serial.println(url);
client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
              "Host: " + host + "\r\n" +
              "Connection: close\r\n\r\n");
unsigned long timeout = millis();
while (client.available() == 0) {
  if (millis() - timeout > 5000) {
    Serial.println(">>> Client Timeout !");
    client.stop();
    return;
  }
}
```

```
while(client.available()){
  String line = client.readStringUntil('\r');
  Serial.print(line);
}
Serial.println();
Serial.println("closing connection");
}
```

A.4 Модуль створення серверу у мережі СДА [73]

```
#include <ESP8266WiFi.h>

const char* ssid = "your-ssid";
const char* password = "your-password";

WiFiServer server(80);

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(10);

    pinMode(2, OUTPUT);
    digitalWrite(2, 0);

    Serial.println();
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);

    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");

    server.begin();
    Serial.println("Server started");
    Serial.println(WiFi.localIP());
```

```

}

void loop() {
  WiFiClient client = server.available();
  if (!client) {
    return;
  }

  Serial.println("new client");
  while(!client.available()){
    delay(1);
  }

  String req = client.readStringUntil('\r');
  Serial.println(req);
  client.flush();

  int val;
  if (req.indexOf("/gpio/0") != - 1)
    val = 0;
  else if (req.indexOf("/gpio/1") != - 1)
    val = 1;
  else {
    Serial.println("invalid request");
    client.stop();
    return;
  }
  digitalWrite(2, val);

  client.flush();

```

```

        String s = "HTTP/1.1 200 OK\r\nContent-Type:
text/html\r\n\r\n<!DOCTYPE HTML>\r\n<html>\r\nGPIO is now ";
        s += (val)?"high":"low";
        s += "</html>\n";

        client.print(s);
        delay(1);
        Serial.println("Client disconnected");
    }

```

ДОДАТОК Б
Слайди презентації

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Дипломна кваліфікаційна робота бакалавра
на тему:

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ
ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ
В СИСТЕМІ ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1

Виконав
студент гр. КНТ-218

Породько М. Ю.

Керівник
к.т.н., доцент

Пархоменко А. В.

Рисунок Б.1 – Слайд 1

Актуальність роботи

2

Порівняння енергоспоживання в інтелектуальній та звичайній системах керування освітленням

Джерело: Patil, N. Intelligent lighting system with energy efficiency / N. Patil, A.C.Wani // International Journal of engineering sciences & research technology. - 2016. - Vol. 5, № 7. - P. 95-101.

Ключові елементи інтелектуальної системи керування освітленням

Рисунок Б.2 – Слайд 2

3

Мета та задачі роботи

Мета роботи - розробка підсистеми віддаленого керування освітленням СДА на основі бездротових та мобільних технологій для ефективного використання електроенергії.

Задачі роботи:

- виконати аналіз технологій та засобів передачі даних для підсистеми керування освітленням;
- розробити архітектуру підсистеми керування освітленням;
- обрати апаратні та програмні засоби розробки;
- виконати програмну реалізацію підсистеми керування освітленням;
- розробити програмну документацію.

Рисунок Б.3 – Слайд 3

4

Аналіз технологій та засобів передачі даних для підсистеми керування освітленням

Протоколи зв'язку для ІСКО

Дровові

Бездротові

Гібридні

1-Wire

Ethernet

Wi-Fi

ZigBee

Z-Wave

Bluetooth

Insteon

X10

KNX

Типи протоколів зв'язку

Технологія	Тип мережі	Частота	Максимальна пропускна здатність
Wi-Fi	WLAN	2.4, 3.6, 5.6 ГГц	6-780 МБ/с; 6.75 Гб/с @20ГГц
Z-Wave	Mesh	868.42 МГц	100 КБ/с
Bluetooth Class 1	WPAN	2.4 -2.4835 ГГц	1 МБ/с
Bluetooth Smart (BLE)	WPAN	2.4 -2.4835 ГГц	1 МБ/с
ZigBee	Mesh	2.4 -2.4835 ГГц	250 КБ/с
RFID	P2P	13.56 МГц	42 КБ/с
NFC	P2P	13.56 МГц	424 КБ/с
LTE (4G)	GERAN/UTRAN	1800-2600 МГц	0.1-1 Гб/с
6LoWPAN	Mesh	2.4 ГГц	255 КБ/с
LoRaWAN	LPWAN	433/868/780/915 МГц	ЕС: 0.3 КБ/с - 50 КБ/с США: 0.9 КБ/с - 100 КБ/с

Порівняння бездротових технологій

Рисунок Б.4 – Слайд 4

Проектування підсистеми

7

Характеристика	Arduino IDE	PlatformIO
Складність входу	-	+
Наявність бібліотек для сенсорів та актуаторів	+	-
Функціональність монітора	+	-
Менеджер бібліотек	+	-

Порівняльний аналіз середовищ розробки Arduino IDE та PlatformIO

Android смартфон

ESP8266 Witty Cloud

Схема роботи Blynk

Рисунок Б.7 – Слайд 7

Конструювання підсистеми

8

Структура підсистеми віддаленого керування освітленням

Підсистема віддаленого керування освітленням

Мобільний застосунок Blynk

Модуль підключення Blynk

Модуль роботи з датчиком освітленості

Модуль відправки даних через Wi-Fi на застосунок Blynk

Модуль створення серверу у мережі СДА

Алгоритм керування освітленням

```
graph TD; Start([Початок]) --> Init[/Ініціалізація портів та змінних/]; Init --> Mode{Вибір режиму}; Mode --> OFF[Режим "OFF"]; Mode --> Auto[Автоматичний режим]; Mode --> ON[Режим "ON"]; OFF --> OffAct[Вимкнення освітлення]; Auto --> Print{Друк?}; Print -- Ні --> OffAct; Print -- Так --> Intensity[/Вимкнення інтенсивності освітлення/]; Intensity --> PWM[/Розрахунок значення ШІМ/]; PWM --> Level[/Зміна рівня освітлення/]; Level --> OffAct; ON --> OnAct[Увімкнення освітлення]; OffAct --> End([Кінець]); OnAct --> End; Level --> End;
```

Рисунок Б.8 – Слайд 8

Організація зв'язку Blynk та модулю ESP8266 Witty Cloud

9

Базовий код для зв'язку ESP8266 та Blynk

Завантаження коду через Arduino IDE

Рисунок Б.9 –Слайд 9

Етапи створення мобільного застосунку Blynk

10

Головне меню Blynk

Створення облікового запису

Створення нового проєкту

Вибір обладнання та типу підключення

Рисунок Б.10 – Слайд 10

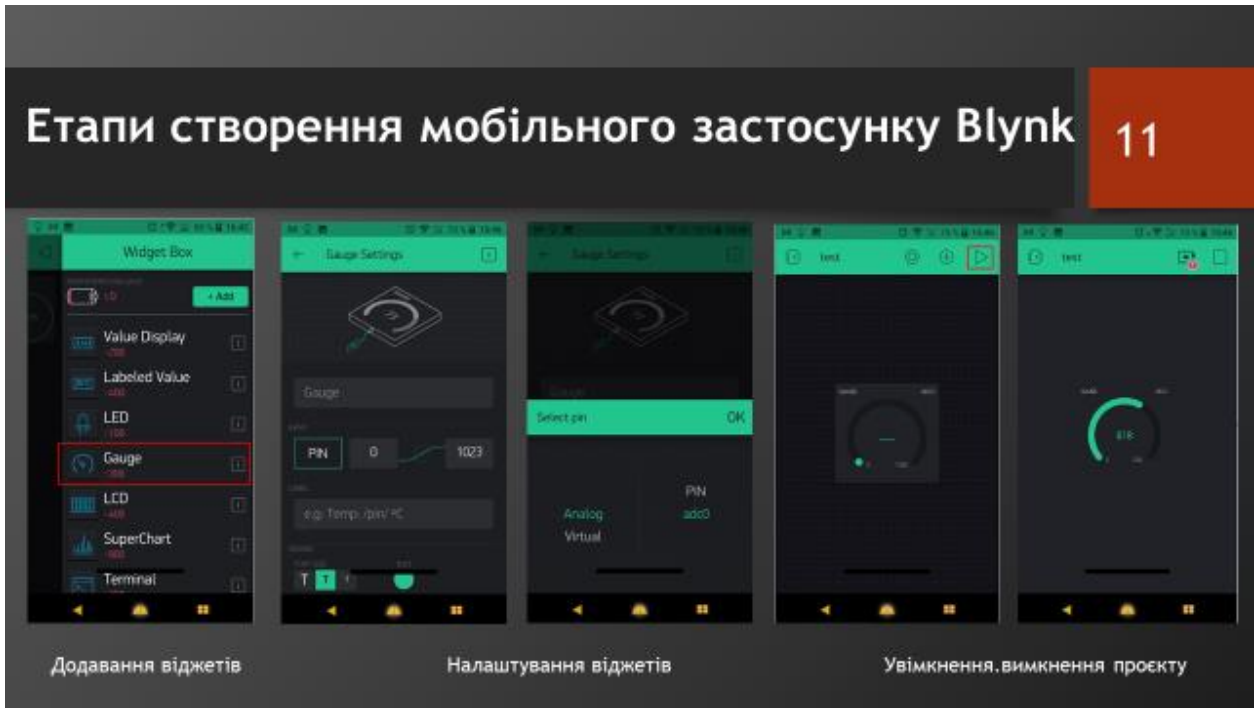


Рисунок Б.11 – Слайд 11

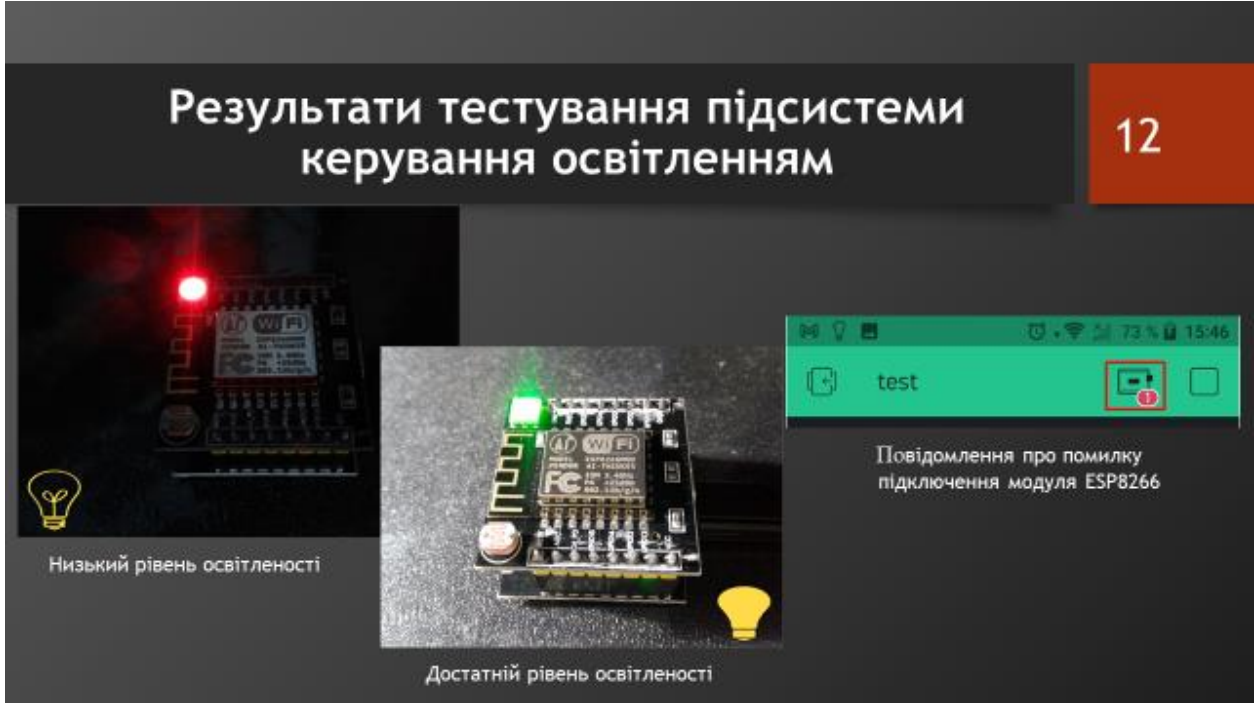


Рисунок Б.12 – Слайд 12

Висновки

13

- В результаті виконання роботи на мові програмування C++ в середовищі Arduino IDE та на платформі Blynk розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє інтегрувати модуль ESP8266 з Android смартфоном для прийняття та обробки даних з датчика освітленості та відправки керуючих команд з мобільного застосунку для включення/виключення LED.
- Розроблено простий, наочний, інтелектуально зрозумілий інтерфейс підсистеми керування освітленням на основі віджетів, які може додавати/видаляти користувач СДА, наприклад у разі застосування нових датчиків та актуаторів.
- Функціональне тестування підсистеми підтвердило її працездатність та можливість віддаленого керування освітленням в СДА за допомогою смартфона. Підсистема є масштабованою за рахунок можливості додавання модулів ESP8266.
- Практична цінність роботи полягає тому, що розроблене ПЗ допомагає легко та зручно працювати з підсистемою керування освітленням СДА, надає можливість робити це дистанційно та економити електроенергію в системах домашньої та офісної автоматизації.

Рисунок Б.13 – Слайд 13

14

Дякую за увагу !

Рисунок Б.14 – Слайд 14