

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система "Розумні ліхтарі". Апаратна частина
Назва теми

КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ2-21-1

Підпис

Даниїл ЗАПЛАВСЬКИЙ

Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

Катерина БЕРЕЗЬКА

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем

Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ініціали, прізвище

«12» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем
Освітній рівень БАКАЛАВР
Галузь знань 12 Інформаційні технології
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Данилу ЗАГЛАВСЬКОМУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система “Розумні ліхтарі”. Апаратна частина

Керівник проекту (роботи) Катерина БЕРЕЗЬКА, к.т.н., доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце звання

- Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23
2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.
 3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу
 4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Кіберфізична система адаптивного керування освітленням на базі розумного ліхтаря та постановка задачі щодо її вдосконалення
Проектування системи збору та обробки екологічних параметрів у розумному ліхтарі на основі ESP32
Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи керування розумним ліхтарем та моніторингом довкілля
 5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____
Схема підключення плати до компонентів системи
Схема функціонування системи розумного ліхтаря
Інтерфейс дистанційного користування пристроєм за допомогою ПК

6. Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій ПІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування кіберфізичною системи розумного ліхтаря	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проєктування кіберфізичною системи розумного ліхтаря	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	


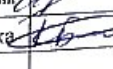
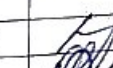
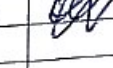
Студент

Керівник роботи

Підпис: Даниїл ЗАПЛАВСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

Підпис: Катерина БЕРЕЗЬКА
Ініціали, прізвище

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л - л и с т і в	№ с к з	П р и м і т к а	
			<u>Текстові документи</u>				
1		КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Пояснювальна записка				
			<u>Графічні матеріали</u>				
2		КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Схема підключення плати до компонентів системи	1			
3		КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Схема функціонування системи	1			
4		КвРКІ 210109.21.01.01 Е8	Інтерфейс дистанційного користування	1			
КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ							
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту ХНУ, КІ2-21-1		
Розробив		Запласький		20.06.23			
Перевір.		Березька					
Н. контр.		Кисіль		21.06.23			
Затв.		Павлова		18.06.23			
					Літера	Аркуш	Аркушів
					У	1	1

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система «Розумні ліхтарі». Апаратна частина».

Автор роботи: Даниїл ЗАПЛАВСЬКИЙ.

Керівник роботи: Березька Катерина Миколаївна.

Пояснювальна записка: 55 с., 21 Рис., 1 табл., 3 дол., 41 джерело.

Графічна частина: 3 креслення.


КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, РОЗУМНІ ЛІХТАРІ, ESP32, АВТОМАТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження умов та особливостей застосування апаратного і програмного забезпечення для створення розумного ліхтаря на базі платформи ESP32, а також оцінка ефективності збору, обробки та візуалізації екологічних даних у складі кіберфізичної системи з дистанційним керуванням

Об'єктом дослідження є функціонування екосистеми моніторингу навколишнього середовища у складі розумного ліхтаря.

Предметом дослідження є методи інтеграції сенсорних даних (температури, вологості, освітленості та якості повітря) у систему керування освітленням і оповіщенням, а також алгоритми автоматичного й ручного режимів керування пристроєм.

Під час проведення даного дослідження було використано метод аналізу науково-технічних джерел, документації та матеріалів з відкритих ресурсів з метою вивчення можливостей ESP32, сенсорів та інтернет-сервісу Blynk.


Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА РОЗМУНОГО ЛІХТАРЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	4
1.1 Поняття кіберфізичних систем та Інтернету речей.....	5
1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень.....	10
1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження.....	14
1.4 Постановка задачі.....	17
1.5 Висновки до першого розділу.....	18
2 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ЛІХТАРЯ	20
2.1 Пошук оптимальних рішень.....	20
2.2 Постановка задач та вимоги.....	22
2.3 Огляд апаратної частини розумного ліхтаря.....	25
2.4 Програмне забезпечення для керування розумним ліхтарем.....	31
2.5 Особливості платформи ESP32, які варто враховувати при подальшому проєктуванні. Поняття аналогових і цифрових входів.....	35
2.4 Висновки до другого розділу.....	37
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ЛІХТАРЯ	38
3.1 Проєктування системи за допомогою програмного забезпечення Wokwi.....	38
3.2 Налаштування та програмування компонентів системи за допомогою Arduino IDE.....	46
3.3 Конфігурація системи дистанційного керування за допомогою Blynk IoT.....	50
3.4 Вартість проєкту та порівняння із готовими проєктами.....	53
3.5 Висновки до третього розділу.....	55

				КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система «Розумні ліхтарі». Апаратна частина	Літера	Аркулл	Аркуллів
Виконав		Даша ЗАПЛАВСЬКА	<i>[Signature]</i>	12.06.22		у		72
Перевіс.		Катерина БЕРЕЗЬКА	<i>[Signature]</i>				2	72
Н.контр.		Тетяна КИСІЛЬ	<i>[Signature]</i>					
Затвер.		Ольга ПАВЛЮВА	<i>[Signature]</i>					
						ХНУ КІ2-21-1		

ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	59
ДОДАТОК А	63
ДОДАТОК Б	64
ДОДАТОК В	65

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

У нинішніх умовах швидкого розвитку цифрових технологій, збільшення вимог до енергоефективності та автоматизації міського простору, виникає потреба у створенні інтелектуальних інженерних систем, здатних гарантувати не тільки базову функціональність, але й самостійне прийняття рішень, адаптацію до змін зовнішнього середовища, гнучке управління та моніторинг у режимі реального часу. Саме таким вимогам відповідають кіберфізичні системи (КФС), до яких зараховується і розумне вуличне освітлення – інтегроване рішення, що поєднує апаратну базу, сенсори, алгоритми аналізу даних та бездротові засоби зв'язку. Розумні ліхтарі як приклад кіберфізичних систем стали важливою складовою інфраструктури розумного міста. Завдяки використанню інтелектуальних контролерів, енергоефективних джерел світла, систем дистанційного управління та інтеграції з мережею Інтернету речей (ІоТ), такі системи дозволяють досягати значної економії електроенергії, підвищувати рівень безпеки в нічний час, знижувати навантаження на комунальні служби та створювати цифрову екосистему міста.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА РОЗМУНОГО ЛІХТАРЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1. Поняття кіберфізичних систем та Інтернету речей

Визначення кіберфізичних систем

Кіберфізичні системи (КФС) – це інтегровані обчислювальні системи, які тісно взаємодіють із фізичним середовищем за допомогою сенсорів, виконавчих механізмів та мережевих технологій. Вони поєднують у собі апаратне забезпечення, програмне забезпечення, мережеві сервіси та фізичні процеси. Основна мета КФС – забезпечити автоматизований аналіз даних, прийняття рішень і керування фізичними об'єктами в реальному часі.

На думку провідних дослідників, КФС є еволюційним етапом розвитку вбудованих систем, де акцент зроблено на взаємозв'язку між інформаційною та фізичною складовими. Прикладом таких систем можуть бути автономні автомобілі, розумні будинки, медичні імплантати, виробничі лінії тощо.

Особливості кіберфізичних систем:

Інтерактивність – постійна взаємодія з навколишнім середовищем.

Адаптивність – здатність змінювати поведінку відповідно до умов.

Децентралізація – можливість автономної роботи окремих вузлів.

Часова визначеність – обробка даних і реагування в режимі реального часу.

У сфері освітлення КФС дозволяють створювати інтелектуальні системи, які автоматично регулюють яскравість ліхтарів залежно від часу доби, погодних умов або присутності людей на вулиці.

Інтернет речей (IoT) як складова КФС

					КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це технологічна концепція, яка передбачає об'єднання фізичних об'єктів (пристроїв, сенсорів, машин) у мережу для обміну даними та віддаленого керування. Пристрої IoT здатні сприймати навколишнє середовище, взаємодіяти між собою, надсилати інформацію до хмарного серверу або локального центру обробки.

За оцінками аналітичної компанії Statista, до 2025 року в світі налічуватиметься понад 30 мільярдів підключених IoT-пристроїв, що свідчить про стрімкий розвиток цієї технології у всіх сферах – від промисловості до побуту.

Типова IoT-система складається з наступних компонентів:

- пристрої (edge) – мікроконтролери, сенсори, виконавчі механізми;
- пережевий рівень – засоби зв'язку: Wi-Fi, LoRa, Zigbee, NB-IoT;
- обробка даних – локальні або хмарні сервери;
- інтерфейси керування – веб- або мобільні застосунки для моніторингу та керування системою.

Використання IoT в Україні

Інтернет речей в Україні активно інтегрується в різноманітні сфери діяльності, сприяючи модернізації та підвищенню ефективності традиційних галузей економіки. Застосування IoT у країні має комплексний характер і охоплює як урбаністичні, так і промислові, сільськогосподарські та медичні напрямки.

Однією з найбільш помітних сфер впровадження технологій IoT в Україні є розвиток концепції «розумних міст». У цьому контексті велика увага приділяється модернізації систем вуличного освітлення, де використовуються інтелектуальні ліхтарі, здатні автоматично регулювати яскравість світла залежно від часу доби та погодних умов, що дозволяє значно знизити споживання електроенергії. Крім того, у міському середовищі IoT використовується для оптимізації транспортних потоків через встановлення сенсорів для моніторингу руху, які забезпечують більш ефективне управління світлофорними об'єктами і сприяють зменшенню транспортних заторів. Важливим аспектом є також моніторинг екологічного стану

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міст, зокрема вимірювання якості повітря, рівня шуму та інших показників довкілля, що здійснюється за допомогою мережі датчиків.

У сільському господарстві використання IoT-рішень дозволяє підвищити продуктивність і ефективність агровиробництва. Системи точного землеробства, оснащені датчиками вологості ґрунту, температури та освітленості, забезпечують автоматизацію процесів поливу та контроль оптимальних умов для росту рослин. Такі технології сприяють раціональному використанню ресурсів та зменшенню втрат урожаю. Крім того, IoT застосовується для моніторингу стану сільськогосподарської техніки і тварин, що підвищує рівень управління господарством.

Промисловий сектор в Україні також поступово впроваджує IoT-рішення, орієнтуючись на автоматизацію виробничих процесів і підвищення якості продукції. Інтелектуальні датчики та системи моніторингу дають змогу в режимі реального часу контролювати роботу обладнання, що дозволяє своєчасно виявляти можливі несправності і планувати профілактичне технічне обслуговування, що зменшує час простоїв і оптимізує виробничі витрати.

У сфері енергетики розробляються та впроваджуються системи «розумних лічильників», які забезпечують моніторинг споживання електроенергії, газу та води в реальному часі. Такі рішення не лише сприяють підвищенню прозорості та точності обліку, але й дають можливість ефективно управляти енергоресурсами, включаючи інтеграцію відновлюваних джерел енергії та оптимізацію споживання в будівлях.

В охороні здоров'я IoT використовується для розвитку телемедицини та дистанційного моніторингу пацієнтів, що особливо актуально у контексті розширення доступу до медичних послуг у віддалених регіонах країни. Носимі пристрої дозволяють контролювати фізіологічні параметри пацієнтів у режимі реального часу, що сприяє підвищенню якості медичного обслуговування та своєчасному реагуванню на зміни стану здоров'я.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В Україні розвиток IoT підтримують як державні ініціативи, так і приватний сектор. Прикладом успішного впровадження є Київська міська рада, яка реалізує проекти зі встановлення інтелектуального освітлення та систем моніторингу міського середовища. Також значний внесок у розвиток технологій IoT роблять українські компанії, такі як Ajax Systems, що спеціалізуються на рішеннях розумної безпеки, та агротехнологічні стартапи, які сприяють впровадженню точного землеробства. Промислові підприємства країни також активно використовують IoT для оптимізації виробництва і енергозбереження, що є важливим чинником підвищення їх конкурентоспроможності.

Таким чином, впровадження IoT в Україні охоплює широкий спектр застосувань і сприяє підвищенню ефективності, автоматизації та сталому розвитку різних галузей економіки, що відповідає світовим тенденціям цифровізації суспільства.



Рисунок 1.1 – IoT – в Україні[4]

Архітектура IoT у розумному освітленні

У випадку розумного освітлення, система IoT реалізується у вигляді децентралізованої мережі вуличних ліхтарів, які містять контролери (наприклад, ESP32), сенсори руху, освітленості, температури, а також

бездротові модулі зв'язку. Кожен ліхтар може функціонувати автономно або бути частиною єдиної керованої мережі.

Ключові функції такої системи:

1. Автоматичне вмикання/вимикання світла залежно від наявності руху.
2. Регулювання яскравості відповідно до рівня зовнішнього освітлення.
3. Моніторинг стану ліхтарів (напр., несправність, перегрів).
4. Збір даних про енергоспоживання, кліматичні умови.
5. Дистанційне керування з веб-панелі або мобільного додатку.

Система може передавати дані до хмарного сервісу, де вони аналізуються та зберігаються. Для оптимізації роботи часто використовують протоколи MQTT, CoAP або REST API. Інтеграція з платформами типу ThingSpeak, Blynk, AWS IoT або Google Cloud IoT Core дозволяє гнучко керувати пристроями в режимі реального часу.

Переваги використання IoT у системах освітлення

Інтеграція IoT-технологій у вуличне освітлення дає такі переваги:

- Енергозбереження – динамічне регулювання яскравості зменшує споживання електроенергії до 40–60%.
- Екологічність – зниження рівня світлового забруднення та оптимізація роботи світлодіодних джерел.
- Підвищення безпеки – автоматичне вмикання світла при виявленні руху покращує видимість для пішоходів і водіїв.
- Зменшення витрат на обслуговування – попереджувальна діагностика дозволяє вчасно замінювати несправні елементи.
- Масштабованість – можливість додавання нових пристроїв без зміни всієї інфраструктури.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приклади впровадження IoT-освітлення

У низці міст світу вже впроваджено або активно розвиваються системи розумного освітлення:

Барселона (Іспанія) – понад 50 000 IoT-ліхтарів керуються централізовано, що дозволило зекономити понад 30% електроенергії.

Чикаго (США) – система IoT-освітлення інтегрована з іншими елементами «розумного міста» –моніторингом трафіку, якості повітря, камер відеоспостереження.

Київ (Україна) –пілотні проєкти Smart Lighting на базі NB-IoT і Wi-Fi були реалізовані в межах програм цифровізації, зокрема на Подолі та у ВДНГ.

1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

Рішення на основі світлодіодних ламп з сенсорами руху

Приклад: Одним із найпоширеніших рішень для розумного освітлення є використання світлодіодних ламп з вбудованими сенсорами руху. Такі системи автоматично включають освітлення, коли вони виявляють рух на певній ділянці, і вимикаються, коли рух припиняється. Це допомагає зменшити споживання електроенергії, оскільки освітлення вмикається лише за потребою.

Переваги:

□ Світлодіодні ліхтарі споживають на 70–80% менше електроенергії порівняно з традиційними лампами розжарювання. За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), якщо б усі вуличні ліхтарі у світі були оснащені світлодіодами, це дозволило б зекономити близько 65 мільярдів доларів на рік та скоротити викиди CO₂ на 150 мільйонів тонн.

					КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

□ Світлодіодні ліхтарі з сенсорами руху є досить простими у встановленні. Вони не потребують складної інфраструктури чи додаткових проводів, що значно знижує витрати на встановлення.

□ Замість того, щоб залишати освітлення ввімкненим протягом ночі, сенсори дозволяють автоматично вмикати світло тільки в тих місцях, де є рух. Це забезпечує значну економію електроенергії та знижує витрати на комунальні послуги.

□ Автоматичне включення світла при виявленні руху підвищує безпеку на вулицях, зменшуючи темні ділянки, де можуть траплятися злочини або аварії.

Недоліки:

□ Сенсори руху виявляють лише рух, а не інші умови, такі як рівень освітленості чи погодні зміни. Тому це рішення може бути недостатньо гнучким для різних погодних умов.

□ У випадку, коли рух на вулиці малий або повільний (наприклад, велосипедисти чи пішоходи), система може не відреагувати належним чином, що призведе до недостатнього освітлення.

□ Підключення великої кількості ліхтарів в єдину систему вимагає певних зусиль і може бути дорогим. Для великих міст або територій потрібна розгалужена мережа таких ліхтарів, що може ускладнити процес інтеграції.

Рішення на основі центральних керуючих платформ (IoT-платформи)

Приклад: Великі міста, такі як Барселона, Чикаго або Лондон, активно впроваджують централізовані IoT-платформи для управління освітленням в місті. Всі ліхтарі з'єднані з централізованою мережею, що дозволяє моніторити їх стан, налаштовувати освітленість та ефективно управляти енергоспоживанням.

					КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги:

□ Ці платформи дозволяють управляти всіма ліхтарями через одну панель. Це дає змогу легко коригувати яскравість освітлення в різних частинах міста, включати чи вимикати ліхтарі в залежності від часу доби чи погодних умов.

□ Встановлення централізованої системи з керуванням освітленням дозволяє знижувати витрати на електроенергію. Наприклад, місто Чикаго заявило про 30% зменшення споживання електроенергії після впровадження розумного освітлення.

□ Ліхтарі постійно передають дані про своє стан, що дозволяє своєчасно виявляти проблеми, такі як пошкодження або відсутність освітлення в конкретних місцях.

□ Ці системи можуть бути інтегровані з іншими технологіями "розумного міста", такими як управління трафіком, моніторинг якості повітря та безпеки, що дозволяє створити комплексну інфраструктуру для міста.

Недоліки:

□ Ініціація проекту для централізованого управління вимагає значних початкових інвестицій у програмне забезпечення, сервери, сенсори та інші технології. Це може бути дорогим для міст з обмеженим бюджетом.

□ Оскільки система пов'язана з Інтернетом і серверними технологіями, вона може бути вразливою до збоїв у мережі чи кіберзагроз, що може призвести до тимчасових відключень освітлення.

□ Підтримка та оновлення такої системи вимагає наявності кваліфікованих ІТ-фахівців, що може бути проблемою для міст, які не мають достатньої кількості спеціалістів.

Рішення на основі бездротових сенсорних мереж (LoRaWAN, Zigbee)

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приклад: Використання бездротових технологій, таких як LoRaWAN або Zigbee, дозволяє створювати мережі для зв'язку між ліхтарями в місті без необхідності прокладання дорогих проводів. Ці технології забезпечують передачу даних на великі відстані з низьким споживанням енергії.

Переваги:

□ LoRaWAN і Zigbee мають дуже низьке енергоспоживання, що дозволяє ліхтарям працювати на одному зарядженні кілька років. Це ідеально підходить для віддалених районів або там, де проводити проводку дуже складно.

□ LoRaWAN забезпечує зв'язок на великих відстанях (до кількох кілометрів), що дозволяє покривати великі території без необхідності встановлювати численні точки доступу.

□ Оскільки ці технології мають низькі вимоги до інфраструктури, нові ліхтарі можна швидко додавати до існуючої мережі без великих витрат.

Недоліки:

□ Хоча LoRaWAN і Zigbee ефективні для передачі невеликих обсягів даних, вони не підходять для високошвидкісних або великооб'ємних передач даних. Тому вони не можуть бути використані для більш складних систем, де потрібно передавати багато даних.

□ Якщо мережа не має достатнього покриття, наприклад, через будівлі або природні перешкоди, зв'язок може бути ненадійним.

Рішення на основі штучного інтелекту (AI) та машинного навчання

Приклад: В деяких інноваційних містах, таких як Сінгапур, активно використовують штучний інтелект для адаптації освітлення до умов навколишнього середовища, таких як погодні умови, рівень руху, час доби тощо. AI-системи можуть прогнозувати потребу в освітленні і налаштовувати його в реальному часі.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги:

□ AI дозволяє адаптувати освітлення в реальному часі, враховуючи різні фактори. Наприклад, вночі, коли рух на вулицях мінімальний, система може знижувати яскравість освітлення, що допомагає заощаджувати енергію.

□ Завдяки машинному навчанню, система може вчитися на основі зібраних даних і ставати ефективнішою з часом, передбачаючи потреби в освітленні в різних умовах.

□ Система дозволяє точно налаштувати освітлення, щоб воно використовувалося тільки тоді, коли це потрібно, що значно знижує витрати на електрику.

Недоліки:

□ Впровадження AI для управління освітленням потребує значних інвестицій у розробку алгоритмів, збір даних та обчислювальні потужності.

□ Для ефективного навчання алгоритмів потрібні великі обсяги даних, що не завжди можливо отримати або виміряти точно.

□ Враховуючи, що AI-системи потребують великих обчислювальних потужностей, це може бути проблемою для малих або середніх міст, які не мають необхідних ресурсів для підтримки таких технологій.

1.3 Підходи до вирішення задачі за темою дослідження

Оскільки ми говоримо про розумні ліхтарі та їх інтеграцію в міське освітлення, важливо підібрати правильну платформу для керування цією системою. Для таких завдань відмінно підходять мікрокомп'ютери, такі як Raspberry Pi або Arduino. Вони дозволяють створювати гнучкі і економічні рішення для автоматизації освітлення. Для програмування можна використовувати різні мови, наприклад, MicroPython чи C#, що дає додаткові можливості для реалізації різних функцій.

					КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Використання Raspberry Pi

Raspberry Pi – це досить популярна платформа для різних проектів, включаючи розумні ліхтарі. Вона має багато переваг: це компактний комп'ютер з достатньою потужністю для реалізації складних функцій. Крім того, Raspberry Pi підтримує підключення до Інтернету, що дозволяє керувати освітленням з будь-якої точки, а також інтегрувати систему з іншими компонентами смарт-міст.

Переваги:

Інтеграція з сенсорами: Завдяки широкому вибору сенсорів, Raspberry Pi дає можливість адаптувати освітлення залежно від зовнішніх умов, таких як рівень освітленості або рух на вулиці.

Зв'язок через Інтернет: Платформа підтримує підключення до Інтернету, що дає змогу дистанційно керувати освітленням і моніторити його стан.

Гнучкість програмування: Raspberry Pi підтримує різні мови програмування, такі як Python і C, що дозволяє створювати індивідуальні програми для управління освітленням.

Проблеми:

Вартість: Raspberry Pi може бути дорожчим варіантом, порівняно з іншими мікроконтролерами, що може збільшити вартість проекту.

Високе енергоспоживання: Вона споживає більше енергії, ніж прості мікроконтролери, що може бути проблемою для автономних або віддалених систем.

2. Використання Arduino

Arduino – це одна з найпопулярніших платформ для простих проектів. Вона значно дешевша за Raspberry Pi, і має набагато менші вимоги до енергоспоживання, що робить її ідеальною для розумних ліхтарів, які повинні працювати довгий час без підзарядки. Вона також підтримує безліч

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сенсорів і модулів, що дозволяє створювати різноманітні системи освітлення.

Переваги:

Простота використання: Програмування на Arduino досить просте, що дозволяє швидко налаштувати автоматичне включення або регулювання яскравості ліхтарів залежно від обставин.

Низьке енергоспоживання: Платформа дуже енергоефективна, що дозволяє створювати автономні системи, які можна жити від сонячних панелей чи акумуляторів.

Широкий вибір сенсорів: Arduino підтримує величезну кількість сенсорів, що дає можливість створювати складніші системи освітлення.

Проблеми:

Обмежена потужність: Arduino має меншу обчислювальну потужність, що може стати проблемою для більш складних систем.

Відсутність прямого доступу до Інтернету: Для цього потрібно додатково підключати модулі зв'язку, що ускладнює реалізацію бездротового керування.

3. Програмування на MicroPython або C#

Для програмування таких систем можна використовувати різні мови, в залежності від платформи. Однією з найпопулярніших є MicroPython, оскільки вона проста і дозволяє швидко написати ефективні програми для управління ліхтарями. Якщо говорити про більш складні проекти, то можна використовувати **C#**, який дає більше можливостей для створення масштабованих систем.

MicroPython:

MicroPython – це легка і потужна мова, яка дуже зручна для програмування на таких платформах, як Raspberry Pi чи ESP32. Вона дає можливість легко писати програми для керування освітленням.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гнучкість: MicroPython дозволяє створювати ефективні програми, які не займають багато місця в пам'яті.

Інтеграція з IoT: Платформа добре інтегрується з Інтернетом речей (IoT), що дозволяє підключати освітлення до інших розумних систем.

C#:

C# – це мова програмування, яка використовується для створення складних та масштабованих програм. Вона добре підходить для розробки великих систем керування освітленням і створення зручних інтерфейсів для моніторингу.

Масштабованість: C# дозволяє створювати великі та складні системи, що дуже важливо для міських мереж освітлення.

Інтерфейси користувача: Завдяки можливості створювати інтерфейси на C#, можна зручно управляти освітленням через комп'ютери чи мобільні пристрої.

Проблеми:

Складність для новачків: C# може бути складним для вивчення, особливо якщо це перший досвід програмування.

Вимоги до ресурсів: C# вимагає більше обчислювальних потужностей, що може бути недоцільно для малих або автономних систем.

1.4 Постановка задачі

Завданням цієї роботи є розробка та аналіз системи розумного освітлення, зокрема, для створення інтелектуальних ліхтарів, які автоматично адаптуються до умов навколишнього середовища. Завдання включають в себе наступні етапи:

1. Дослідження існуючих рішень та принципів роботи розумних ліхтарів: необхідно вивчити існуючі технології та рішення в галузі розумного освітлення,

					КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зокрема різні типи датчиків, сенсорів освітленості та руху, а також підходи до керування ліхтарями через мережу Інтернет або локальні системи.

2. Теоретичний аналіз сфери розумних ліхтарів: потрібно провести детальний теоретичний аналіз технологій, що використовуються в системах інтелектуального освітлення, включаючи аналіз їх переваг і недоліків, а також розглянути основні тенденції в цій сфері, такі як енергоефективність, інтеграція з іншими інфраструктурами та розвиток смарт-міст.

3. Характеристика структури предметної області та базової моделі: описати ключові компоненти та структуру системи розумного освітлення, включаючи датчики, контролери, освітлювальні прилади, а також взаємодію між цими елементами. Визначити базову модель роботи таких систем.

4. Опис існуючих механізмів реалізації, виявлення проблем та шляхів їх вирішення: розглянути вже реалізовані механізми для розумного освітлення, визначити їх основні проблеми, наприклад, обмеження в енергоефективності, проблеми з інтеграцією в міську інфраструктуру або складності в управлінні, а також запропонувати можливі шляхи їх вирішення.

5. Визначення основних функцій системи та розробка моделі функціонування: на основі вивченого матеріалу визначити основні функції, які повинна виконувати система розумного освітлення. Це включає автоматичне включення/вимкнення ліхтарів, регулювання яскравості, моніторинг стану освітлення та адаптацію до умов навколишнього середовища.

6. Формулювання вимог до системи: необхідно сформулювати функціональні та нефункціональні вимоги до системи. Це включатиме вимоги до точності роботи датчиків, швидкості реакції системи, рівня енергоспоживання та можливості інтеграції з іншими системами інфраструктури.

7. Оцінка необхідності розробки системи: потрібно оцінити, чи є необхідність у розробці нової системи розумного освітлення, враховуючи потенційні переваги для міських і комунальних служб, а також можливості покращення якості освітлення та енергоефективності.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.Формулювання об'єкта та мети для наступних досліджень:на основі проведених досліджень потрібно визначити основні напрямки для подальших досліджень і розробок. Це можуть бути додаткові функції, які необхідно вбудувати в систему, або шляхи оптимізації існуючих рішень.

9.Оцінка ступеня виконання поставлених завдань:після виконання всіх етапів роботи необхідно підсумувати виконання завдань і оцінити, наскільки успішно була розроблена і протестована система розумного освітлення.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі було розглянуто основні поняття, пов'язані з кіберфізичними системами та технологіями Інтернету речей, які становлять основу сучасних інтелектуальних систем керування, зокрема - у сфері вуличного освітлення. Проаналізовано архітектуру IoT-рішень, принципи функціонування розумних ліхтарів, а також переваги та недоліки різних підходів до реалізації таких систем.

Кіберфізичні системи забезпечують ефективну взаємодію між фізичними пристроями та обчислювальним середовищем, дозволяючи автоматизувати процеси освітлення, зменшити енергоспоживання та підвищити комфорт і безпеку. Технології IoT дають змогу інтегрувати ліхтарі в єдину мережу з можливістю моніторингу, керування та адаптації до зовнішніх умов у реальному часі.

Проведений порівняльний аналіз існуючих систем показав, що найбільш перспективними для впровадження є модульні рішення на базі мікроконтролерів ESP32 із підтримкою бездротового зв'язку, інтегрованими сенсорами та хмарними сервісами. Такі системи є відносно доступними, масштабованими та достатньо гнучкими для використання в різних умовах.

На основі зробленого аналізу в подальших розділах буде розроблено власний проєкт розумного ліхтаря з урахуванням сучасних технічних вимог та можливості віддаленого моніторингу і керування.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ

Арк.
20

2 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ЛІХТАРЯ

2.1 Пошук оптимальних рішень

Перед тим як почати розробку розумного ліхтаря, треба було визначити, які саме функції він повинен виконувати. У сучасному місті або селі вуличне освітлення – це не просто лампа на стовпі. Воно може виконувати ще багато корисних задач, наприклад, вимірювати якість повітря, температуру, рівень вологості, забруднення та передавати ці дані далі. Тому ідея – зробити не просто ліхтар, а розумний пристрій, який буде збирати екологічну інформацію та працювати енергоефективно.

Під час пошуку оптимального рішення, орієнтиром були такі критерії:

- пристрій має бути недорогим (оскільки це студентський проєкт);
- енергоощадним, щоб не витратити забагато електроенергії;
- простим у налаштуванні та програмуванні;
- здатним передавати дані по бездротовій мережі;
- легко масштабованим, щоб у майбутньому можна було встановити більше таких ліхтарів.

Вибір плати керування

На початку були роздуми використовувати Raspberry Pi, бо це потужний мікрокомп'ютер і з ним можна реалізувати багато функцій. Але потім стало зрозуміло, що для простої задачі керування сенсорами та передавання даних це буде зайвим. Крім того, Raspberry Pi споживає більше енергії, коштує дорожче та потребує складнішого живлення.

Після аналізу і пошуку в інтернеті було прийнято рішення зупинитися на ESP32. Це невелика, дешева плата з вбудованим Wi-Fi і Bluetooth. Вона має двоядерний процесор, досить багато пам'яті і чудово підходить для IoT-проєктів.

					КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір сенсорів

Далі було обрано, які саме сенсори будуть підключені до ESP32. Основна ідея – зробити ліхтар, який автоматично вмикається при темряві і при цьому збирає дані про стан повітря навколо. Система буде зроблена на таких датчиках:

–MQ–135 – датчик для виявлення шкідливих газів (наприклад, CO₂, аміаку, бензолу). Він добре підходить для оцінки загального рівня забруднення повітря.

–BME688 – дуже універсальний сенсор, який вимірює температуру, вологість, тиск і VOC (леткі органічні сполуки). Дуже корисний, бо замінює відразу кілька окремих датчиків.

–Датчик пилу (наприклад, GP2Y1010AU0F) – потрібен, щоб бачити, наскільки багато пилу знаходиться у повітрі. Це важливо у великих містах або біля доріг.

–Фоторезистор – простий сенсор освітленості. Він дозволяє автоматично вмикати освітлення при настанні темряви.

Всі ці сенсори можна легко підключити до ESP32, деякі через аналоговий вхід, інші через I2C. Вони досить точні для побутового використання і при цьому не коштують дорого.

У підсумку маємо отримати розумний ліхтар, який:

- сам вмикає або вимикає світло в залежності від освітленості;
- збирає дані про температуру, вологість, тиск, пил, газу;
- передає ці дані через Wi-Fi (наприклад, на сервер або в хмару);
- працює стабільно і не споживає багато електроенергії.

Можна навіть у майбутньому додати до такого ліхтаря сонячну панель, і тоді він зможе працювати повністю автономно. А якщо знадобиться – до ESP32 можна підключити камеру, мікрофон або навіть модулі для мобільного зв'язку (наприклад, SIM800L).

Після аналізу доступних варіантів було визначено, що найкраще рішення для мого проєкту – це поєднання плати ESP32 з недорогими сенсорами якості повітря. Це дозволяє зробити простий, але корисний пристрій, який можна

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реально використовувати в повсякденному житті. До того ж він не вимагає великих затрат і легко масштабується. Такий підхід — оптимальний як для кваліфікаційної, так і для реального проєкту у сфері Smart City.

2.2. Постановка задачі та вимог

У сучасному світі технології стрімко розвиваються, і сфера інтелектуальних систем поступово проникає в усі аспекти нашого повсякденного життя. Особливо це помітно у сфері розумних міст – концепції, яка передбачає впровадження інноваційних рішень для покращення якості життя мешканців та підвищення ефективності міської інфраструктури. Однією з важливих складових інтелектуальних систем є розумне вуличне освітлення, яке не лише виконує основну функцію освітлення, але й забезпечує додаткові можливості для моніторингу навколишнього середовища та енергозбереження. Саме тому розробка розумного ліхтаря є актуальним завданням, що має велике практичне значення.

Значення та актуальність задачі

Вуличне освітлення – це одна з наймасштабніших систем у міській інфраструктурі, яка забезпечує безпеку громадян у темний час доби та створює комфортні умови для пересування. Проте традиційні системи освітлення зазвичай працюють за фіксованим графіком і не враховують змін у навколишньому середовищі. Це призводить до надмірного споживання електроенергії та, як наслідок, до збільшення витрат міського бюджету. В умовах глобального потепління та зростаючого навантаження на енергетичні ресурси, питання оптимізації енергоспоживання стає все більш гострим.

Крім того, забруднення повітря у великих містах є серйозною проблемою, що негативно впливає на здоров'я людей. Відсутність систем моніторингу якості повітря на вулицях обмежує можливості оперативного реагування на підвищення рівня шкідливих речовин. Тому інтеграція датчиків якості повітря у систему

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вуличного освітлення дозволить не лише забезпечити ефективне освітлення, а й збирати важливу екологічну інформацію в режимі реального часу.

Основна мета розробки

Головною метою даної роботи є створення прототипу розумного ліхтаря, який базується на сучасних мікроконтролерах ESP32, і має функції автоматичного регулювання освітлення в залежності від навколишніх умов, а також моніторингу параметрів якості повітря. Такий пристрій повинен забезпечувати ефективне використання енергоресурсів, підвищувати екологічну безпеку міського середовища та сприяти формуванню комфортного простору для мешканців.

Для досягнення поставленої мети у роботі слід розв'язати такі основні задачі:

1. Розробити систему автоматичного регулювання яскравості світла. Вуличний ліхтар повинен змінювати інтенсивність освітлення залежно від рівня природного світла. Для цього необхідно інтегрувати відповідний модуль датчика освітленості, який буде точно визначати зовнішнє освітлення, а мікроконтролер – відповідно коригувати потужність світлового джерела. Це дозволить мінімізувати надлишкове енергоспоживання, підвищуючи загальну енергоефективність системи.

2. Впровадити моніторинг якості повітря.

Використання спеціалізованих сенсорів, таких як MQ-135 або BME688, дозволить визначати концентрації різних шкідливих газів (CO₂, аміаку, летких органічних сполук) і часток пилу в повітрі. Це дасть змогу збирати важливі екологічні дані, які можна аналізувати для контролю стану навколишнього середовища.

3. Забезпечити бездротову передачу даних.

Мікроконтролер ESP32 оснащений вбудованим Wi-Fi-модулем, що дозволяє організувати передачу зібраної інформації на віддалений сервер або хмарний сервіс. Це відкриває можливості для централізованого контролю системи та інтеграції з іншими компонентами «розумного міста».

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Оптимізувати енергоспоживання і підтримати автономність. Важливо розробити алгоритми, які забезпечать мінімальне споживання електроенергії, зокрема, за рахунок переходу мікроконтролера в енергозберігаючі режими, а також розглянути можливість використання альтернативних джерел живлення, наприклад, сонячних батарей.

5. Забезпечити масштабованість і модульність системи Система має бути легко модифікованою та розширюваною, щоб у майбутньому можна було додавати нові функції або датчики без необхідності суттєвих змін у конструкції чи програмному забезпеченні.

Визначення основних вимог до системи

Виходячи з вищеописаних задач, до розумного ліхтаря висуваються такі ключові вимоги:

–Забезпечення динамічного регулювання освітленості в залежності від рівня природного світла;

–Моніторинг основних параметрів якості повітря з високою точністю;

–Стабільна і надійна передача даних через Wi-Fi з можливістю інтеграції з хмарними сервісами;

–Мінімальне енергоспоживання з можливістю роботи від альтернативних джерел енергії;

–Простота модернізації і розширення системи.

Реалізація розумного ліхтаря відповідає актуальним світовим тенденціям у розвитку «розумних» міст і сприяє підвищенню якості міської інфраструктури. Впровадження такої системи дозволить знизити витрати на енергію, підвищити екологічну безпеку та забезпечити оперативний моніторинг стану навколишнього середовища. В майбутньому це сприятиме створенню більш комфортних, безпечних і екологічно чистих міських просторів.

					КвРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Огляд апаратної частини розумного ліхтаря

У цьому розділі буде детально розглянуто апаратну складову розумного ліхтаря, зокрема мікроконтролер ESP32 та датчики, які забезпечують автоматичне регулювання освітлення й моніторинг якості повітря. Апаратна частина є фундаментальною складовою проєкту, адже саме від неї залежить ефективність, надійність і точність роботи всієї системи. Правильний вибір компонентів визначає подальші можливості розумного ліхтаря, його функціональні характеристики, а також зручність інтеграції у вже існуючі системи розумного міста.

Вибір мікроконтролера ESP32

Для реалізації розумного ліхтаря обрано мікроконтролер ESP32, який сьогодні є одним із найбільш популярних рішень у сфері IoT (Інтернет речей). Основна причина вибору ESP32 — це поєднання високої обчислювальної потужності, великої кількості периферійних інтерфейсів, а також вбудованих засобів бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth.

Мікроконтролер ESP32 базується на двоядерному 32-бітному процесорі Tensilica LX6 з тактовою частотою до 240 МГц, що дозволяє виконувати складні обчислювальні задачі без втрати продуктивності. Цей чіп має досить велику кількість входів/виходів (GPIO), що дозволяє одночасно підключати численні датчики і виконавчі пристрої.

Важливою перевагою ESP32 є наявність різних протоколів зв'язку: I2C, SPI, UART, ADC, DAC, PWM, що робить цей мікроконтролер дуже гнучким і підходящим для взаємодії з багатьма типами сенсорів і модулів. Можливість бездротового підключення через Wi-Fi дозволяє легко передавати зібрані дані у хмару або локальну мережу, що є ключовою вимогою сучасних розумних систем.

З іншого боку, ESP32 вимагає уважного підходу до живлення і налаштування програмного забезпечення, оскільки працює від 3.3 В, і його потужність може бути надмірною для дуже простих задач. Проте для задач

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розумного ліхтаря, де важлива інтеграція багатьох сенсорів і бездротова передача даних, ESP32 є ідеальним варіантом.



Рисунок 2.1 – Мікроконтролер ESP32[7]

Сенсори для розумного ліхтаря

У системі розумного ліхтаря необхідно вирішити кілька ключових задач: автоматичне регулювання рівня освітлення залежно від зовнішніх умов, а також контроль якості навколишнього середовища для забезпечення екологічної безпеки і комфорту. Для цього було обрано кілька типів датчиків.

Датчик освітленості BH1750

Для автоматичного керування яскравістю ліхтаря важливо точно вимірювати рівень природного освітлення. Ця задача покладена на цифровий датчик BH1750, який спеціалізується на вимірюванні освітленості в люксах. Його переваги — висока точність, простота використання та інтерфейс I2C, що мінімізує кількість з'єднань і знижує рівень електричних перешкод.

BH1750 чудово підходить для задач, де необхідна швидка реакція на зміни рівня світла, наприклад, при заході сонця або у похмурі дні. Однак варто враховувати, що він може бути чутливим до прямих сонячних променів, що іноді викликає похибки у вимірах.

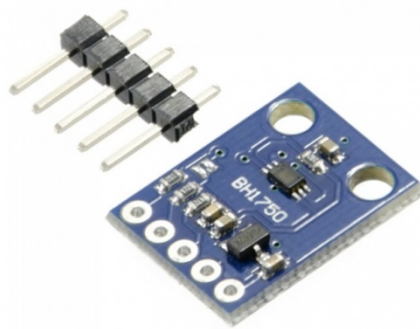


Рисунок 2.2 – Датчик освітленості BH1750[8]

Газовий датчик MQ-135

Якість повітря – це критично важливий параметр, особливо у великих містах, де забруднення атмосферного повітря може негативно впливати на здоров'я мешканців. Датчик MQ-135 призначений для оцінки рівня шкідливих газів, таких як аміак, бензол, чадний газ та інші леткі органічні сполуки.

Цей сенсор є одним із найпопулярніших у своєму класі завдяки відносній дешевизні і універсальності. Проте він потребує періодичного калібрування і часу на прогрів (приблизно 20–30 хвилин після вмикання), що варто враховувати у розробці системи. Крім того, MQ-135 має аналоговий вихід, тому потрібен відповідний ADC-модуль мікроконтролера.

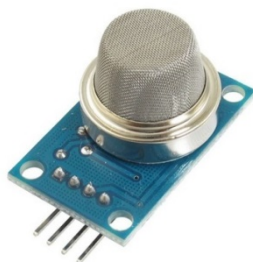


Рисунок 2.3 – Газовий датчик MQ-135 [30]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Мультисенсор BME688

Модуль BME688 є сучасним комплексним рішенням, що поєднує в одному корпусі датчики температури, вологості, атмосферного тиску, а також сенсор летких органічних сполук (VOC). Це робить його унікальним для задач, де потрібен багатфакторний моніторинг середовища.

Використання BME688 дозволяє не лише регулювати освітлення з урахуванням погодних умов, але й отримувати більш повну картину якості навколишнього повітря. Недоліком є більш висока ціна і складність налаштування, зокрема необхідність роботи з пропрієтарними алгоритмами обробки даних.



Рисунок 2.4 – Мультисенсор BME688[29]

Датчик пилу SDS011

Забруднення пилом – один із найнебезпечніших факторів для здоров'я людей, особливо це стосується дрібнодисперсних часток PM2.5 і PM10. Для вимірювання концентрації пилу використовується оптичний лазерний датчик SDS011. Він забезпечує досить точні та швидкі виміри за допомогою лазерного зворотнього розсіювання.

SDS011 передає дані по інтерфейсу UART, що потребує налаштування відповідних портів мікроконтролера. Варто зазначити, що цей датчик більш чутливий до вологи і вимагає захисту від атмосферних опадів.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 – Датчик пилу SDS011[39]

Переваги та недоліки вибраних компонентів

Вибір апаратного комплексу для реалізації проекту розумного ліхтаря є одним із ключових етапів, що визначає не лише функціональність, але й надійність, масштабованість та енергоефективність усієї системи. У даній роботі було обґрунтовано застосування мікроконтролера ESP32 у поєднанні з низкою датчиків, зокрема сенсорами освітленості, температури, вологості, газу та твердих частинок у повітрі. Така апаратна архітектура виявилася вдалою з огляду на наявність численних технічних переваг, які відповідають сучасним вимогам до систем інтелектуального управління зовнішнім середовищем.

Серед основних переваг варто насамперед відзначити високу функціональність запропонованого рішення. Система здатна виконувати одразу кілька завдань — контролювати рівень освітлення на вулиці та водночас проводити моніторинг показників якості повітря, зокрема вмісту шкідливих речовин та зважених частинок. Це дозволяє забезпечити інтегрований підхід до управління міським середовищем, що відповідає концепції «розумного міста». Така багатфункціональність реалізується без істотного ускладнення архітектури завдяки використанню ESP32, який підтримує обробку даних з кількох сенсорів одночасно, має вбудовані засоби зв'язку та розширені можливості програмної інтеграції.

Гнучкість підключення – ще одна важлива перевага, притаманна даному рішенню. Завдяки широкому набору інтерфейсів мікроконтролера ESP32, таких як GPIO, I2C, SPI, UART тощо, користувач отримує можливість підключення великої кількості цифрових і аналогових сенсорів. Це дає змогу легко адаптувати систему під конкретні завдання, додавати нові компоненти або замінювати існуючі без значного перегляду усієї апаратної частини або зміни прошивки.

Особливу увагу слід приділити енергоефективності, що має критичне значення в автономних системах, які можуть працювати від акумуляторів або сонячних панелей. ESP32 підтримує кілька режимів зниженого енергоспоживання, включаючи light sleep і deep sleep, що дозволяє значно продовжити час автономної роботи пристрою. Це особливо актуально для ліхтарів, які працюють на відкритому повітрі та можуть мати обмежений доступ до централізованих джерел живлення.

Бездротова передача даних на базі Wi-Fi – ще одна важлива перевага використання ESP32. Завдяки вбудованому модулю бездротового зв'язку, система може передавати зібрані дані на віддалений сервер, мобільний додаток або хмарне сховище в реальному часі, забезпечуючи віддалений моніторинг і керування. Це суттєво підвищує рівень інтерактивності та зручності експлуатації пристрою.

Однак, попри значну кількість переваг, використання запропонованих компонентів має і певні недоліки, які слід враховувати на етапі розробки та впровадження системи. Одним із таких є необхідність регулярного обслуговування та калібрування окремих датчиків, зокрема MQ-135 і SDS011. З плином часу ці сенсори можуть втрачати точність або забруднюватися, що потребує періодичного технічного втручання, у тому числі очищення або заміни.

Крім того, програмування системи з декількома датчиками, обробкою даних і керуванням освітленням може виявитися досить складним завданням для початківців. Налаштування програмного забезпечення потребує знання середовища Arduino IDE, бібліотек, протоколів обміну даними, а також навичок у

логіці побудови взаємодії між окремими компонентами. Це може впливати на терміни розробки та вимагати додаткових знань з боку розробника.

До суттєвих недоліків належить також вразливість деяких сенсорів до зовнішніх факторів. Наприклад, газовий датчик MQ-135 може демонструвати нестабільну роботу при надмірній вологості або різких перепадах температури. Аналогічно, сенсори освітленості чи пилу можуть давати неточні показники при прямому сонячному світлі або високому рівні запиленості навколишнього середовища.

Також один з головних недоліків, який варто відзначити, є відносно висока вартість окремих компонентів, таких як мультисенсор BME688, що поєднує в собі функції вимірювання температури, вологості, тиску та летких органічних сполук. Такі багатфункціональні модулі значно підвищують функціональність, проте можуть впливати на загальну собівартість проєкту.

Апаратна частина розумного ліхтаря, побудована на базі ESP32 у поєднанні з системою цифрових і аналогових сенсорів, забезпечує високу точність збору даних, надійність у роботі та можливість адаптивного управління освітленням. Така система дозволяє ефективно реагувати на зміну умов довкілля і забезпечує сталі показники енергоефективності, що є важливою умовою для екологічно орієнтованих рішень. Завдяки грамотному підбору компонентів і їх правильній інтеграції, отримана система здатна функціонувати в широкому діапазоні умов і задовольняти сучасні потреби у сфері моніторингу навколишнього середовища та автоматизованого управління інфраструктурою.

2.4. Програмне забезпечення для керування розумним ліхтарем

Сучасні розумні системи освітлення неможливо уявити без високоякісного програмного забезпечення (ПЗ), яке не лише забезпечує збір та обробку інформації з датчиків, а й дає змогу інтелектуально керувати режимами роботи пристрою з урахуванням змін навколишнього середовища. У випадку розумного ліхтаря програмне забезпечення виступає центральним «мозком» системи, що

відповідає за виконання складних логічних операцій, інтеграцію з мережею, та підтримку дистанційного управління.

Вибір середовища розробки

Для реалізації програмної частини розумного ліхтаря обрано мікроконтролер ESP32. Відповідно, найбільш прийнятним середовищем для розробки вважається Arduino IDE, яке є відкритим та широко поширеним інструментом серед розробників–початківців і досвідчених інженерів. Вибір Arduino IDE обумовлений зручністю написання коду, підтримкою численних бібліотек, що полегшують роботу з датчиками (наприклад, BH1750, MQ–135, BME688), а також можливістю швидкого налагодження та тестування.

Крім Arduino IDE, для ESP32 існують більш просунуті середовища, як–от Espressif IDF або MicroPython, які пропонують глибший контроль над апаратурою, але вимагають значно більше знань та часу на освоєння.

Основні компоненти програмної архітектури

Програмне забезпечення розумного ліхтаря побудоване на модульній архітектурі, що забезпечує гнучкість, простоту внесення змін та масштабованість.

Основні модулі включають:

–Модуль збору даних: реалізує опитування датчиків освітленості (BH1750), якості повітря (MQ–135), температури та вологості (BME688). Взаємодія з датчиками здійснюється через інтерфейси I2C та ADC. Зібрані показники зберігаються у внутрішніх змінних для подальшої обробки.

–Модуль обробки даних: реалізує алгоритми фільтрації вхідних сигналів (наприклад, усереднення або згладжування), а також логіку прийняття рішень. Наприклад, визначає, чи потрібно включати ліхтар в залежності від рівня освітленості та інших факторів.

–Керування освітленням: через PWM (широко–імпульсна модуляція) здійснюється плавне регулювання яскравості LED–ламп, що дозволяє економити електроенергію та забезпечує комфортне освітлення.

–Комунікаційний модуль: забезпечує підключення до Wi-Fi мережі, передачу даних на сервер, отримання команд від користувача або централізованої системи управління.

–Енергозбереження: модуль, що відповідає за перехід у режими сну (sleep modes) мікроконтролера для зменшення енергоспоживання в моменти простою.

Алгоритми роботи

Логіка роботи розумного ліхтаря базується на циклічному опитуванні датчиків та аналізі зібраних даних. Основні етапи алгоритму:

1. Опитування датчиків: через певні інтервали часу (наприклад, кожні 5 секунд) програма зчитує рівень освітленості, якість повітря, температуру та вологість.

2. Обробка сигналів: виконується усереднення останніх кількох значень для зменшення впливу шумів та раптових сплесків.

3. Прийняття рішення: якщо рівень освітленості нижчий за заданий поріг (наприклад, 30 люкс), ліхтар вмикається з регульованою яскравістю. Якщо освітлення достатнє — ліхтар вимикається або переходить у режим енергозбереження.

4. Оцінка якості повітря: якщо датчики MQ-135 або VME688 фіксують підвищений рівень шкідливих газів чи пилу, система може відправити сповіщення користувачу або змінити режим роботи, наприклад, збільшити інтенсивність освітлення для покращення видимості у задимленому просторі.

5. Передача даних: зібрані та оброблені дані відправляються на сервер або в хмару для зберігання і подальшого аналізу, що дає змогу інтегрувати ліхтар у більшу систему «розумного міста».

6. Реакція на команди: система отримує та обробляє команди від користувача через мобільний додаток або веб-інтерфейс — зміну яскравості, включення/вимкнення, налаштування порогів.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтерфейси користувача та віддалений доступ

Для забезпечення зручного моніторингу та управління, буде розроблено веб-інтерфейс, доступний через браузер або мобільний додаток. Користувач може переглядати поточний стан ліхтаря, в тому числі:

- рівень освітленості,
- показники якості повітря,
- температуру та вологість,
- стан підключення.

Проблеми розробки та перспективи вдосконалення

При розробці програмного забезпечення виникають певні складнощі. Зокрема, стабільність роботи Wi-Fi у міських умовах може бути під загрозою через радіоперешкоди, що вимагає додаткових заходів для надійної передачі даних. Енергозбереження – ще одна важлива задача, оскільки ліхтар повинен працювати автономно якомога довше.

Перспективи розвитку ПЗ полягають у використанні штучного інтелекту для прогнозування потреб у освітленні, покращенні алгоритмів адаптації до навколишніх умов, а також інтеграції з іншими інтелектуальними системами міста, такими як камери спостереження, системи контролю трафіку, тощо.

Програмне забезпечення для розумного ліхтаря є складним багатокомпонентним продуктом, який поєднує в собі збір і аналіз даних, управління апаратною частиною та комунікацію з користувачами. Використання Arduino IDE і мікроконтролера ESP32 дозволяє реалізувати гнучкі, надійні та економічні рішення. Подальший розвиток ПЗ сприятиме більш ефективному використанню енергії та покращенню якості життя у міському середовищі.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Особливості платформи ESP32, які варто враховувати при подальшому проектуванні. Поняття аналогових і цифрових входів

Платформа ESP32 є однією з найпопулярніших серед розробників розумних пристроїв завдяки своїй багатофункціональності, низькому енергоспоживанню та вбудованій підтримці бездротових технологій, таких як Wi-Fi та Bluetooth. У проектуванні розумного ліхтаря використання саме ESP32 є цілком виправданим через його здатність взаємодіяти з великою кількістю сенсорів і периферійних пристроїв.

Однією з ключових особливостей ESP32 є наявність двоядерного процесора Tensilica Xtensa LX6 із тактовою частотою до 240 МГц, що дозволяє одночасно обробляти як фонові, так і критичні задачі в реальному часі. Це важливо при побудові системи розумного ліхтаря, яка повинна швидко реагувати на зміну умов навколишнього середовища, обробляти сигнали з датчиків та керувати освітленням.

Ще однією важливою перевагою є кількість і типи доступних входів/виходів. ESP32 має до 34 загальних портів вводу/виводу (GPIO), які можуть конфігуруватися як цифрові або аналогові. Це надає гнучкість при підключенні різноманітних сенсорів, таких як BME688 (температура, вологість, газ), MQ-135 (якість повітря), або датчик пилу GP2Y1010AU0F.

У проектуванні системи важливо враховувати різницю між аналоговими та цифровими входами. Цифрові входи розпізнають лише два стани: високий (HIGH) та низький (LOW), тобто логічну 1 або 0. Цей тип входів ідеально підходить для датчиків руху, кнопок або простих логічних сигналів. Аналогові входи, навпаки, дозволяють зчитувати значення напруги в певному діапазоні — зазвичай від 0 до 3.3 В для ESP32. Це дозволяє більш точно зчитувати показники з сенсорів, які генерують аналоговий сигнал (наприклад, деякі газові або освітлювальні сенсори).

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

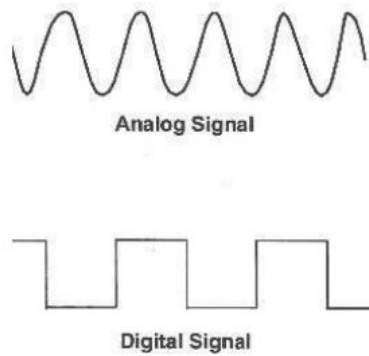


Рисунок 2.6 – Схематичний графік аналогового й цифрового сигналів

ESP32 має до 18 аналогових входів (ADC), які дозволяють розробнику гнучко обробляти аналогові сигнали з великої кількості сенсорів. Проте варто враховувати, що точність вбудованого АЦП (аналогово-цифрового перетворювача) не є ідеальною – зазвичай вона становить 12 біт, але може бути знижена через електричні шуми або особливості харчування. Для задач, де критична точність вимірювання, іноді рекомендується використовувати зовнішні АЦП.

Ще одна особливість ESP32 – це можливість роботи з PWM-сигналами (широтно-імпульсна модуляція). Це важливо при керуванні яскравістю світлодіодів у розумному ліхтарі, адже дає змогу плавно змінювати рівень освітлення залежно від вхідних даних із сенсорів.

Також варто згадати про низьке енергоспоживання мікроконтролера ESP32. У режимі deep sleep він може працювати на міліватах, що критично для автономних пристроїв. Для розумного ліхтаря це означає можливість працювати тривалий час на акумуляторі або за допомогою альтернативних джерел енергії (наприклад, сонячної панелі).

Загалом, ESP32 – це потужна, надійна та функціонально насичена платформа, яка забезпечує всі необхідні умови для реалізації сучасного інтелектуального освітлення. Його можливості вводу/виводу, підтримка аналогових і цифрових сигналів, бездротове з'єднання та енергоефективність роблять його ідеальним вибором для проектування системи розумного ліхтаря.

2.6 Висновки до другого розділу

У цьому розділі було розглянуто апаратну частину розумного ліхтаря, основою якого став мікроконтролер ESP32. Після аналізу можна сказати, що ця плата цілком підходить для реалізації такого проєкту: вона має багато функцій, підтримує як цифрові, так і аналогові входи/виходи, а ще дозволяє підключатися до Wi-Fi та Bluetooth, що дуже зручно для передачі даних чи керування віддалено.

Одна з головних переваг ESP32 – можливість працювати в режимах енергозбереження, що важливо для таких пристроїв, як вуличне освітлення, яке повинно бути автономним і економним. Також підтримка широтно-імпульсної модуляції (PWM) дозволяє керувати яскравістю світла – це додає зручності та дає змогу зменшити витрати енергії.

До контролера було підібрано і відповідні сенсори: MQ-135 для визначення шкідливих газів у повітрі, BME688 – для фіксації температури, вологості та тиску, SDS011 – для оцінки запиленості, а також фотомодуль, який реагує на рівень освітлення. Завдяки цим датчикам система зможе "розуміти", що відбувається навколо, і відповідно регулювати свою роботу.

У підсумку можна сказати, що обране обладнання добре підходить для створення смарт-ліхтаря. Воно не тільки дозволяє ефективно керувати освітленням, але й допомагає реагувати на зміну умов навколишнього середовища. Такий підхід робить пристрій дійсно "розумним" і відкриває можливості для подальшого розвитку і вдосконалення системи.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНО–АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО ЛІХТАРЯ

3.1 Проектування системи за допомогою програмного забезпечення Wokwi

У рамках створення сучасної автоматизованої системи розумного вуличного ліхтаря, основою апаратної частини було обрано мікроконтролер ESP32, який характеризується високою продуктивністю, розширеним функціоналом, а також інтегрованими модулями бездротового зв'язку – Wi-Fi та Bluetooth. Це дає змогу забезпечити як ефективну обробку даних з підключених сенсорів у режимі реального часу, так і гнучке управління освітленням залежно від зовнішніх умов. Система має можливість автономної роботи, обробки великої кількості вхідних сигналів та виконання низки логічних операцій без втручання користувача, що робить її надзвичайно ефективною у сфері міської інфраструктури.

Вибір ESP32 як основи для створення системи розумного ліхтаря є технічно обґрунтованим як з точки зору функціональних можливостей, так і з позиції економічної доцільності. Такий підхід дозволяє створити індивідуалізовану, гнучку систему освітлення, яка може бути адаптована до різноманітних умов експлуатації та потреб конкретного користувача чи об'єкта. При цьому собівартість розробки значно нижча порівняно з придбанням готових промислових рішень, а масштабованість і відкритість платформи відкривають широкі можливості для подальшої модифікації та вдосконалення. Цей аспект є особливо актуальним як для приватного сектору, так і для державних або муніципальних структур, які зацікавлені у впровадженні розумних технологій у громадському просторі.

Функціональна логіка проекту передбачає, що мікроконтролер ESP32 виконує періодичне зчитування значень з ряду підключених сенсорів, серед яких – фоторезистор для вимірювання рівня освітленості, сенсор якості повітря MQ-2 для виявлення наявності шкідливих газів, а також датчик температури й вологості DHT22. У випадку, якщо освітленість середовища падає нижче встановленого

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порогового значення, система автоматично активує світлодіодне освітлення шляхом подачі сигналу на відповідний цифровий вихід. Якщо ж реєструється перевищення допустимих показників концентрації забруднюючих речовин у повітрі, вмикається звукове попередження за допомогою підключеного бузера, що виконує роль індикатора ризику для користувача або обслуговуючого персоналу.

Крім цього, передбачено виведення оперативної інформації про стан навколишнього середовища на 16×2 LCD-дисплей з інтерфейсом I2C. На ньому у режимі реального часу відображаються значення температури та вологості, що дозволяє користувачу оперативно відстежувати мікрокліматичні умови на ділянці встановлення пристрою. Завдяки цьому досягається інтегроване рішення, що не лише автоматизує процес освітлення, але й виконує роль мініатюрної екологічної станції.

Логіка функціонування всієї системи, а також принципи взаємодії між апаратними компонентами та мікроконтролером, схематично зображені на рисунку 3.1. Структурна схема ілюструє порядок підключення сенсорів до ESP32, а також відображає сигнальні лінії та процесорну обробку даних, необхідну для коректного функціонування всієї автоматизованої системи.

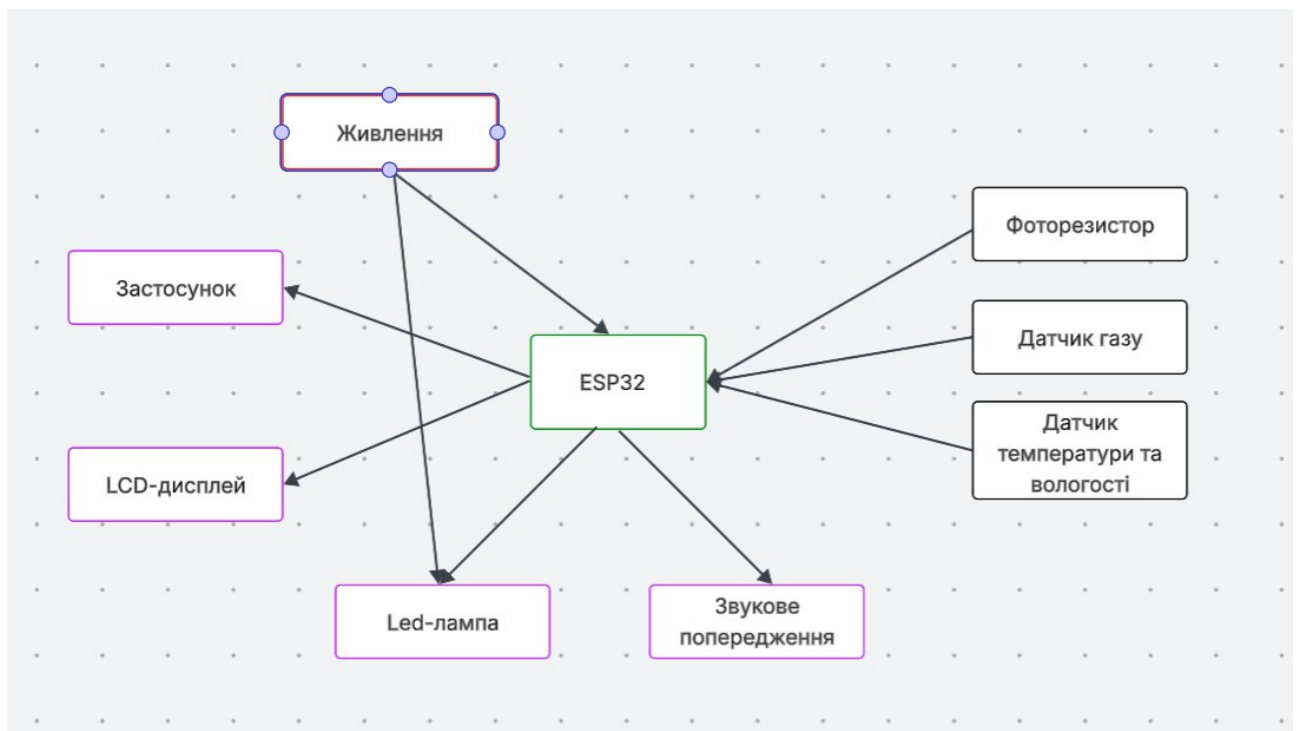


Рисунок 3.1 – Взаємозв'язки між компонентами

Для моделювання та тестування проєкту розумного ліхтаря було обрано віртуальне середовище Wokwi – це сучасна інтерактивна платформа для створення, налаштування та симуляції електронних схем на основі популярних мікроконтролерів, таких як ESP32, Arduino, Raspberry Pi тощо. Wokwi дозволяє розробникам розгортати повноцінні віртуальні прототипи пристроїв, зокрема систем автоматичного керування освітленням, без необхідності використання фізичного обладнання. Це значно спрощує та пришвидшує процес проєктування, особливо на початкових етапах, коли важливо перевірити працездатність логіки програми та взаємодії компонентів.

У середовищі Wokwi користувач має змогу візуально змоделювати електронну схему, використовуючи інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із можливістю перетягування компонентів, підключення дротів, а також завдання необхідних параметрів. Платформа підтримує широке різноманіття віртуальних елементів: світлодіоди, резистори, сенсори температури, вологості, газу, дисплеї, кнопки та багато іншого. Крім того, присутня можливість роботи з бібліотекою готових прикладів та обміну проєктами між користувачами, що сприяє командній розробці складних рішень, зокрема в освітніх, дослідницьких або стартап-проєктах.

Для початку роботи з Wokwi необхідно зареєструватися на офіційному сайті платформи, після чого користувач отримує доступ до персоналізованої робочої області. Тут можливо обрати ESP32 як основний контролер, додати потрібні компоненти зі списку, виконати їх підключення згідно з проєктною документацією, а також перейти до написання програмного коду у вбудованому редакторі з підсвіткою синтаксису та можливістю миттєвої компіляції.

Особливу цінність Wokwi становить можливість симуляції в реальному часі — користувач може запускати програму, бачити результат роботи пристрою, перевіряти зміну показників сенсорів, реакцію на зовнішні сигнали тощо. Таким чином, навіть без фізичного доступу до електронних модулів можна повністю реалізувати, протестувати й налагодити функціональну модель розумного ліхтаря

з елементами дистанційного керування та екологічного моніторингу. Це надає великі переваги як для розробників-початківців, так і для професіоналів, які прагнуть мінімізувати витрати часу та ресурсів на створення прототипів.

У бібліотеці елементів нам треба обрати мікроконтролер



Рисунок 3.2 – Мікроконтролер ESP32

На наступному етапі реалізації проєкту розумного ліхтаря на базі ESP32 необхідно підключити LCD-дисплей, який відобразить інформацію про стан навколишнього середовища – наприклад, рівень вологості повітря, температуру або якість повітря. Для цього використовується дисплей з інтерфейсом I2C, який має чотири контакти: VCC, GND, SDA та SCL. Контакт VCC підключається до позитивного виходу живлення плати ESP32 (3.3V), GND – до негативного виходу (GND), SDA (лінія передачі даних) – до піну GPIO21, а SCL (лінія тактованого сигналу) – до піну GPIO22. Таке підключення відповідає стандартній схемі I2C для ESP32. На Рисунку 3.3 наведено приклад схеми підключення дисплея до ESP32 у складі системи розумного ліхтаря.

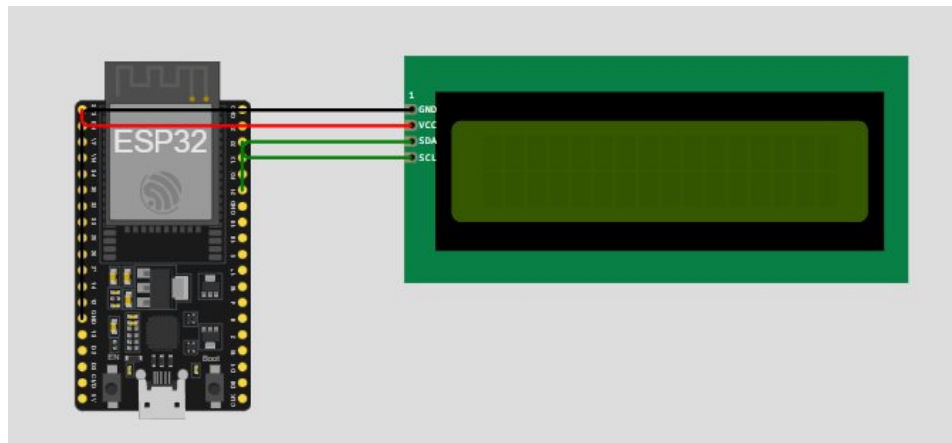


Рисунок 3.3 – Підключення дисплею до ESP32

У рамках реалізації проєкту розумного ліхтаря на базі ESP32 важливим етапом є підключення датчиків, які забезпечують моніторинг навколишнього середовища. Одним з основних сенсорів є DHT22, що дозволяє вимірювати температуру повітря та рівень вологості. Для підключення цього сенсора до плати ESP32 необхідно з'єднати VCC з виходом живлення 3.3V, GND – під'єднати до землі, а сигнальний пін DATA підключити до одного з цифрових входів (GPIO15). Дані з DHT22 надалі можуть передаватись на LCD-дисплей або виводитись через мобільний застосунок (наприклад, через Blynk), що дозволяє користувачу контролювати погодні умови.

Крім того, у проєкті використовується газовий сенсор MQ-2, який виявляє дим, метан, пропан та інші легкозаймісті гази. MQ-2 має чотири виводи: VCC, GND, DO (цифровий вихід) та AO (аналоговий вихід). Живлення підключається аналогічно – VCC до 5V, GND до землі. Для зчитування сигналу можна використовувати цифровий пін, наприклад GPIO35.

Для вимірювання освітленості навколишнього середовища використовується фоторезистор, який у складі резистивного подільника підключається до аналогового входу ESP32, наприклад, GPIO34. Значення, отримане з фоторезистора, дає змогу системі визначити день чи ніч і автоматично вмикати або вимикати LED-лампу, що є джерелом світла в системі розумного ліхтаря.

Для виведення звукових сигналів тривоги у разі виявлення загрози (наприклад, дим) в систему інтегровано буюер (buzzer). Він підключається до одного з цифрових пінів ESP32(GPIO26) і активується за умов, заданих у програмному коді.

На Рисунку 3.4 схематично зображено підключення сенсорів DHT22, MQ-2, фоторезистора, LCD-дисплея та буюера до плати ESP32. Усі ці елементи працюють узгоджено, утворюючи інтелектуальну систему розумного ліхтаря з функцією попередження та адаптації до зовнішніх умов.

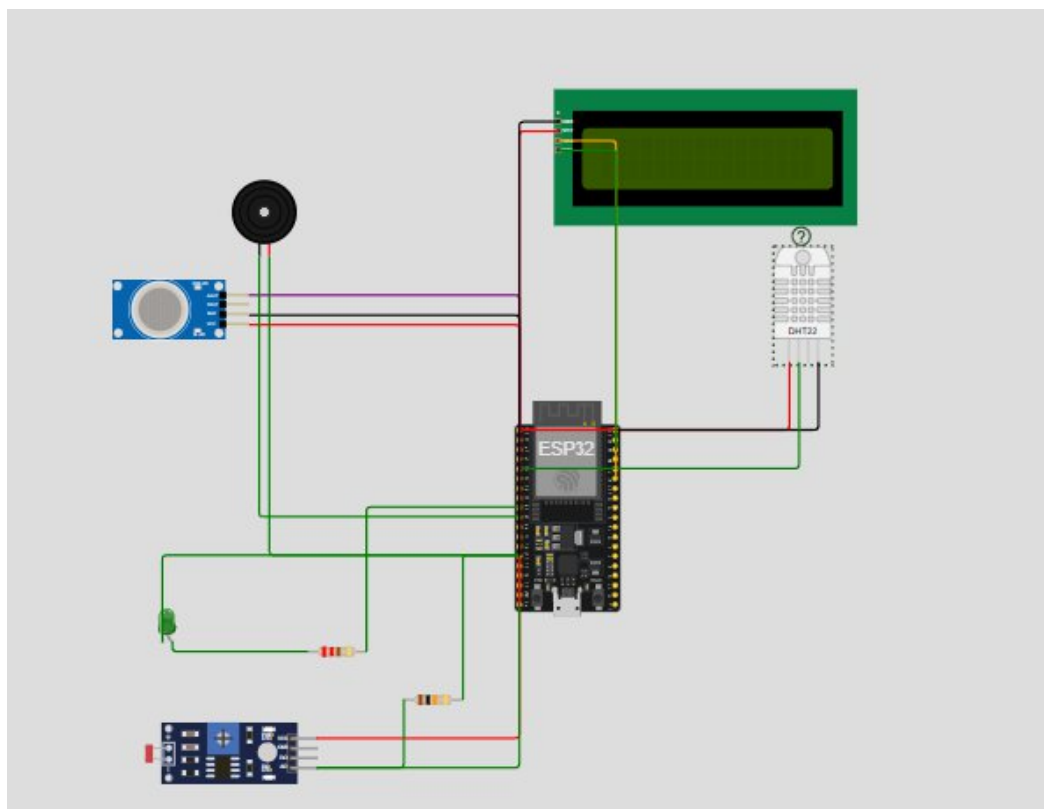


Рисунок 3.4 – Підключення сенсорів

Для повного розуміння принципу роботи розумного ліхтаря, розглянемо послідовність дій алгоритму, реалізованого на мікроконтролері ESP32. Алгоритм зображений на Рисунку 3.5 і охоплює логіку зчитування даних з усіх підключених сенсорів, обробку цих даних і виконання відповідних дій, спрямованих на автоматичне керування освітленням, сигналізацією та моніторингом довкілля.

Після увімкнення системи розпочинається ініціалізація всіх компонентів: датчиків, дисплея, світлодіода та буюера. Після цього програма переходить у

головний цикл, у якому періодично зчитуються показники з датчика температури та вологості повітря DHT22, газового сенсора MQ-2, а також фоторезистора, що вимірює рівень навколишнього освітлення.

Першою відбувається перевірка освітленості за допомогою фоторезистора. Якщо рівень зовнішнього світла нижчий від встановленого порогу, система вмикає LED-лампу, виконуючи тим самим основну функцію ліхтаря – забезпечення автоматичного освітлення у темну пору доби. Якщо ж освітлення достатнє – лампа вимикається, і ліхтар переходить у режим очікування, продовжуючи моніторинг ситуації.

Наступним етапом є перевірка температури та вологості повітря за допомогою датчика DHT22. Якщо температура повітря піднімається вище критичного значення (наприклад, у літню пору), система може попереджати про перегрів довкілля через відображення інформації на дисплеї або через звуковий сигнал. Це може бути важливо в міських умовах або для безпеки людей на вулиці.

Окрему роль у системі відіграє газовий сенсор MQ-2, який призначений для виявлення диму та шкідливих газів. Якщо виявляється перевищення допустимого рівня газів (наприклад, витік диму або пари легкозаймистих речовин), система негайно вмикає звукову сигналізацію через буюер. Також може подаватись світлова індикація – наприклад, миготіння LED-лампи або зміна її яскравості, що виконує функцію оповіщення про небезпеку.

У разі виявлення таких критичних подій система зупиняє звичайну роботу освітлення і переходить у режим тривоги. Алгоритм при цьому передбачає повторне зчитування показників з усіх сенсорів через встановлений проміжок часу (наприклад, кожні 10 секунд), щоб переконатися, що ситуація змінилася, і небезпека минула. Якщо рівні повертаються до нормальних значень, ліхтар автоматично відновлює свою стандартну роботу – освітлення та моніторинг.

Таким чином, розумний ліхтар на ESP32 працює за адаптивним алгоритмом, який базується на аналізі показників середовища. Завдяки поєднанню фоторезистора, DHT22 та MQ-2 він виконує не лише функції освітлення, а й

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечує елементи безпеки, реагуючи на потенційно небезпечні зміни в навколишньому середовищі. Цей підхід дозволяє підвищити ефективність вуличного або дворового освітлення, зменшити споживання енергії, а також швидко реагувати на потенційні загрози.

На Рисунку 3.5 представлено блок-схему логіки роботи системи, починаючи з ініціалізації компонентів і завершуючи умовами, за яких вмикається або вимикається освітлення, сигналізація та реакція на дим або шкідливі гази.

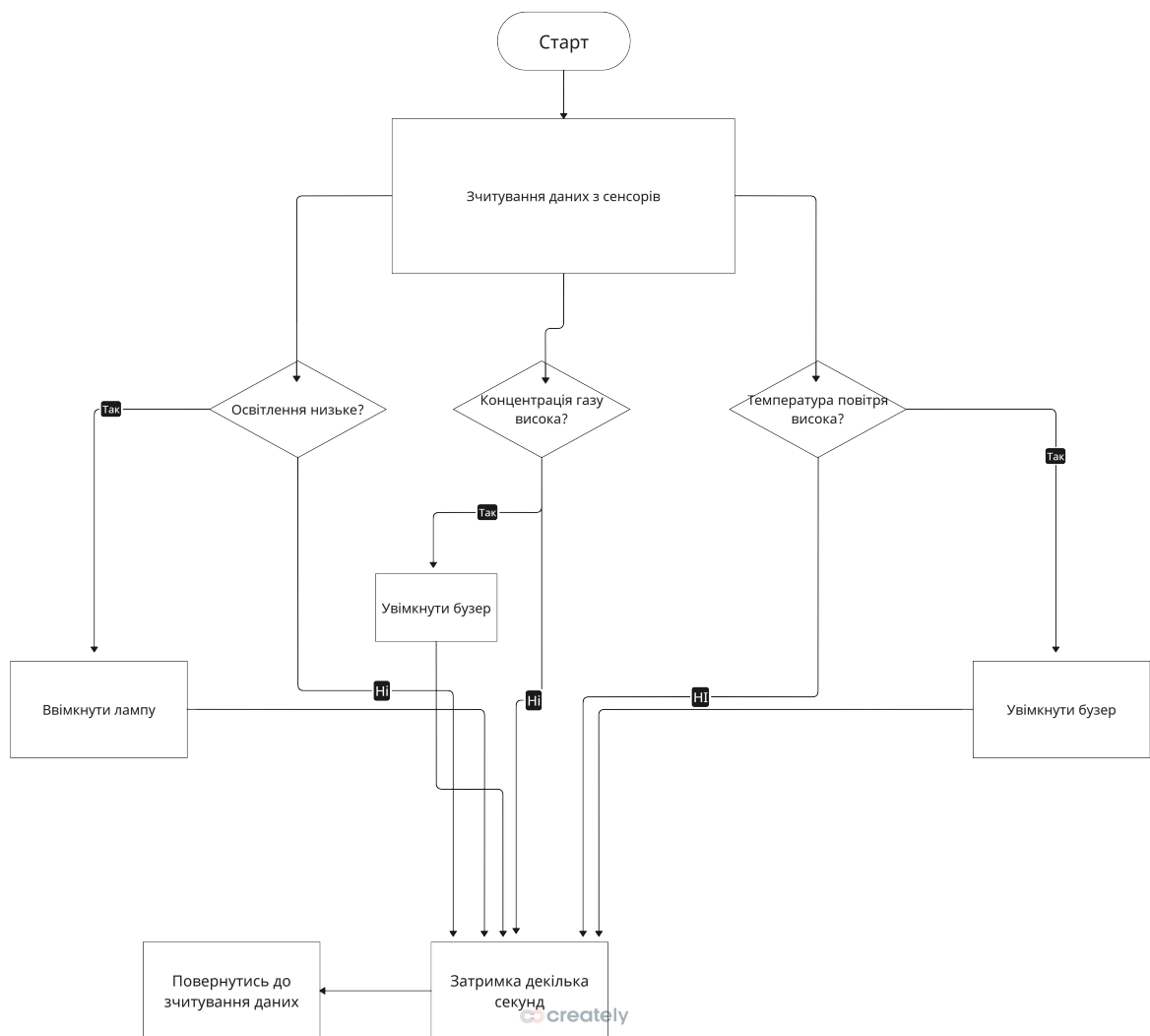


Рисунок 3.5 – Логіка роботи системи

3.2 Налаштування та програмування компонентів системи за допомогою Arduino IDE

Переходимо до етапу налаштування та розробки програмного забезпечення для окремих компонентів розумного ліхтаря на базі ESP32. Щоб забезпечити стабільну та коректну роботу пристрою, будемо використовувати середовище розробки Arduino IDE.

Процес налаштування включає наступні кроки:

1. Завантаження та встановлення Arduino IDE на персональний комп'ютер для створення, компіляції та завантаження скетчів на плату ESP32.

2. Налаштування підтримки плати ESP32, що включає додавання відповідного URL у менеджер плат та встановлення необхідного пакету через вбудований менеджер Arduino IDE.

3. Підключення бібліотек для роботи з сенсорами та модулями, які використовуються в проєкті: DHT22 (вимірювання температури та вологості), MQ-2 (виявлення газу), фоторезистора (освітленість), а також керування LED-лампю та бужером.

4. Розробка програмного коду (скетчу), що реалізує логіку роботи розумного ліхтаря, включаючи зчитування даних із сенсорів, обробку отриманих значень, прийняття рішень і виконання відповідних дій — наприклад, увімкнення лампи при зниженні освітленості, подача сигналу при виявленні газу тощо.

Після встановлення середовища розробки Arduino IDE на комп'ютер, наступним кроком є встановлення драйверів для плати ESP32, яка використовується у нашому проєкті розумного ліхтаря. Оскільки за замовчуванням ця плата не доступна в менеджері плат, її необхідно додати вручну.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

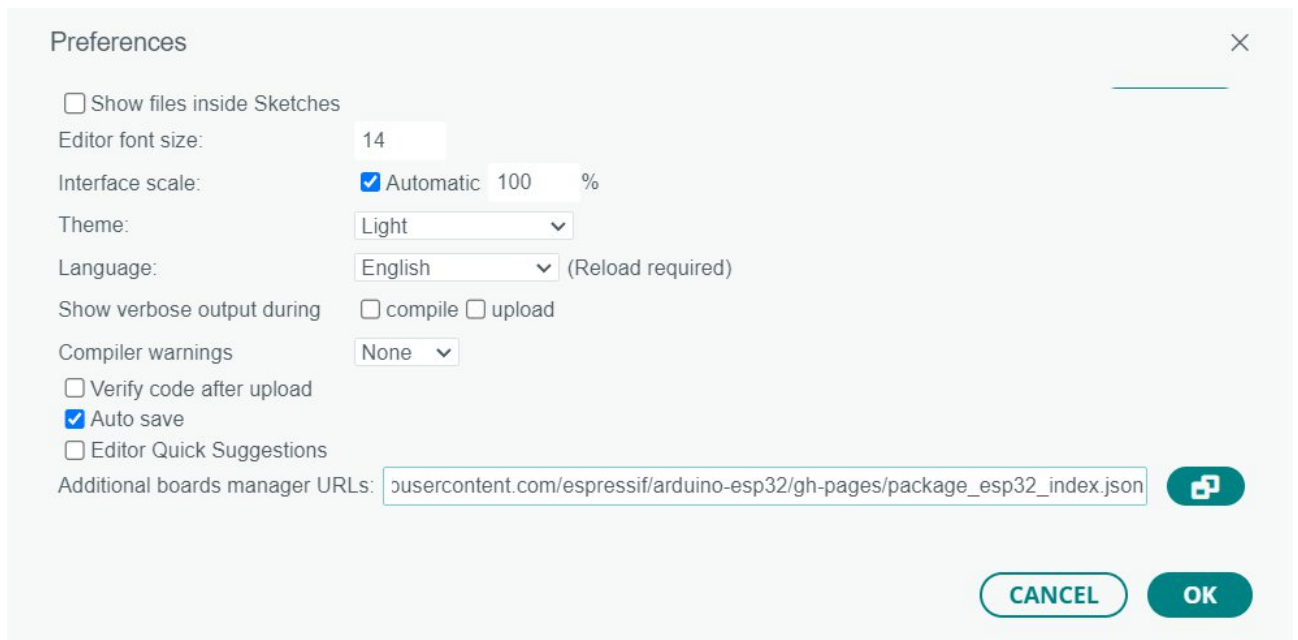


Рисунок 3.6 – Налаштування ESP32

Після додавання посилання, необхідно перейти до меню Менеджер плат, у полі пошуку ввести ESP32, після чого знайдену бібліотеку слід встановити. Це дозволить Arduino IDE розпізнавати мікроконтролер ESP32 і компілювати для нього програми. Приклад цього процесу зображено на Рисунку 3.7 та 3.8.

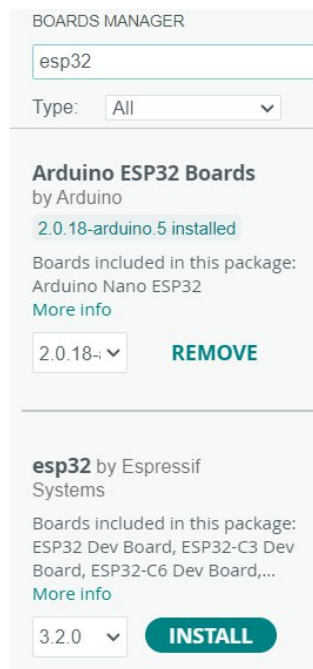


Рисунок 3.7 – Встановлення бібліотеки

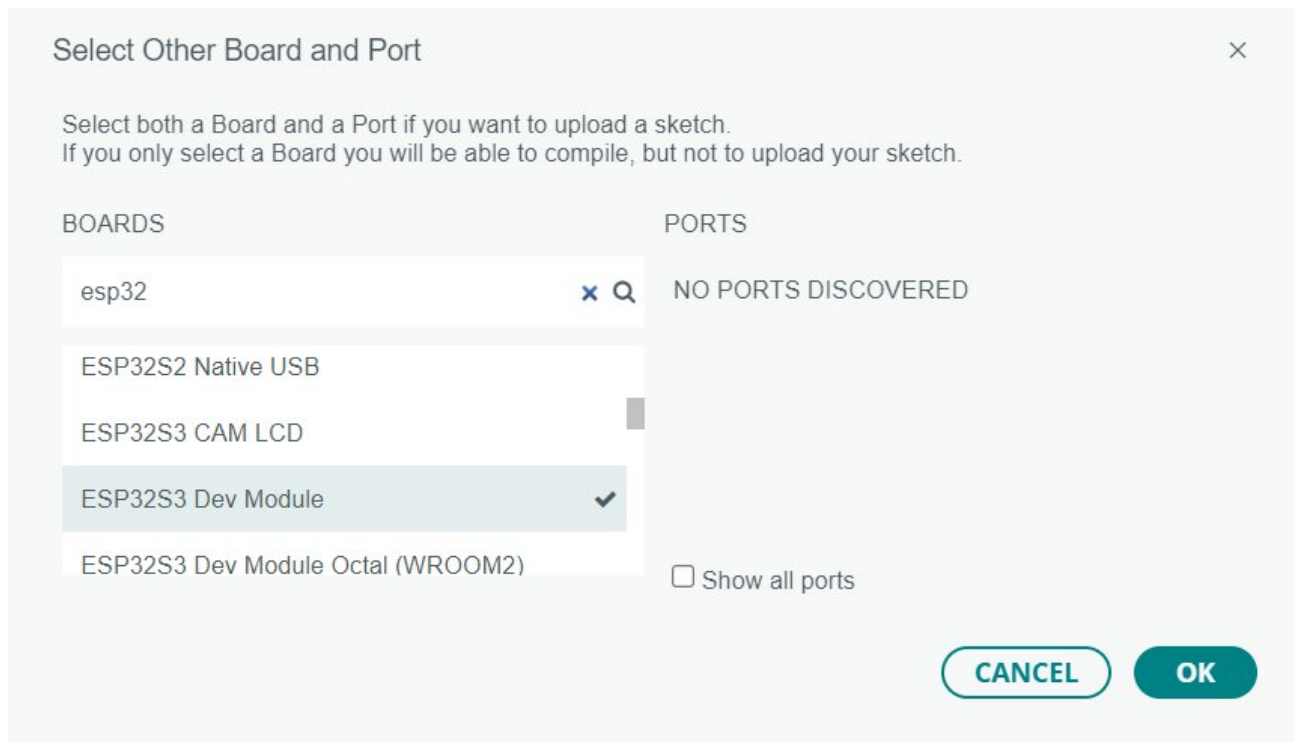


Рисунок 3.8 – Встановлення ESP32

Далі необхідно підготувати програму прошивки, яка дозволить ESP32 підключитися до Wi-Fi-мережі та інтегруватися з платформою Blynk IoT для дистанційного керування розумним ліхтарем. Для цього відкриваємо офіційний сайт <https://examples.blynk.cc/>, де можна знайти приклади коду для ESP32. Вибравши відповідну плату і функціональність, копіюємо запропонований скетч.

```

1  #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4IvICiIDC"
2  #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Розумний ліхтар"
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "OAO-EV1Nt9NwaqFkZ7KxMVstisk07iC"
4
5
6  #include <WiFi.h>
7  #include <WiFiClient.h>
8  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
9
10 char ssid[] = "danyathebest";
11 char pass[] = "suchef123";
12
13 void setup() {
14     Serial.begin(115200);
15     Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
16 }
17
18 void loop() {
19     Blynk.run();
20 }

```

Рисунок 3.9 – Конфігураційний код, який використовується у прошивці

Платформа Blynk IoT є зручним та функціональним мобільним застосунком, який дозволяє забезпечити віддалений зв'язок між користувачем та його пристроєм.

Щоб розпочати роботу з Blynk IoT, спочатку необхідно зареєструвати обліковий запис на офіційному сайті або безпосередньо в мобільному застосунку Blynk (доступний у Play Market та App Store).

Після створення проєкту система автоматично генерує унікальний токен авторизації (Auth Token), який надсилається на електронну пошту користувача. Цей токен використовується у програмному коді прошивки для прив'язки фізичного пристрою до створеного проєкту у Blynk.

У проєкті "Розумний ліхтар", відповідні змінні виглядають так:

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4IvICiIDC"  
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Розумний ліхтар"  
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "OAO-EV1Nt9NwaqFkZ7KxMVscTiSk07iC"
```

Після інтеграції цих параметрів у код прошивки, плата ESP32 отримує можливість надсилати дані до застосунку Blynk (наприклад, дані з фоторезистора, датчика температури та вологості DHT22 або газового сенсора MQ-2) і отримувати керуючі команди (вмикання LED-лампи, активація бузера тощо).

Таким чином, система «Розумний ліхтар» стає повноцінно інтегрованою у хмарну платформу, що відкриває можливості для дистанційного моніторингу та керування освітленням в режимі реального часу через мобільний застосунок Blynk.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Конфігурація системи дистанційного керування за допомогою Blynk IoT

Для реалізації дистанційного керування та моніторингу параметрів системи розумного ліхтаря на базі ESP32 використовується інтернет-сервіс Blynk IoT. Цей сервіс доступний як у вигляді мобільного застосунку для операційних систем Android та iOS, так і у вебформаті через офіційний сайт www.blynk.cloud. Завдяки Blynk користувач має змогу отримувати дані від сенсорів і керувати виконавчими елементами системи у режимі реального часу, перебуваючи на будь-якій відстані, за умови наявності інтернет-з'єднання.

Першим кроком є встановлення мобільного застосунку Blynk IoT на смартфон. Після інсталяції потрібно створити обліковий запис, увійти в нього та натиснути «Почати», щоб розпочати створення нового проєкту. У вікні налаштування необхідно обрати тип пристрою – ESP32, а також спосіб підключення – Wi-Fi. Після підтвердження програма автоматично створить шаблон, який буде пов'язаний із проєктом. З цього моменту можна переходити до створення інтерфейсу для взаємодії з розумним ліхтарем.

Для зручності роботи над інтерфейсом доцільно скористатися вебверсією платформи Blynk. На сайті www.blynk.cloud потрібно авторизуватись під тим самим обліковим записом, а далі перейти до розділу «Templates» (Шаблони) та створити новий шаблон із назвою, наприклад, «Розумний ліхтар». У вікні конструктора інтерфейсу користувач може обрати всі необхідні елементи керування: індикатори, графіки, перемикачі, кнопки, ползунки тощо, які відповідають сенсорам і виконавчим пристроям, що використовуються у проєкті.

Інтерфейс системи був поділений на дві вкладки. На першій вкладці розміщено: показник освітленості з фоторезистора, кнопку для вмикання/вимикання LED-лампи, перемикач між автоматичним і ручним режимом керування, індикатор стану звукового сповіщення (бузера), інформація про температуру та вологість повітря з сенсора DHT22, рівень загазованості повітря, який передає газовий сенсор MQ-2.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Налаштування Датчика

НАЗВА (НЕ ОБОВ'ЯЗКОВО)
Рівень світла

Потік даних
Рівень світла (A0)

Перевизначити значення мін/макс потоку даних

КОЛІР РІВНЯ
 Змінити колір в залежності від значення

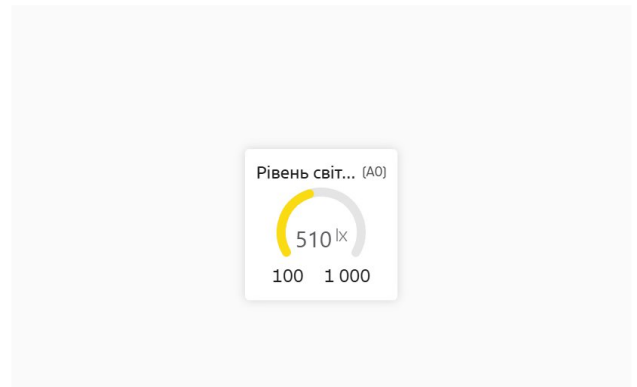


Рисунок 3.10 – Створення датчика

Установки Перемикача

НАЗВА (НЕ ОБОВ'ЯЗКОВО)
Ручний режим

Потік даних
Потік даних Віртуального Піна

Загальні Expose to Automations

ІМ'Я	ПСЕВДОНІМ
<input type="text" value="Ручний режим"/>	<input type="text" value="Ручний режим"/>
ПІН	ТИП ДАНИХ
<input type="text" value="V0"/>	<input type="text" value="Ціле число"/>

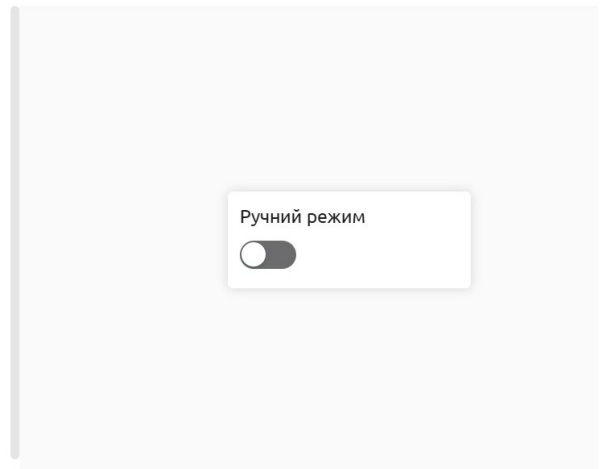


Рисунок 3.11 – Створення перемикача

Налаштування оповіщень та звуку

НАЗВА (НЕ ОБОВ'ЯЗКОВО)
Попередження

Потік даних
Виберіть потік даних

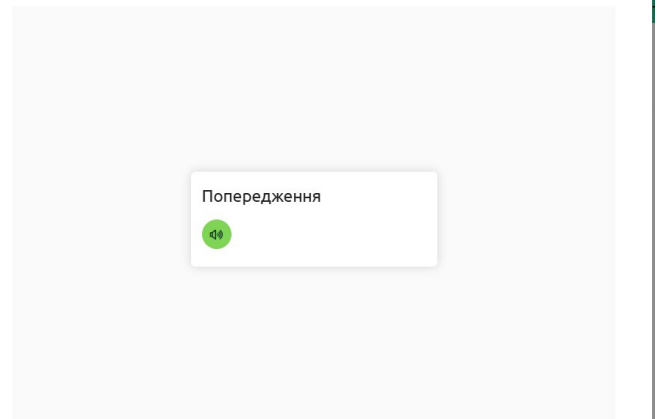


Рисунок 3.12 – Створення звукового сигналу

Налаштування світлодіода

НАЗВА (НЕ ОБОВ'ЯЗКОВО)

Svitlodiod

Потік даних

Світлодіод (V1)

КОЛІР

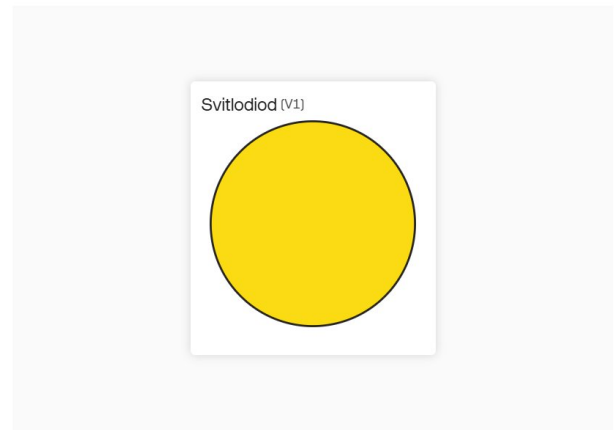


Рисунок 3.13 – Створення LED-лампи

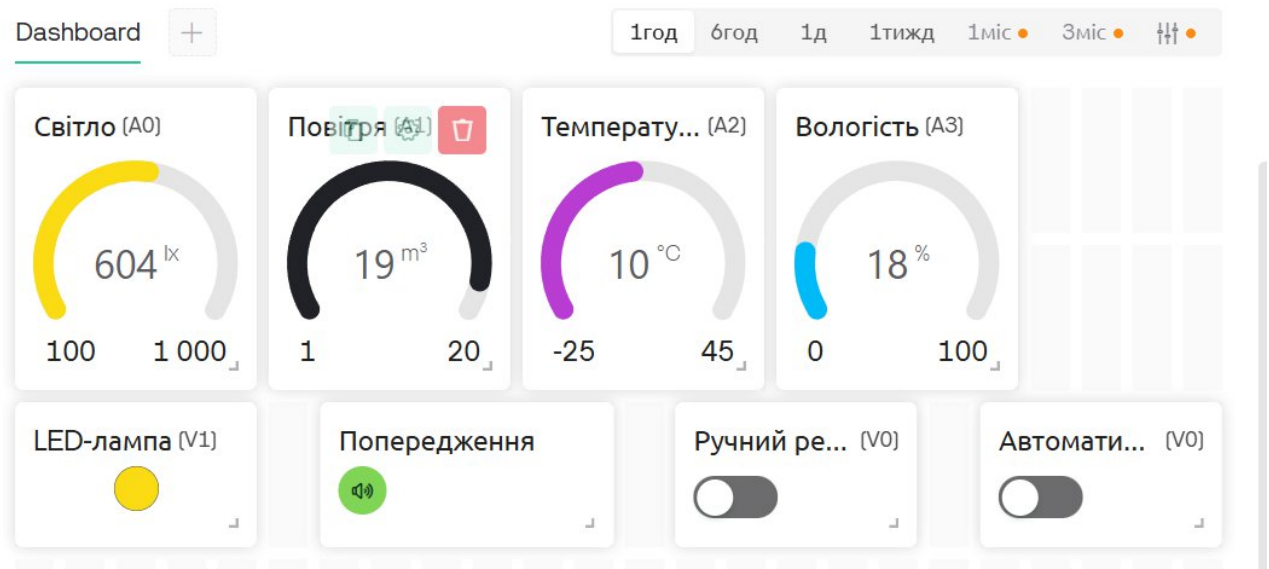


Рисунок 3.14 – Інтерфейс вкладки Dashboard у Vlynk IoT

На панелі управління мобільного застосунку Vlynk IoT створюється графічний інтерфейс, який дозволяє користувачеві повноцінно взаємодіяти з системою розумного ліхтаря. В інтерфейсі розміщуються перемикачі для активації ручного або автоматичного режимів роботи, віртуальний вимикач LED-лампи, а також індикатори параметрів навколишнього середовища, зібрані з підключених датчиків.

Для реалізації логіки перемикання режимів до інтерфейсу додаються два перемикачі (Switch): перший відповідає за ручний режим, другий – за автоматичний режим. У ручному режимі користувач самостійно вмикає або

вимикає LED-лампу, у той час як в автоматичному – її робота залежить від показників освітленості, що зчитуються з датчика світла. Якщо рівень освітлення падає нижче певного порогу (наприклад, ввечері або в похмуру погоду), світлодіодна лампа вмикається автоматично.

Для відображення значень температури, вологості повітря та якості повітря (газовий сенсор MQ-2) використовуються компоненти «Gauge», які наочно демонструють поточні дані з датчиків. Наприклад:

Температурний сенсор DHT22 вимірює температуру в діапазоні від –25 до 50 °С. При перевищенні встановленого порогу (наприклад, 35 °С) автоматично активується звуковий сигнал – бузер.

Газовий сенсор MQ-2, який контролює стан повітря, у випадку виявлення підвищеного рівня забруднення, також активує звукове попередження.

Аналогічно, для датчика освітлення (фоторезистора) визначається поріг освітленості, нижче якого система в автоматичному режимі вмикає LED-лампу. Вихідні значення освітленості також можуть відображатися у «Gauge» з поділом на критичні зони.

Таким чином, за допомогою Blynk створено зручний інтерфейс, який дозволяє переглядати в реальному часі значення основних параметрів довкілля та керувати роботою ліхтаря як у ручному, так і в автоматичному режимах. Це робить систему не лише ефективною, а й максимально гнучкою та користувацьки зрозумілою.

3.4 Вартість проєкту та порівняння із готовими проєктами

Після завершення створення макету системи «Розумний ліхтар» та підключення всіх необхідних компонентів, у межах виконання кваліфікаційної роботи було проведено оцінку вартості всієї апаратної частини. Такий підхід дозволяє не лише розуміти фінансову доцільність самостійної розробки пристрою, але й оцінити її конкурентоспроможність у порівнянні з готовими комерційними рішеннями.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До складу розумного ліхтаря входять: мікроконтролер ESP32, який забезпечує обчислювальну потужність і зв'язок з мережею Wi-Fi; сенсори для моніторингу довкілля (температура, вологість, якість повітря, освітленість, пил); а також виконавчі елементи – LED-лампа та звуковий сигналізатор. Завдяки інтеграції з платформою Blynk IoT, реалізується зручне дистанційне керування пристроєм та моніторинг показників у реальному часі через мобільний додаток.

У таблиці 3.1 представлено детальний перелік компонентів, використаних для побудови прототипу системи, із зазначенням їх кількості та вартості. Ціни є актуальними станом на час розробки проєкту та взяті з відкритих джерел (онлайн-магазини електроніки, платформи для замовлення компонентів).

Таблиця 3.1 – Вартість компонентів

Назва компоненту	Кількість	Ціна(у грн)
ESP32 DevKit	1	270
Датчик температури та вологості	1	195
Газовий сенсор(якість повітря)	1	90
Датчик освітленості(фоторезистор)	1	55
Led-лампа	1	60
Бузер(звуковий сигнал)	1	20
Макетна плата, дроти, тощо		140
Загальна ціна		820

У наведену суму входить виключно вартість основних компонентів. У розрахунок не включено витрати на адаптер живлення, корпус пристрою, монтажну фурнітуру, а також платну підписку на платформу Blynk (у випадку, якщо буде обрано розширений функціонал). Однак базової безкоштовної версії Blynk цілком достатньо для демонстрації і дослідження роботи системи в рамках навчального чи демонстраційного проєкту.

Варто зазначити, що розробка подібного розумного пристрою з нуля дозволяє не тільки значно заощадити кошти, але й дає можливість гнучко налаштувати систему під потреби конкретного користувача. Наприклад, у

нашому випадку реалізовано як автоматичний режим увімкнення освітлення на основі показів фоторезистора, так і ручне керування через мобільний застосунок Blynk. Також у разі перевищення певного порогу температури або забруднення повітря активується звуковий сигнал, що підвищує рівень безпеки.

Для порівняння, комерційні рішення на ринку, які мають схожий функціонал – контроль освітлення, клімату, інтеграцію з мобільним додатком – коштують у середньому від 3000 до 6000 грн, а іноді й більше. При цьому користувач не має можливості глибокого налаштування логіки роботи, оновлення прошивки або розширення системи новими сенсорами.

Таким чином, самостійна реалізація розумного ліхтаря на базі ESP32 є не тільки навчальною цінністю, але й раціональним економічним рішенням, що демонструє гнучкість, розширюваність та сучасність підходу до автоматизації побутових або міських систем. У майбутньому дана система може бути легко модифікована для використання в проектах "розумного міста", наприклад – з підключенням до мережі вуличного освітлення або екологічного моніторингу.

3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було детально розглянуто процес розробки та реалізації системи «Розумний ліхтар» на базі мікроконтролера ESP32. Було проаналізовано та обґрунтовано вибір необхідних апаратних компонентів, серед яких: датчик температури та вологості DHT22, газовий сенсор MQ-2, сенсор освітленості (фоторезистор), а також LED-лампа та звуковий сигналізатор. Окрему увагу було приділено модулю ESP32, який забезпечує централізоване керування системою та обмін даними через Wi-Fi.

У роботі описано використані засоби програмування – середовище Arduino IDE, яке застосовувалося для розробки та завантаження прошивки на мікроконтролер, а також хмарна платформа Blynk IoT, що забезпечує зручний інтерфейс для дистанційного моніторингу та керування всіма функціями ліхтаря.

Здійснено програмування алгоритму роботи пристрою, що включає зчитування даних із сенсорів, прийняття рішень на основі цих даних (наприклад, автоматичне вмикання світла за умов поганого освітлення чи подача звукового сигналу при поганій якості повітря) та їхнє відображення у мобільному додатку.

Було також виконано аналіз вартості системи – складено таблицю з вартістю основних компонентів, з урахуванням функціоналу, який реалізується. Компоненти підключаються безпосередньо до плати ESP32, що зменшує кількість додаткових елементів, таких як зовнішні контролери чи плати розширення. Такий підхід не лише спрощує схему, а й знижує загальні витрати на реалізацію проєкту.

У результаті було здійснено повний цикл розробки функціональної системи «Розумний ліхтар», яка може працювати як в автоматичному, так і в ручному режимах. Система адаптується до змін зовнішніх умов, покращує енергоефективність за рахунок оптимального керування LED-освітленням, та підвищує комфорт і безпеку завдяки екологічному моніторингу. Отримані результати підтверджують, що створена система є ефективною, розширюваною та придатною до подальшого використання в умовах «розумного будинку» або «розумного міста».

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Підсумовуючи результати виконання кваліфікаційної роботи, слід зазначити, що розробка та реалізація системи «Розумний ліхтар» на базі мікроконтролера ESP32 стала важливим кроком у практичному освоєнні сучасних технологій автоматизації та моніторингу довкілля. Проєкт дозволив поглибити знання не лише у сфері проєктування та програмування мікроконтролерних систем, а й у застосуванні сенсорних технологій для екологічного аналізу навколишнього середовища.

У процесі реалізації було створено повноцінну систему, здатну вимірювати такі параметри, як температура, вологість, рівень освітленості, якість повітря (включаючи концентрацію шкідливих речовин). На основі зібраних даних система автоматично реагує: вмикає або вимикає LED-лампу залежно від рівня освітлення, подає звуковий сигнал у разі перевищення допустимого рівня забруднення повітря чи температури, а також перемикає режими роботи між ручним та автоматичним для зручності користувача.

Важливою особливістю є можливість дистанційного керування та моніторингу параметрів у реальному часі через мобільний застосунок Blynk IoT. Завдяки інтеграції з Wi-Fi мережею, система забезпечує безперервний зв'язок між користувачем і пристроєм, що значно підвищує ефективність її використання. Це дозволяє вчасно реагувати на зміни в довкіллі та керувати освітленням з будь-якої точки, де є інтернет.

Виконання цієї роботи стало не лише способом реалізувати теоретичні знання, отримані під час навчання, але й цінним практичним досвідом у побудові кіберфізичних систем, орієнтованих на збереження навколишнього середовища та підвищення комфорту життя. Проєкт поєднує інноваційні технології, екологічну свідомість і функціональність, що є актуальним у сучасному світі, де контроль за якістю середовища набуває особливого значення.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Набутий досвід дає впевненість у власних силах, готовність приймати нові виклики та створювати технологічні рішення, здатні поліпшити якість життя та зробити внесок у сталий розвиток суспільства.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Що таке розумний будинок: функції, види, складові та екосистеми. URL: <https://ek.ua/ua/post/1990/618-что-такое-umnyy-dom-funkcii-vidy-sostavlyayuschi-e-i-ekosistemy/> (дата звернення: 01.04.2025)
2. Use 16x2 LCD With I2C: 4 Steps — Instructables URL: <https://www.instructables.com/LCD-With-I2C/> (дата звернення: 04.05.2025)
3. Датчик вологості та температури DHT22. URL: <https://arduino.ua/prod301-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht22> (дата звернення: 24.03.2025)
4. IoT в Україні. URL: <https://lanmarket.ua/ua/news/internet-rechey-iot-v-ukraini-de-i-yak-vikoristovu-tsya/> (дата звернення 08.06.2025)
5. Interface BME280 Temperature, Humidity & Pressure Sensor with Arduino. URL: <https://lastminuteengineers.com/bme280-arduino-tutorial/> (дата звернення: 28.05.2025)
6. Blynk Документація. URL: <https://shoorik007.github.io/> (дата звернення: 01.06.2025)
7. Espressif Systems. ESP32 Datasheet. Версія 3.0. 2021. 60 с. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 24.05.2025)
8. Датчик BH1750. URL: <https://arduinka.biz.ua/datchik-osvitlenosti-Gy-302-bh1750-tsifroviy-p341c74.html> (дата звернення 30.05.2024)
9. Greengard S. The Internet of Things. Revised and Updated Edition. Cambridge. MA: The MIT Press, 2021. 296 p.
10. King A. Programming the Internet of Things: An Introduction to Building Integrated, Device-to-Cloud IoT Solutions. Sebastopol. CA: O'Reilly Media, 2021. 421 p.
11. Khan J. Y. Internet of Things (IoT): Systems and Applications. Singapore: Jenny Stanford Publishing, 2019. 366 p.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Smeenk H. G. Internet of Things for Smart Buildings: Leverage IoT for smarter insights for buildings in the new and built environments. Birmingham: Packt Publishing, 2023. 306 p.

13. Maier A., Sharp A., Vagapov Y. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the Internet of Things, 2017.

14. Gupta A. K., Johari R. IoT based Electrical Device Surveillance and Control System, 2019.

15. Thipards R. et al. Smart Street Lighting Control for Electrical Power Saving by IoT, 2022.

16. Khemakhem S., Krichen L. A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities. Franklin Open, 2024.

17. Smart Street Lighting System for Smart Cities Using IoT ,2023.

18. Internet of Things-Based Multi-Agent System for the Control of Smart Street Lighting, 2024.

19. Smart Lighting Systems: State-of-the-Art in the Adoption of the EdgeML Computing Paradigm. Future Internet. 2025. Vol. 17(2), Article 50. 50 c.

20. IoT Based Automatic Street Lighting System, 2024. 4 c.

21. Smart Street Lighting Market Report 2021. London: Global Market Report, 2021.

22. Chowdhury A. T. M. M., Sultana J., Ullah Sourav M. S. IoT-based Efficient Streetlight Controlling, Monitoring and Real-time Error Detection System for Smart Cities in Bangladesh, 2023.

23. Dwiyaniti M. et al. Energy Saving of IoT-based Light Intensity on Smart Streetlight, 2022.

24. Cameron N. ESP32 Microcontroller. In: ESP32 Formats and Communication. Maker Innovations Series. Berkeley: Apress, 2023.

25. Kalaivani K., Subramanian S., Swedha G. K. S., Vinoth N., Priya V. V. Air Monitoring with Cloud and IoT. 2023 International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS), 2023.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Raghuveera E., Kanakaraja P., Kishore K. H., Sriya C. T., Prasad B. D., Krishna Teja L. B. An IoT Enabled Air Quality Monitoring System Using LoRa and LPWAN. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 2021.

27. Bhisikar S., Jagtap P., Sonawane S., Sawant H., Pisal P. Enhanced Streetlight Management: Using IoT and ESP32 for Automated Fault Detection. In: *Proceedings of IEEE 5th India Council International Subsections Conference (INDISCON)*, 2024.

28. Karimeh A. S., Chan K.-Y., Lee C.-L., Chung G.-C., Pang W.-L., Mitani S. M. IoT Enabled Intelligent Street Lighting System for Smart Cities. In: *Proceedings of Multimedia University Engineering Conference (MECON)*, 2024.

29. Oladigbolu Y. A., Thomas S., Edem A., James I., Roselyn O. C., Obadiah A. N., Ogbuonwu F. Home Automation Using Blynk Framework. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Multidisciplinary Engineering and Applied Science (ICMEAS)*, 2023.

30. Azzaoui H. A Lightweight Cooperative Intrusion Detection System for RPL-based IoT. *Wireless Personal Communications*. Vol. 134(4), 2024, P. 22–35.

31. Waveshare. MQ-135 Gas Sensor. URL: https://www.waveshare.com/wiki/MQ-135_Gas_Sensor (дата звернення: 12.05.2025)

32. Waveshare. BME680 Environmental Sensor. URL: https://www.waveshare.com/wiki/BME680_Environmental_Sensor (дата звернення: 24.05.2025)

33. Wang J. Evaluation of suitability of low-cost gas sensors for monitoring indoor and outdoor urban areas. *IEEE Sensors Journal*, 2023.

34. Rivero R. A. González. A low-cost calibration method for temperature, relative humidity, and carbon dioxide sensors used in air quality monitoring systems. *Atmosphere*, 2023. 191 p.

35. Gillespie J. Real-time anomaly detection in cold chain transportation using IoT technology. *Sustainability*. Vol. 15(3). 2023. P. 22–55.

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

34. Introduction to ESP32 . 2024. URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-introduction/> (дата звернення: 16.04.2025)
35. IoT Microcontroller Market Growth. 2024. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/iot-microcontroller-market> (дата звернення: 21.05.2025)
36. IoT-Enabled Street Light System 2025. URL: <https://www.jisem-journal.com/article/2025-iot-enabled-street-light-system> (дата звернення: 24.04.2025)
37. “Smart Street Light” Arduino Project. 2020. URL: <https://projecthub.arduino.cc/abhijithvijayan/a-smarter-street-light-3aeabb> (дата звернення: 24.05.2025)
38. Arduino IoT Cloud Adds ESP32 Support. 2021. URL: <https://blog.arduino.cc/2021/05/28/arduino-iot-cloud-adds-esp32-support/> (дата звернення: 04.06.2025)
39. SDS011 Dust Sensor/ URL: http://en.novasensor.cn/?list_16/55.html (дата звернення 25.05.2024)
40. Edge & IoT Microcontroller Trend 2023. URL: <https://www.forrester.com/blogs/iot-edge-microcontrollers-2023/> (дата звернення: 14.05.2025)
41. IoT-based Smart Street Lighting. 2024. URL: <https://www.mdpi.com/journal/electronics>(дата звернення: 14.05.2025)

					КВРКІ 210109.21.01.01 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Даниїл ЗАПЛАВСЬКИЙ

Тема: Кіберфізична система "Розумні ліхтарі". Апаратна частина

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки _____

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є дослідження умов та особливостей застосування апаратного і програмного забезпечення для створення розумного ліхтаря на базі платформи ESP32, а також оцінка ефективності збору, обробки та візуалізації екологічних даних у складі кіберфізичної системи з дистанційним керуванням.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз предметної області кіберфізичної системи «Розумні ліхтарі». В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано моделювання та проєктування системи розумного ліхтаря. В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано програмно-апаратну реалізацію кіберфізичної системи розумного ліхтаря.

4. Позитивні сторони роботи: Висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому інженерно-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4.25/5)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Степан Максим Васильович Савченко, доцент
«Фізико-математичний факультет, кафедра кібербезпеки»

« 18 » 06 2025 р.

Савченко (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Даниїла ЗАПЛАВСЬКОГО

ІІІІ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-1

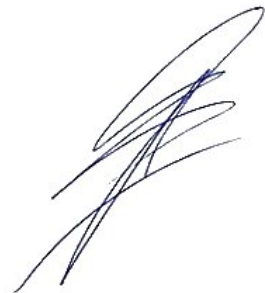
ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10.06. 2025 року



Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 9.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 11%

ID: 245174 Title: БКР Кіберфізична система "Розумні ліхтарі". Апаратна частина Added in a DB: 2025-06-11 Authors: Даниїл ЗАПЛАВСЬКИЙ Heads: Катерина БЕРЕЗЬКА Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	85177	631	9108 (11%)	81 (13%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Даниїл ЗАПЛАВСЬКИЙ

Співавтор:

Назва: Заплавський_Кіберфізична система "Розумні ліхтарі". Апаратна частина

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 2.3%

Коефіцієнт подібності 2: 0.4%

Мікропробіли: 28

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-11 22:17:20.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

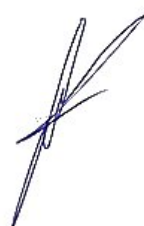
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-12

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система "Розумні ліхтарі". Апаратна частина

Автор: Даниїл ЗАПЛАВСЬКИЙ

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Катерина БЕРЕЗЬКА, к.т.н., доц.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживими фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 2.3% і адресується до 401 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 9%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КПС



Катерина БЕРЕЗЬКА

Андрій Нічепорук

Ольга ПАВЛОВА