

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Інформаційна система моніторингу погодних умов
на основі Arduino»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 126, інформаційні системи та технології
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело*

(підпис) Максим КАРПЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача

Виконав: здобувач вищої освіти гр. ІСД-43
 Максим КАРПЕНКО
 Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник: д.т.н., професор, Каміла СТОРЧАК
 , Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент: _____
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Карпенко Максим Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Інформаційна система моніторингу погодних умов на основі Arduino

керівник кваліфікаційної роботи д.т.н., професор, Каміла СТОРЧАК

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

від «24» лютого 2025 р. №56

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «30» травня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Науково технічна література з теми бакалаврської роботи,

2. Аналіз існуючих систем,

3. Метеостанція на базі Arduino

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1.Огляд технічних засобів метеостанції

2.Вибір інструментів для метеостанції на основі мікроконтролера Arduino

3.Розробка метеостанції на основі мікроконтролера Arduino

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання «24» лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	13.03.25	
2	Аналіз науково-технічної літератури	18.03.25	
3	Розділ 1. Аналіз існуючих рішень та теоретичні основи	25.03.25	
4	Аналіз доступних деталей та пристроїв для реалізації проекту	29.03.25	
5	Розділ 2. Проектування метеостанції на базі arduino	10.04.25	
6	Створення схеми та програмного забезпечення для системи.	20.04.25	
7	Розділ 3. Тестування та перевірка працездатності системи	26.04.25	
8	Висновки	29.04.25	
9	Оформлення дипломної бакалаврської роботи (чистовий варіант)	03.05.25	
10	Розробка демонстраційних матеріалів	07.05.25	

Здобувач(ка) вищої освіти _____
(підпис)

Максим КАРПЕНКО
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Каміла СТОРЧАК
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 59 стор., 7 рис., 0 табл., 20 джерел.

Мета роботи – Створення ефективної та надійної метеостанції на основі Arduino з можливістю безперервного моніторингу кліматичних параметрів, відображення інформації на дисплеї та віддаленої передачі даних для подальшого аналізу.

Об'єкт дослідження – Інформаційна система моніторингу погодних умов, створена на базі мікроконтролерної платформи Arduino.

Предмет дослідження – Розробка автоматизованої метеостанції, що забезпечує збір, обробку та передачу кліматичних даних за допомогою мікроконтролера ESP8266 і сенсорних модулів, із використанням технологій бездротового зв'язку та елементів IoT.

Методи дослідження – Аналіз існуючих технічних рішень, моделювання системи, розробка апаратного забезпечення, програмування мікроконтролера, тестування працездатності пристрою та оцінка його ефективності.

Короткий зміст роботи: У межах бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено інформаційну систему моніторингу погодних умов на основі мікроконтролера ESP8266. Система забезпечує збір даних про температуру, вологість, атмосферний тиск та рівень освітленості з використанням сенсорів BME280 та LDR. Отримані дані відображаються на OLED-дисплеї та можуть передаватися у мережу для подальшого аналізу. В результаті реалізовано недорогу, енергоефективну та масштабовану метеостанцію, придатну для використання у сільському господарстві, екології та наукових дослідженнях.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ARDUINO, ESP8266, МІКРОКОНТРОЛЕР, МЕТЕОСТАНЦІЯ, МОНІТОРИНГ, КЛІМАТИЧНІ ПАРАМЕТРИ, І СЕНСОРИ, BME280, LDR

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ.....	8
1.1. Принципи побудови метеостанцій на Arduino.....	8
1.2. Огляд реалізованих проєктів метеостанцій.....	15
1.3. Технічні вимоги до розробки метеостанції на базі Arduino.....	23
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ МЕТЕОСТАНЦІЇ НА БАЗІ ARDUINO.....	30
2.1 Огляд основних компонентів системи.....	30
2.1.1 Виділення переваг мікроконтролера ESP8266.....	32
2.1.2 Опис сенсора BME280 для вимірювання кліматичних параметрів.....	34
2.1.3 Огляд особливостей OLED-дисплея 0.96”.....	37
2.1.4 Використання LDR як сенсора освітленості.....	38
2.2 Огляд додаткових компонентів системи.....	40
РОЗДІЛ 3. РОЗДІЛ 3. ТЕСТУВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ.....	44
3.1. Моделювання системи метеомоніторингу на базі мікроконтролера ESP8266.....	44
3.2. Розробка програмного забезпечення для ESP8266.....	46
3.3. Опис основного програмного коду метеостанції.....	47
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	61
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)	

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах інтенсивного розвитку технологій, цифровізації аграрної сфери та зростання потреб у точному моніторингу кліматичних умов, особливої актуальності набуває створення доступних та ефективних метеостанцій. В Україні зростає необхідність у впровадженні автоматизованих систем збору кліматичних даних для підвищення ефективності землеробства, раціонального використання природних ресурсів та адаптації до кліматичних змін.

У країнах Європи та світу дедалі активніше впроваджуються автоматизовані пристрої для збору кліматичних даних, проте в Україні цей процес лише набирає обертів, що зумовлює актуальність розробки недорогих, автономних метеостанцій на базі мікроконтролерних платформ з відкритим кодом. Застосування подібних систем дозволяє вчасно реагувати на зміни погоди, підвищувати ефективність агропроцесів, оптимізувати водні ресурси та сприяти розвитку екологічно орієнтованих технологій.

Мета роботи полягає у створенні автономної метеостанції на базі ESP8266 з можливістю вимірювання температури, вологості, тиску та освітленості, а також відображення й передачі цих даних.

У процесі дослідження вирішувалися наступні **завдання**:

- проведено аналіз сучасних підходів до побудови метеостанцій на базі мікроконтролерів;
- досліджено технічні характеристики відповідних сенсорів та допоміжних компонентів;
- обґрунтовано вибір оптимальної апаратної платформи;
- спроектовано апаратну частину пристрою;

— виконано моделювання та перевірку працездатності системи у симуляційному середовищі;

Об’єктом дослідження є автоматизована система метеорологічного моніторингу на базі мікроконтролера ESP8266, яка включає набір сенсорів, засоби відображення та можливість бездротової передачі даних.

Предметом дослідження є процес проєктування, реалізації та оптимізації метеостанції з функціями збору, обробки та виводу кліматичних параметрів у реальному часі.

Методи дослідження: аналітичний метод при вивченні літератури; метод порівняльного аналізу для вибору компонентів; метод моделювання для перевірки працездатності; експериментальний метод — при реалізації проєкту в середовищі Arduino IDE; емпіричні методи — тестування та вимірювання параметрів.

Наукова новизна полягає у створенні комплексної системи моніторингу з можливістю подальшого масштабування, автономного живлення та бездротової передачі даних. Робота поєднує кілька сучасних технічних рішень і дозволяє отримати точні кліматичні показники у реальному часі.

Практична значущість результатів полягає у можливості застосування системи у фермерських господарствах, навчальних закладах, тепличному господарстві, а також у наукових дослідженнях. Розроблена система є адаптованою до умов України та відповідає вимогам до доступних рішень для моніторингу.

Апробація результатів бакалаврської роботи. Основні положення та результати бакалаврської роботи публікувались на VI Науково-технічній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT»

Структура роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

1.1 Принципи побудови метеостанцій на Arduino

Метеорологічні спостереження є основою для розуміння кліматичних процесів, прогнозування погоди, управління аграрним виробництвом та забезпечення безпеки життєдіяльності людини. Традиційні метеостанції, побудовані на промисловому обладнанні, мають високу вартість та складну архітектуру, що ускладнює їх використання в умовах обмежених ресурсів. Розвиток мікроконтролерної техніки, зокрема платформи Arduino, створив передумови для побудови доступних, компактних і гнучких метеостанцій, які можуть бути реалізовані навіть на аматорському рівні без втрати точності вимірювань.

Будь-яка метеостанція — це система збору, обробки, зберігання та передачі метеорологічних даних. Ключовими параметрами, що підлягають вимірюванню, є температура повітря, відносна вологість, атмосферний тиск, рівень освітленості, напрям і швидкість вітру, кількість опадів, ультрафіолетове випромінювання тощо. Основу метеостанції становлять сенсори, які здійснюють перетворення фізичних величин у електричні сигнали, з подальшою обробкою цими сигналами обчислювальним блоком.

Метеостанції можуть бути автономними (локальними) або мережевими, які передають дані до віддаленого сервера чи хмарного середовища. У випадку використання мікроконтролерів Arduino реалізація обох підходів можлива завдяки гнучкості цієї платформи.

Arduino — це відкрита апаратно-програмна платформа, що базується на мікроконтролерах серії AVR (ATmega328P, ATmega2560 тощо) або ESP (ESP8266, ESP32). До переваг Arduino належать:

1. Простота програмування через середовище Arduino IDE;

2. Високий рівень підтримки користувацької спільноти;
3. Багата бібліотечна база для роботи з сенсорами;
4. Підтримка цифрових та аналогових входів/виходів, протоколів UART, I2C, SPI.

Мікроконтролери Arduino здійснюють обробку даних із сенсорів у режимі реального часу, надаючи можливість побудови компактних вбудованих систем моніторингу.

У побудові метеостанцій на Arduino найчастіше застосовуються такі протоколи обміну даними:

I2C (Inter-Integrated Circuit) — двопровідний протокол для зв'язку з цифровими сенсорами, що дозволяє підключити до однієї шини до 127 пристроїв. Застосовується, наприклад, у сенсорі BME280, який вимірює температуру, вологість і тиск.

SPI (Serial Peripheral Interface) — високошвидкісний чотирипровідний протокол для взаємодії з дисплеями або сенсорами з великою частотою оновлення.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) — традиційний послідовний протокол, що застосовується для передачі даних між Arduino і модулями GSM, GPS, Bluetooth або Wi-Fi (наприклад, з ESP8266 у режимі slave).

Вибір протоколу залежить від кількості сенсорів, їх типу та необхідної швидкості передачі даних. Інженерні схеми проєктуються з урахуванням електричних характеристик пристроїв, що підключаються.

Метеостанції зазвичай включають наступні сенсори:

Температурні сенсори (рис. 1) (DS18B20, LM35, BME280) — реалізують принцип зміни напруги або цифрового значення залежно від температури.

Наприклад, BME280 працює за принципом п'єзоелектричного ефекту в кристалі кремнію.



Рис. 1 Температурний сенсор

Гігрометри (рис. 2) — сенсори вологості (DHT22, BME280) працюють за ємнісним або резистивним принципом, змінюючи свої параметри залежно від вологості в повітрі.



Рис. 2 сенсор BME280

Барометри (рис. 3) — вимірюють атмосферний тиск (BMP180, BMP280, BME280), використовуючи мікроелектромеханічні системи (MEMS).



Рис. 3 Барометр

Фоторезистори (рис. 4) (LDR) — сенсори освітленості, які змінюють опір залежно від інтенсивності світла.



Рис. 4 Фоторезистор

Анемометри та дощоміри — електромеханічні пристрої, що обчислюють швидкість вітру та кількість опадів, часто на базі магнітних контактів або датчиків Холла.

Для коректної роботи сенсорів необхідне калібрування — приведення показів сенсора до відповідності з еталонними приладами. Калібрування може бути одноразовим або динамічним, з урахуванням впливу температури, вологості та інших факторів.

Найпоширенішими є наступні контролери:

- 1) Arduino Uno — базова модель, що має 14 цифрових та 6 аналогових входів/виходів, 32 КБ флеш-пам'яті. Підходить для локальних метеостанцій.
- 2) Arduino Mega 2560 — розширена версія з більшою кількістю пінів і 256 КБ флеш-пам'яті. Підходить для багатофункціональних систем.
- 3) ESP8266 / NodeMCU — мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi-модулем, що дозволяє передавати дані в мережу. Має 4 МБ флеш-пам'яті, підтримує OTA-оновлення.
- 4) ESP32 — двоядерний контролер з Wi-Fi та Bluetooth, більшою обчислювальною потужністю і розширеним набором інтерфейсів.

У випадку, коли метеостанція має працювати автономно та передавати дані в Інтернет, ESP8266 або ESP32 (рис. 5) є оптимальним вибором.



Рис. 5 мікроконтролер ESP8266

Живлення метеостанції є важливим чинником, який визначає стабільність та автономність її функціонування. Для стаціонарних рішень зазвичай використовується живлення через micro USB, що дозволяє підключити систему до стандартного мережевого адаптера. У випадках, коли необхідна автономна робота, доцільно застосовувати акумуляторні батареї, зокрема літій-іонні або літій-полімерні, доповнені модулями захисту від перезаряду та глибокого розряду. Ще одним варіантом живлення в польових умовах є використання сонячних панелей, які можуть поєднуватися з контролерами заряду та буферними акумуляторами. Енергозбереження реалізується шляхом переведення мікроконтролера в сплячий режим, завдяки чому енергоспоживання суттєво знижується, що особливо актуально для віддалених або важкодоступних об'єктів.

Обробка, збереження та передача даних є ключовим етапом функціонування метеостанції. Після зчитування фізичних параметрів за допомогою сенсорів, мікроконтролер здійснює первинну обробку даних. Цей процес може включати калібрування з урахуванням поправкових коефіцієнтів, фільтрацію для усунення шумів і статистичних викидів, а також цифрову обробку, наприклад, обчислення похідних значень, таких як точка роси. Дані можуть зберігатися у внутрішній пам'яті мікроконтролера, на карті пам'яті

microSD у форматі CSV або в енергонезалежній пам'яті EEPROM, якщо необхідне збереження конфігурацій. Передача обробленої інформації здійснюється різними способами: через Wi-Fi-модуль, GSM-зв'язок, Bluetooth або радіочастотні модулі залежно від потреб системи. Найпоширенішим підходом є використання Wi-Fi, особливо при застосуванні мікроконтролерів ESP8266 або ESP32, які дозволяють передавати дані на веб-сервер або в хмарні сервіси.

Інтерфейс користувача також є важливою складовою метеостанції. Найчастіше використовуються графічні або текстові дисплеї, зокрема OLED-екрани розміром 0.96 дюйма, які підключаються через I2C-інтерфейс і забезпечують високу контрастність. Альтернативою можуть бути LCD-дисплеї або TFT-панелі для складніших інтерфейсів. Для індикації критичних станів чи збоїв у роботі використовуються світлодіоди або звукові сигнали. У деяких варіантах передбачена взаємодія користувача із системою за допомогою кнопок або сенсорних елементів, а також доступ до налаштувань і даних через веб-інтерфейс, що працює безпосередньо на мікроконтролері.

Сучасна тенденція розвитку таких систем тісно пов'язана з інтеграцією в екосистему Інтернету речей. Завдяки підтримці мережевих протоколів Arduino-станції можуть взаємодіяти з хмарними платформами, де дані зберігаються, обробляються та візуалізуються у реальному часі. Поширеними рішеннями є використання хмарних сервісів на кшталт ThingSpeak або Firebase, а також мобільних додатків, які дозволяють формувати віртуальні панелі управління.

На практиці реалізація метеостанції передбачає врахування низки інженерних аспектів. Потрібно забезпечити якісні з'єднання між компонентами, у фінальній версії — переважно за допомогою пайки. Важливо передбачити захист від впливу навколишнього середовища: сенсори та електроніка мають бути розміщені у герметичному корпусі, який одночасно забезпечує вентиляцію. Умови експлуатації також вимагають врахування термічної стабільності, захисту від вібрацій та механічних пошкоджень. Комплексне врахування перелічених

факторів дозволяє створити надійну та функціональну систему, здатну працювати тривалий час без технічного обслуговування.

Загалом, підхід до побудови метеостанцій на базі Arduino передбачає не лише технічне з'єднання окремих модулів, а й системну інтеграцію, в якій кожен компонент виконує чітко визначену функцію в рамках єдиного циклу збору, обробки й передачі даних. Концептуально важливою є здатність таких систем працювати в умовах реального часу: це вимагає врахування затримок при зчитуванні даних, обмежень по частоті опитування сенсорів та оптимізації програмного забезпечення. Наприклад, частота оновлення значень температури чи вологості повинна узгоджуватись із динамікою зміни цих параметрів у навколишньому середовищі. Надмірно часті запити до сенсорів спричиняють зростання енергоспоживання та можуть призвести до швидкого зносу елементів живлення у автономних системах.

Ще одним принципово важливим аспектом є питання точності та надійності отриманих результатів. Незважаючи на доступність сенсорів, їх вимірювання можуть бути схильні до похибок, зумовлених впливом температури, вологості, електричних перешкод або старіння компонентів. Саме тому більшість сучасних проєктів передбачає реалізацію програмних алгоритмів усереднення значень, адаптивного калібрування або валідації результатів за допомогою декількох джерел даних. Крім того, у складніших системах передбачено логіку самодіагностики, яка дозволяє виявляти збої сенсорів або їх аномальну поведінку в порівнянні зі статистичними моделями.

Окрему увагу заслуговує механічна реалізація корпусу метеостанції, що повинна поєднувати захист електронних компонентів від впливу зовнішніх чинників (вологи, пилу, вітру, опадів) із можливістю адекватного збору метеоданих. Наприклад, сенсори температури та вологості потребують розміщення в спеціальних вентиляційних шахтах або в екранованих кожухах типу «радіаційний щит», які захищають від прямого сонячного випромінювання, зберігаючи при цьому циркуляцію повітря. Для сенсорів атмосферного тиску

важливо забезпечити стабільний контакт із навколишнім середовищем, тоді як датчики освітлення чи ультрафіолету повинні мати безперешкодний доступ до відкритого неба.

Зважаючи на зростання популярності бездротових технологій, метеостанції нового покоління дедалі частіше реалізуються як повноцінні вузли IoT-інфраструктури. Така інтеграція вимагає не лише апаратної підтримки (наявність відповідних модулів), а й врахування протоколів комунікації, авторизації, шифрування та зберігання інформації. Для довготривалого функціонування системи в автономному режимі необхідно також продумати логіку резервного копіювання даних або буферизації у разі втрати мережевого з'єднання. Це забезпечує безперервність моніторингу та збереження цілісності історичних даних, що особливо актуально в наукових дослідженнях або сільському господарстві, де аналіз кліматичних змін потребує повних хронологічних записів.

Таким чином, принципи побудови метеостанцій на базі Arduino не зводяться лише до вибору сенсорів і плати мікроконтролера. Йдеться про комплексну інженерну задачу, яка охоплює як апаратні, так і програмні компоненти, а також врахування факторів зовнішнього середовища, специфіки експлуатації, енергетичної автономності та інтеграції в більш масштабні інформаційні системи.

1.2 Огляд реалізованих проєктів метеостанцій

На сьогодні у відкритому доступі представлено чимало реалізованих проєктів метеостанцій на основі апаратної платформи Arduino. Більшість із них відображають як академічний, так і прикладний інтерес, оскільки розробки виконуються не лише в межах університетських досліджень, а й ентузіастами, інженерами та виробниками мікроелектроніки. Незважаючи на спільну платформу, архітектурна реалізація таких пристроїв суттєво варіюється залежно

від цілей використання, наявних ресурсів, вимог до точності вимірювання, автономності та інтерфейсу взаємодії з користувачем.

Один із типових прикладів представлений у роботі "Development of a Low-Cost Arduino-Based Weather Station" (Sundaravadivel, 2020), де метеостанція була реалізована з використанням базового набору сенсорів для визначення температури, вологості, атмосферного тиску та рівня опадів. Проєкт вирізняється простотою, невисокою вартістю комплектуючих та орієнтацією на освітні цілі. Однак, навіть у цьому базовому варіанті автори реалізували збереження даних на SD-карті та подальшу обробку у вигляді графіків, що демонструє гнучкість використання Arduino як платформи для збору й систематизації кліматичної інформації.

У роботі "Smart Greenhouse Using Arduino" з GitHub-проєкту Bakaut (2020) продемонстровано використання метеостанції в умовах тепличного господарства, що визначає інший набір технічних вимог. Зокрема, система була побудована з акцентом на внутрішнє середовище — важливими параметрами виступали не лише температура й вологість, а й контроль рівня освітленості та керування вентиляцією. Додатково реалізовано модулі автоматичного поливу залежно від показників ґрунтової вологості, що ілюструє міждисциплінарне використання метеоданих у системах автоматизованого управління.

У ході дослідження також було проаналізовано роботу студентів університету AUES (Казахстан), у якій створення метеостанції супроводжувалось розробкою інтерфейсу для виведення даних на веб-сервер. Станція фіксувала температуру, вологість та атмосферний тиск за допомогою сенсорів DHT11 і BMP180, а дані передавалися через модуль ESP8266 на хмарну платформу ThingSpeak. Особливістю цієї реалізації є віддалений доступ до інформації в реальному часі, що надає широкі можливості для аналізу кліматичних змін у конкретній локації та дає змогу інтегрувати дані в глобальні екологічні моніторингові мережі.

Інший цікавий приклад — метеостанція, описана в проєкті "IoT Weather Station" (Bogomaz, 2022), де було використано не лише базові сенсори, а й модулі для передачі даних через мобільні мережі (GSM), що дає змогу застосовувати станцію в ізольованих регіонах, де відсутнє стабільне Wi-Fi-покриття. Архітектура пристрою орієнтована на максимальну енергоефективність і мінімізацію втручання людини, що робить його придатним для довготривалого екологічного моніторингу.

У межах конференції Житомирської політехніки (2022) було представлено проєкт метеостанції для навчальних цілей, який відзначається оптимальною збалансованістю між простотою реалізації та інформативністю результатів. До складу пристрою входив дисплей для локального виведення даних, сенсор BME280 та інтерфейс серійного зв'язку для відлагодження. Такий варіант особливо цінний як навчальна платформа для ознайомлення з базовими принципами сенсорної інтеграції, збору даних і енергозалежного програмування на мові C++ у середовищі Arduino IDE.

Важливим напрямком розвитку метеостанцій на Arduino є розробка мобільних та автономних систем, здатних функціонувати без постійного підключення до електромережі. У роботі "Development and implementation of Arduino-based wireless weather station" (2021) описано проєкт, у якому основним джерелом живлення слугують літій-іонні акумулятори, заряджання яких забезпечується через сонячні панелі. Такий підхід значно розширює можливості застосування пристроїв, дозволяючи їх розміщувати у важкодоступних місцях, наприклад, у гірських районах або природних парках, де необхідний постійний моніторинг кліматичних умов. Важливим елементом у цій системі є інтелектуальне управління енергоспоживанням, яке реалізується шляхом регулювання частоти опитування сенсорів залежно від рівня заряду акумулятора та зовнішніх умов.

Ще одним прикладом є проєкт, розроблений у Львівському національному університеті імені Івана Франка, де метеостанція інтегрована в більш широку

систему моніторингу якості повітря. У цьому випадку Arduino виступає як центральний контролер, що обробляє дані з декількох типів сенсорів, включно з визначенням концентрації шкідливих газів, температури та вологості. Крім того, система підтримує передачу даних через бездротовий інтерфейс на сервер для подальшої аналітики. Така комплексна платформа дає змогу не лише вимірювати основні метеопараметри, а й оцінювати екологічний стан міських територій, що має велике прикладне значення для урбаністичних досліджень.

Окремої уваги заслуговують розробки, спрямовані на автоматизацію збору та обробки даних. Використання мікроконтролерів із вбудованими можливостями Wi-Fi (наприклад, ESP8266 або ESP32) значно спрощує завдання інтеграції пристроїв у мережі Інтернет речей (IoT). Це дозволяє створювати мережі з кількох метеостанцій, які працюють узгоджено та забезпечують високоточний просторовий аналіз кліматичних параметрів. Дана тенденція підтверджує наукову новизну, адже дає змогу розширити масштаб досліджень від локальних умов до регіональних, а також підвищити якість та достовірність отримуваних даних завдяки їхній крос-перевірці.

Узагальнюючи, сучасні реалізації метеостанцій на базі Arduino відрізняються різноманітністю технічних рішень та функціональних можливостей. Вони включають як прості моделі для вимірювання базових параметрів (температура, вологість, атмосферний тиск), так і комплексні системи, що інтегрують датчики освітленості, концентрації шкідливих газів, рівня опадів, а також автоматизовані механізми для збору та передачі даних. Використання різних типів мікроконтролерів та додаткових модулів розширює сферу застосування метеостанцій від навчальних лабораторій і домашніх умов до професійного екологічного моніторингу і сільськогосподарських систем.

Важливим напрямком у розвитку таких систем є їхня адаптація до умов безперервної роботи в автономному режимі з використанням альтернативних джерел живлення, зокрема сонячної енергії. Це відкриває нові можливості для впровадження метеостанцій у віддалених і важкодоступних регіонах, що є

актуальним завданням у контексті глобальних кліматичних змін та екологічної безпеки.

Крім того, розвиток Інтернету речей суттєво підвищує функціональність метеостанцій, дозволяючи не лише збирати та зберігати інформацію локально, але й забезпечувати її віддалений доступ у режимі реального часу. Це сприяє створенню широкомасштабних мереж кліматичного моніторингу, які здатні оперативно реагувати на зміни погодних умов та забезпечувати більш точний прогноз.

Продовжуючи аналіз реалізованих проєктів, варто відзначити, що у багатьох сучасних розробках особливу увагу приділяють підвищенню точності вимірювань та надійності роботи сенсорів у різних кліматичних умовах. Використання таких сенсорів, як BME280, DHT22, BMP280 та інші, забезпечує високий рівень точності завдяки їхній внутрішній калібровці та можливості корекції за допомогою програмних алгоритмів. У цьому контексті дослідження орієнтуються не лише на апаратне виконання, а й на розробку алгоритмів фільтрації та обробки даних, що дозволяє мінімізувати вплив шумів та перешкод.

Ще одним напрямком розвитку є застосування штучного інтелекту та методів машинного навчання для прогнозування погодних умов на основі зібраних даних. Хоча це більше виходить за межі класичного проектування метеостанції, інтеграція таких підходів дає можливість значно підвищити інформативність системи та її прикладну цінність. Наприклад, на основі часових рядів метеоданих можуть бути побудовані моделі прогнозування, які виявляють тенденції змін та потенційні аномалії.

У зв'язку з актуальністю питань екологічного моніторингу все більшу популярність набувають системи, що поєднують збір метеорологічної інформації з контролем якості повітря, рівня забруднення та інших екологічних параметрів. Це розширює сферу застосування метеостанцій від класичних

погодних умов до комплексного аналізу навколишнього середовища, що особливо важливо для урбаністичних та промислових регіонів.

Отже, розгляд наявних реалізацій демонструє широкий спектр технічних і функціональних рішень, які можна адаптувати і до розробки власної метеостанції на базі Arduino з урахуванням специфіки поставлених завдань і технічних вимог.

Аналіз існуючих проєктів метеостанцій на базі Arduino вказує на активний розвиток цієї технології в контексті адаптації до сучасних потреб екологічного моніторингу та автоматизації збору кліматичних даних. Значна кількість реалізацій зосереджена на створенні недорогих та простих у використанні пристроїв, що водночас забезпечують необхідну точність вимірювань. Основною перевагою таких систем є їх модульність, що дозволяє гнучко підбирати компоненти відповідно до конкретних завдань, а також можливість швидкого масштабування мережі метеостанцій для збору даних з різних точок.

Важливою особливістю сучасних рішень є інтеграція бездротових комунікаційних технологій, зокрема Wi-Fi та GSM, що забезпечує передачу даних у реальному часі до централізованих систем збору інформації. Це відкриває перспективи для створення розподілених мереж із синхронізованим збиранням даних, що суттєво підвищує точність та надійність кліматичного моніторингу. При цьому особлива увага приділяється енергоефективності та автономності пристроїв, що дозволяє розміщувати метеостанції у віддалених або складнодоступних регіонах.

Крім базових сенсорів температури, вологості та тиску, все частіше застосовуються додаткові модулі, які вимірюють освітленість, рівень забруднення повітря, швидкість і напрямок вітру. Це розширює функціональні можливості пристроїв та робить їх корисними не лише для погодного моніторингу, але й для екологічних та сільськогосподарських досліджень. Важливим напрямом є також розробка програмного забезпечення, що забезпечує

коректну обробку даних, їх збереження та візуалізацію, а також реалізацію алгоритмів для самокалібрування сенсорів і діагностики працездатності системи.

З наукової точки зору, новизна полягає в застосуванні комплексного підходу до створення метеостанцій, що поєднує апаратну гнучкість, ефективну комунікаційну інфраструктуру і продвинуті алгоритми обробки даних. Це дозволяє розробляти інтелектуальні системи, здатні адаптуватися до змін зовнішніх умов, прогнозувати потенційні відхилення та автоматично коригувати режими роботи для підтримання стабільної точності вимірювань. Таким чином, сучасні проєкти метеостанцій демонструють суттєвий прогрес у напрямку створення інтелектуальних, автономних та масштабованих систем для екологічного моніторингу.

У сучасних дослідженнях і розробках все більше уваги приділяється не лише апаратній складовій метеостанцій, а й інтеграції цих пристроїв у ширші інформаційні системи, що використовують можливості Інтернету речей (IoT). Завдяки цьому з'являється можливість не тільки збирати дані, але й автоматично аналізувати їх за допомогою хмарних сервісів і штучного інтелекту. Такий підхід дозволяє розширити функціонал метеостанцій, перетворюючи їх із простих приладів для вимірювання погоди на складні інформаційно-аналітичні системи.

Крім того, значною мірою збільшується рівень автоматизації процесу збору та обробки інформації, що суттєво знижує потребу у безпосередній участі оператора. Системи на основі Arduino в поєднанні з бездротовими модулями забезпечують віддалений моніторинг, що важливо для забезпечення оперативного доступу до даних в режимі реального часу. Особливо це актуально для використання в сільському господарстві, екологічних дослідженнях, а також у сфері цивільного захисту для прогнозування та попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з погодними явищами.

Використання відкритих апаратних платформ, таких як Arduino, створює умови для розвитку спільнот розробників та дослідників, які обмінюються

досвідом, діляться алгоритмами та покращують існуючі рішення. Це сприяє прискоренню інноваційних процесів і створенню більш доступних технологій, що мають високу якість і функціональність. Завдяки такому колективному підходу значно зростає потенціал метеостанцій у різних сферах застосування.

Водночас, при розробці власних систем, важливо враховувати не тільки апаратні характеристики, але й відповідність метеостанції нормативним вимогам щодо точності та стабільності вимірювань, а також її здатність до інтеграції з іншими інформаційними платформами. Це дозволяє забезпечити не лише локальний, а й регіональний рівень моніторингу кліматичних умов, що є надзвичайно важливим у контексті адаптації до глобальних змін клімату.

Таким чином, аналіз існуючих рішень демонструє не тільки технічний, а й науково-прикладний потенціал розвитку метеостанцій на базі Arduino, який можна ефективно використати для створення сучасних інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища.

Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що аналіз існуючих реалізацій метеостанцій на базі Arduino свідчить про значний потенціал цих систем у сфері кліматичного моніторингу. Різноманітність апаратних рішень та використання сучасних сенсорів забезпечують необхідний рівень точності й надійності вимірювань. Інтеграція бездротових технологій та можливість віддаленого доступу до даних створюють передумови для масштабування таких систем та їх застосування в різних галузях, від сільського господарства до екологічного контролю. Наукова новизна полягає у комплексному підході до розробки інтелектуальних метеостанцій, які поєднують гнучку апаратну платформу, ефективну комунікацію та передові алгоритми обробки інформації. Отже, існуючі рішення є міцною базою для подальшої розробки сучасних, автономних і масштабованих систем метеомоніторингу.

1.3. Технічні вимоги до розробки метеостанції на базі Arduino

Розробка метеостанції на базі Arduino вимагає чіткого визначення технічних вимог, які забезпечать ефективність, надійність і точність системи. Основними критеріями є вибір мікроконтролера з достатньою обчислювальною потужністю та можливостями підключення різноманітних сенсорів і модулів. Arduino має перевагу у вигляді широкої підтримки з боку спільноти розробників, численних бібліотек та модулів, що полегшує інтеграцію та налаштування обладнання. Важливо забезпечити оптимальне співвідношення між енергоспоживанням і продуктивністю, особливо якщо метеостанція планується до експлуатації в автономному режимі з використанням батарей або сонячних панелей.

Наступною важливою вимогою є вибір та характеристика сенсорів. Вони повинні забезпечувати високу точність і стабільність вимірювань в широкому діапазоні температур і вологості, а також бути стійкими до впливу навколишнього середовища. Для цього зазвичай використовують сенсори, сертифіковані для метеорологічних застосувань, які пройшли калібрування і мають мінімальні похибки.

В аспекті апаратного забезпечення слід звернути увагу на організацію живлення пристрою. Система має мати стабільне і надійне джерело живлення з можливістю автоматичного перемикання між різними режимами живлення, щоб забезпечити безперервну роботу. Важливо передбачити захист від перенапруг, коротких замикань і інших аварійних ситуацій, які можуть пошкодити компоненти або викликати втрату даних.

Особливу увагу необхідно приділити програмному забезпеченню, яке повинно коректно опрацьовувати сигнали від сенсорів, здійснювати фільтрацію шумів і перешкод, а також передавати дані на зовнішні пристрої або в хмарні сервіси. Програмне забезпечення має бути модульним, щоб легко впроваджувати нові функції або замінювати компоненти без суттєвих змін у системі.

Також важливою вимогою є забезпечення можливості калібрування системи, що дозволяє підтримувати високу точність вимірювань протягом тривалого часу експлуатації. Це може реалізовуватися як автоматично, так і вручну за допомогою спеціальних алгоритмів або зовнішніх калібрувальних приладів.

Отже, технічні вимоги до розробки метеостанції на базі Arduino мають охоплювати як апаратні, так і програмні аспекти, а також забезпечувати надійність, точність і адаптивність системи до змін зовнішніх умов. Врахування цих вимог є запорукою створення ефективного і довговічного пристрою для моніторингу метеорологічних параметрів.

До ключових технічних вимог метеостанції на базі Arduino також належать можливості масштабування і інтеграції з іншими системами. Це означає, що апаратна і програмна архітектура повинні підтримувати додавання нових сенсорів і модулів без суттєвого втручання в основний код або апаратну конфігурацію. Такий підхід забезпечує гнучкість у використанні пристрою для різних задач, наприклад, розширення моніторингу додатковими параметрами — рівнем ультрафіолетового випромінювання, забрудненням повітря або параметрами ґрунту.

Важливим аспектом є також вибір протоколів зв'язку, які будуть використовуватися для передачі даних. У більшості сучасних рішень застосовують Wi-Fi, Bluetooth, LoRa або GSM-модулі, залежно від умов експлуатації та вимог до дальності зв'язку. Вибір протоколу визначає не лише дальність і стабільність передачі, а й енергоспоживання системи, що має прямий вплив на автономність роботи. Для метеостанцій, розміщених у віддалених або важкодоступних місцях, перевага віддається енергоефективним технологіям з низьким енергоспоживанням і можливістю роботи від акумуляторів або сонячних батарей.

Ще одним важливим технічним критерієм є зручність встановлення та експлуатації. Конструкція метеостанції повинна бути компактною, легкою, стійкою до погодних умов і мати надійний захист від пилу, вологи та інших негативних впливів навколишнього середовища. Це дозволить забезпечити довготривалу роботу без потреби в частому технічному обслуговуванні.

Важливу роль відіграють засоби візуалізації та інтерфейси користувача, які забезпечують доступ до даних як у локальному режимі (через дисплей або панель управління), так і дистанційно через веб-додатки або мобільні застосунки. Реалізація інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів дозволяє користувачам без спеціальної підготовки ефективно працювати з пристроєм та інтерпретувати отримані дані.

Необхідно також враховувати вимоги безпеки даних — захист інформації під час передачі та збереження, а також можливість резервного копіювання важливих параметрів, що є особливо актуальним при використанні метеостанції у наукових дослідженнях або комерційних проектах.

Загалом, технічні вимоги до розробки метеостанції на базі Arduino мають бути комплексними і враховувати як апаратну надійність і точність вимірювань, так і програмну гнучкість, енергоефективність, зручність користування та безпеку інформації. Відповідне дотримання цих вимог забезпечить створення сучасної, надійної і функціональної системи для якісного моніторингу кліматичних параметрів.

Для забезпечення високої якості роботи метеостанції необхідно врахувати специфічні технічні вимоги, що охоплюють як апаратну, так і програмну складову системи. Важливим є вибір мікроконтролера, здатного опрацьовувати інформацію з кількох сенсорів у реальному часі та передавати її користувачеві з мінімальною затримкою. Серед сучасних варіантів особливу увагу слід звернути на мікроконтролери, що мають вбудовані можливості бездротового зв'язку,

оскільки це суттєво розширює функціонал та дозволяє реалізувати віддалений моніторинг.

Сенсорні модулі мають бути вибрані з урахуванням точності, стабільності показників та умов експлуатації, оскільки похибки вимірювань можуть призводити до неточних висновків і некоректної роботи системи в цілому. Надійність сенсорів у довготривалій перспективі також є пріоритетом, адже постійна заміна або калібрування значно ускладнюють експлуатацію. Тому застосування сертифікованих сенсорів, таких як BME280, є оптимальним вибором.

Живлення пристрою повинно бути організоване так, щоб забезпечити безперервну роботу, особливо у випадках використання метеостанції у віддалених або автономних локаціях. Варто передбачити систему перемикання між джерелами живлення (батареї, зовнішні адаптери, сонячні панелі) з урахуванням запасу енергії та можливістю оптимізації споживання.

Важливо також звернути увагу на програмну архітектуру: код повинен бути оптимізований для забезпечення швидкої обробки даних, мінімізації затримок і стабільності роботи. Застосування модульної структури ПЗ дає можливість гнучко оновлювати програму, додавати нові функції або змінювати алгоритми без необхідності переписувати всю систему. Окремою складовою є реалізація інтерфейсів користувача, які мають бути інтуїтивно зрозумілими і забезпечувати легкий доступ до виміряних даних.

Особливу увагу необхідно приділяти забезпеченню захисту даних під час передачі і зберігання, оскільки їх достовірність є ключовою для аналітики та прийняття рішень на основі отриманої інформації. Впровадження механізмів резервного копіювання, шифрування та автентифікації користувачів дозволяє підвищити загальну безпеку системи.

Отже, технічні вимоги до метеостанції на базі Arduino є багатограними і включають у себе вибір високоякісних і сумісних компонентів, забезпечення

стабільного живлення, оптимізовану програмну реалізацію та надійний захист даних. Врахування цих вимог є необхідною умовою створення ефективної, точної і довговічної системи моніторингу кліматичних параметрів.

Одним із важливих технічних аспектів є вибір протоколів зв'язку, що впливає на стабільність передачі даних і енергоспоживання пристрою. Сучасні метеостанції часто використовують Wi-Fi для підключення до локальних мереж, що дає змогу оперативно передавати інформацію на сервери або у хмарні сервіси для подальшої обробки. Проте у випадках, коли необхідна робота на віддалених об'єктах без стабільного інтернет-з'єднання, доцільно застосовувати енергоефективні технології, такі як LoRa або GSM-модулі. Вибір конкретного протоколу залежить від завдань проєкту, дальності передачі та енергетичних обмежень.

Крім того, вимоги до конструктивного виконання метеостанції включають забезпечення захисту від впливу атмосферних явищ — вологи, пилу, перепадів температури, ультрафіолетового випромінювання. Для цього корпус метеостанції повинен бути герметичним і виготовленим з матеріалів, стійких до корозії. Важливим є також грамотне розташування сенсорів у захищених, але відкритих для повітря місцях, що забезпечує коректне зчитування параметрів без спотворень.

З точки зору енергетичної ефективності, система має реалізовувати режими енергозбереження — наприклад, переведення мікроконтролера у сплячий режим між періодами вимірювань або динамічне регулювання яскравості дисплея залежно від рівня освітленості. Це дозволяє суттєво продовжити час автономної роботи, особливо при живленні від акумуляторів або сонячних панелей.

Важливим є також питання калібрування сенсорів та їх періодичної перевірки для підтримки точності вимірювань. У роботі має бути передбачено алгоритми самоконтролю або можливість дистанційного оновлення параметрів

калібрування. Такі функції підвищують довіру до отриманих даних і розширюють сферу застосування метеостанції.

Слід врахувати сумісність метеостанції з іншими системами моніторингу та аналітики. Це передбачає підтримку стандартних протоколів обміну даними, відкритих API та можливість інтеграції з існуючими платформами для агромоніторингу, екологічного контролю або міських інформаційних систем.

Підсумовуючи викладене, технічні вимоги до розробки метеостанції на базі Arduino є багатограним комплексом, який охоплює як апаратні, так і програмні аспекти проектування. Вибір мікроконтролера із вбудованою підтримкою бездротового зв'язку, зокрема модулями Wi-Fi, значно розширює функціональні можливості системи, дозволяючи реалізувати віддалений моніторинг та інтеграцію з хмарними платформами. Водночас, використання високоточних сенсорів, таких як BME280, забезпечує збір достовірних даних про основні кліматичні параметри — температуру, вологість та атмосферний тиск, що є критично важливим для отримання якісної інформації.

Особлива увага приділяється енергетичній ефективності та автономності системи. Впровадження режимів енергозбереження, можливість живлення від різних джерел та захист від зовнішніх факторів навколишнього середовища значно підвищують експлуатаційну надійність пристрою у реальних умовах. Конструктивні рішення, спрямовані на захист від вологи, пилу та температурних коливань, дозволяють експлуатувати метеостанцію в широкому діапазоні зовнішніх умов без втрати точності вимірювань.

Не менш важливою є програмна складова, яка забезпечує не лише швидку та стабільну обробку даних, але й модульність, що дозволяє гнучко оновлювати систему та додавати нові функції без суттєвих змін у коді. Забезпечення безпеки передачі і збереження даних, зокрема через впровадження механізмів шифрування та автентифікації, підвищує довіру користувачів до системи і захищає інформацію від несанкціонованого доступу.

Також важливою вимогою є підтримка стандартних протоколів та відкритих інтерфейсів, що дозволяє інтегрувати метеостанцію у більші інформаційні екосистеми, зокрема в аграрні або екологічні системи моніторингу. Такий підхід розширює можливості використання пристрою, сприяючи розвитку комплексного контролю за навколишнім середовищем.

Врахування всіх перелічених технічних вимог є ключовою передумовою для створення сучасної, високоточної, надійної та адаптивної метеостанції на базі Arduino, яка відповідає сучасним науково-технічним стандартам і вимогам кінцевих користувачів. Це забезпечить ефективний збір та аналіз кліматичних даних, що має важливе значення для наукових досліджень, агробізнесу, екологічного контролю та інших сфер застосування.

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ МЕТЕОСТАНЦІЇ НА БАЗІ ARDUINO

2.1 Огляд основних компонентів системи

Проектування метеостанції на базі Arduino передбачає комплексний підхід до вибору та інтеграції апаратних складових, які забезпечують точне, стабільне та енергоефективне вимірювання кліматичних параметрів. Основними компонентами системи є мікроконтролер, сенсорні модулі для збору даних, дисплей для візуалізації інформації, а також додаткові елементи, що забезпечують живлення та зв'язок.

Ключовим елементом є мікроконтролер ESP8266, який завдяки вбудованому Wi-Fi модулю забезпечує можливість бездротової передачі даних, що є суттєвою перевагою для сучасних IoT-пристроїв. Його низька вартість, достатня обчислювальна потужність, підтримка численних бібліотек і широкий набір інтерфейсів роблять ESP8266 ідеальним рішенням для реалізації автономної метеостанції з можливістю віддаленого моніторингу. Крім того, цей мікроконтролер підтримує режими енергозбереження, що дозволяє значно подовжити час автономної роботи пристрою при живленні від батарей.

Для вимірювання основних параметрів навколишнього середовища застосовується сенсор BME280, який інтегрує вимірювання температури, вологості і атмосферного тиску. Цей модуль характеризується високою точністю, стабільністю та низьким енергоспоживанням, що дозволяє отримувати достовірні дані навіть за складних умов експлуатації. Сенсор BME280 (рис. 6) має цифровий інтерфейс I2C або SPI, що забезпечує простоту підключення і сумісність з мікроконтролерами сімейства Arduino.



Рис. 6 Сенсор BME280

Візуалізація отриманих даних реалізується за допомогою OLED-дисплея розміром 0.96 дюйма (рис. 7), що відзначається високою контрастністю, широкими кутами огляду та низьким енергоспоживанням. OLED-технологія дозволяє чітко відображати інформацію навіть при низькому рівні освітлення, що є важливим для експлуатації пристрою у різних умовах. Дисплей підтримує стандартний інтерфейс I2C, що спрощує його інтеграцію в систему.



Рис. 7 OLED-дисплей

Для визначення рівня освітленості застосовується фотодатчик LDR (Light Dependent Resistor) (рис. 8), який змінює свій опір залежно від інтенсивності світла.



Рис. 8 фотодатчик LDR

Використання LDR дозволяє оцінити освітленість навколишнього середовища, що може бути корисним для розширення функціоналу метеостанції, наприклад, для моніторингу світлових умов у аграрних застосуваннях або для оптимізації роботи дисплея шляхом автоматичного регулювання яскравості.

Таким чином, вибір основних компонентів системи базується на критеріях високої точності вимірювань, енергетичної ефективності, вартості та сумісності. Взаємодія між мікроконтролером ESP8266, сенсором BME280, OLED-дисплеєм і фотодатчиком LDR створює комплексну систему, здатну збирати, обробляти, відображати та передавати дані про стан навколишнього середовища в режимі реального часу, що є фундаментом для подальшої розробки програмного забезпечення та інтеграції з зовнішніми сервісами.

2.1.1 Виділення переваг мікроконтролера ESP8266

Мікроконтролер ESP8266 займає ключове місце серед сучасних рішень для побудови пристроїв Інтернету речей (IoT), зокрема метеостанцій, завдяки своїм унікальним характеристикам та широким функціональним можливостям. Вбудований Wi-Fi модуль відкриває нові горизонти для бездротової передачі даних, що дозволяє реалізувати віддалений моніторинг кліматичних параметрів без потреби у додаткових мережевих пристроях або складних апаратних компонентах. Це значно спрощує архітектуру пристрою, знижує його вартість і підвищує мобільність системи.

Використання ESP8266 дозволяє інтегрувати метеостанцію у різноманітні інформаційні платформи, що надає можливість оперативного збору, обробки та передачі даних на сервери, хмарні сховища чи мобільні додатки. Така взаємодія забезпечує зручний доступ до інформації у режимі реального часу, що є надзвичайно важливим для застосувань у сільському господарстві, екологічному моніторингу, наукових дослідженнях та інших сферах.

Окрім цього, ESP8266 має достатній обсяг обчислювальних ресурсів для паралельної роботи з кількома сенсорними пристроями та виконання складних алгоритмів аналізу даних. Це дозволяє підвищити точність вимірювань за рахунок реалізації фільтрації шумів, корекції похибок і прогнозування тенденцій, що значно розширює функціональні можливості метеостанції. Також доступна підтримка різних протоколів зв'язку, таких як TCP/IP, HTTP, MQTT, що робить пристрій сумісним із різними інформаційними екосистемами та дозволяє гнучко налаштовувати способи передачі інформації відповідно до потреб користувача.

Важливою особливістю ESP8266 є його енергоефективність. Пристрої на його базі можуть працювати у режимах низького енергоспоживання, що особливо актуально для автономних систем, живлених від батарей чи сонячних панелей. Ефективне управління енергоспоживанням дозволяє подовжити час роботи без необхідності частого технічного обслуговування або заміни джерел живлення, що підвищує зручність експлуатації у віддалених або важкодоступних локаціях.

Програмна сумісність та підтримка різних середовищ розробки, зокрема Arduino IDE, сприяє швидкому впровадженню і налагодженню системи, а також дозволяє легко оновлювати і допрацьовувати функціонал. Можливість реалізації ОТА-оновлень програмного забезпечення (over-the-air) дозволяє дистанційно завантажувати нові версії прошивки без фізичного доступу до пристрою, що є важливим для підтримки актуальності та безпеки системи в процесі експлуатації.

Таким чином, ESP8266 забезпечує надійну платформу для створення сучасних, масштабованих і функціонально багатих метеостанцій, що відповідають актуальним вимогам ринку та науково-технічного прогресу. Поєднання низької вартості, широких комунікаційних можливостей, енергоефективності та простоти розробки робить цей мікроконтролер одним із найкращих виборів для реалізації інтелектуальних систем моніторингу кліматичних умов. Впровадження ESP8266 у проєкт дозволяє забезпечити не лише збір і обробку даних, а й їх надійну передачу, що є основою для подальшої аналітики, прогнозування та прийняття управлінських рішень.

2.1.2 Опис сенсора BME280 для вимірювання кліматичних параметрів

Сенсор BME280 (рис. 9) є одним із найпоширеніших багатофункціональних датчиків, що використовується для моніторингу атмосферних умов. Він здатен вимірювати три ключові параметри навколишнього середовища: температуру, відносну вологість повітря та атмосферний тиск. Це робить його незамінним компонентом для створення високоточних метеостанцій, що можуть надавати повну картину кліматичних умов у режимі реального часу.

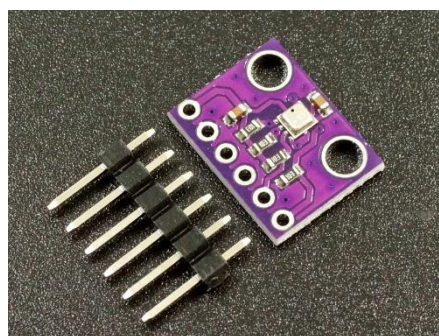


Рис. 9 Сенсор BME280

Висока точність і стабільність вимірювань BME280 забезпечуються завдяки використанню сучасних технологій сенсорної інтеграції та калібрувальних алгоритмів, що реалізовані безпосередньо в мікроконтролері

датчика. Сенсор має вбудовану компенсацію температури, що дозволяє мінімізувати похибки при коливаннях температурного режиму, що особливо важливо для довготривалого спостереження в різних кліматичних зонах.

BME280 підтримує цифровий інтерфейс зв'язку через протоколи I2C або SPI, що значно спрощує його інтеграцію з мікроконтролерами, зокрема ESP8266. Відсутність необхідності в додаткових аналогових компонентах підвищує надійність та знижує складність електричної схеми пристрою, а також сприяє зменшенню загальної енергоспоживаності системи.

Крім того, датчик має компактний форм-фактор, що дозволяє легко інтегрувати його в різні корпуси та конструкції метеостанцій, забезпечуючи при цьому швидкий та точний збір даних. Його експлуатація можлива в широкому діапазоні робочих температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, що забезпечує ефективність навіть у складних кліматичних умовах.

BME280 є основою для створення надійних і водночас компактних метеостанцій. Він дозволяє не лише збирати базові параметри, але і проводити аналіз змін кліматичних факторів, що є важливим для прогнозування погодних умов та оцінки стану навколишнього середовища. Це відкриває широкі можливості для використання таких пристроїв у сільському господарстві, екологічному моніторингу, наукових дослідженнях та в побутових застосуваннях.

Таким чином, застосування BME280 у складі метеостанції на базі ESP8266 забезпечує баланс між точністю, функціональністю та енергоефективністю, що робить його одним із ключових компонентів у сучасних системах кліматичного моніторингу. Його універсальність і надійність підвищують якість зібраних даних, що є основою для подальшої обробки та прийняття обґрунтованих рішень у різних сферах діяльності.

Сенсор BME280 вирізняється також своєю енергоефективністю, що має ключове значення для автономних метеостанцій, особливо в умовах обмеженого

живлення від батарей або альтернативних джерел енергії. Споживання енергії при роботі з датчиком є низьким, а підтримка режимів сну дозволяє значно продовжити час роботи пристрою без необхідності заміни джерел живлення чи підзарядки. Це особливо важливо для розгортання метеостанцій у віддалених або важкодоступних місцях, де технічне обслуговування є обмеженим.

Ще однією важливою перевагою BME280 є його висока стабільність і довговічність, що забезпечують надійність отриманих даних протягом тривалого часу експлуатації. Сенсор має захист від впливу пилу та вологи, що дозволяє використовувати його навіть у складних природних умовах без втрати точності вимірювань. Це робить його придатним для роботи у широкому спектрі кліматичних зон – від помірних до тропічних.

Завдяки підтримці двох основних цифрових інтерфейсів — I2C та SPI, BME280 легко інтегрується у різні апаратні платформи. I2C інтерфейс особливо зручний для реалізації багатосенсорних систем, оскільки дозволяє підключати кілька пристроїв до однієї шини, тим самим зменшуючи кількість проводів і спрощуючи конструкцію. Водночас SPI забезпечує швидший обмін даними, що може бути критично для систем з високими вимогами до частоти оновлення інформації.

У контексті метеорологічного моніторингу BME280 є не лише джерелом даних про поточні умови, а й основою для побудови аналітичних моделей. Наприклад, на основі показників тиску і температури можна прогнозувати зміну погоди, визначати тенденції у змінах клімату, оцінювати рівень вологості для потреб сільського господарства. Точність і швидкість збору цих параметрів відкриває можливості для реалізації систем раннього попередження про погодні катаклізми чи аномалії.

Загалом, сенсор BME280 є багатофункціональним, надійним і зручним у використанні рішенням для сучасних метеостанцій. Його інтеграція у проєкт на базі ESP8266 не лише підвищує функціональність системи, а й сприяє зниженню

витрат на її реалізацію і обслуговування. Саме завдяки поєднанню високої якості вимірювань, простоти підключення та енергоефективності, BME280 залишається одним із найкращих варіантів для побудови точних і надійних кліматичних моніторингових систем.

2.1.3 Огляд особливостей OLED-дисплея 0.96”

Відображення інформації є важливою складовою частиною будь-якої метеостанції, оскільки забезпечує користувачу можливість оперативно отримувати дані про поточні кліматичні умови без необхідності підключення до зовнішніх пристроїв або мереж. Одним із найпопулярніших рішень для візуалізації даних у компактних електронних пристроях є OLED-дисплеї. Зокрема, дисплей з діагоналлю 0.96 дюйма, що базується на органічних світлодіодах, широко використовується у проєктах на базі Arduino та ESP8266 завдяки своїм унікальним властивостям.

Основною перевагою OLED-дисплея є його висока контрастність і яскравість, що забезпечують чітке та легке для сприйняття зображення навіть при яскравому денному освітленні. На відміну від традиційних LCD-екранів, OLED-дисплеї не потребують підсвітки, що дозволяє значно знизити енергоспоживання пристрою. Кожен піксель OLED-дисплея є автономним джерелом світла, що дає змогу відображати глибокий чорний колір і забезпечує широкий кут огляду без спотворень.

Дисплей 0.96” зазвичай має роздільну здатність 128×64 пікселів, що дає достатньо простору для відображення кількох рядків тексту та простих графічних елементів. Це дозволяє реалізувати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, що відображає поточну температуру, вологість, атмосферний тиск, а також інші важливі параметри в компактній та зручній формі.

Інтерфейс підключення OLED-дисплея зазвичай реалізується через цифрові шини I2C або SPI. Вибір конкретного протоколу залежить від потреб системи: I2C забезпечує простоту підключення і меншу кількість необхідних

проводів, що важливо для компактних пристроїв, тоді як SPI може запропонувати вищу швидкість обміну даними. Обидва інтерфейси підтримуються мікроконтролером ESP8266, що робить інтеграцію дисплея у метеостанцію простою і зручною.

Ще однією важливою особливістю OLED-дисплея є його швидкість оновлення інформації та відсутність «примарних» ефектів, характерних для LCD. Це особливо важливо для метеостанцій, де дані часто оновлюються, і необхідно швидко відображати зміни кліматичних параметрів. Крім того, OLED-дисплеї мають тривалий термін служби, який за умов правильної експлуатації може досягати десятків тисяч годин без значного зниження яскравості.

Завдяки своїй компактності, низькому енергоспоживанню і високій якості відображення, OLED-дисплей 0.96” є оптимальним вибором для використання у метеостанціях на базі ESP8266. Він дозволяє створити зручний і інформативний інтерфейс, який сприяє підвищенню комфортності користування пристроєм і забезпечує швидкий доступ до актуальної інформації про стан навколишнього середовища.

Таким чином, інтеграція OLED-дисплея 0.96” у структуру метеостанції є важливим кроком у реалізації сучасного, ергономічного та енергоефективного пристрою для моніторингу кліматичних умов. Поєднання високої роздільної здатності, широкого кута огляду і низького енергоспоживання робить цей компонент ключовим елементом у забезпеченні надійного та зручного візуального контролю.

2.1.4 Використання LDR як сенсора освітленості

Для повноцінного моніторингу атмосферних умов у сучасних метеостанціях важливо враховувати не лише основні кліматичні параметри, такі як температура, вологість і тиск, а й рівень освітленості. Світлові умови впливають на багато природних процесів, включно з фотосинтезом у рослинності, формуванням погодних моделей та поведінкою людей і тварин. У

зв'язку з цим, інтеграція сенсора освітленості в систему метеомоніторингу дозволяє отримувати більш комплексні дані про навколишнє середовище.

Одним із найбільш доступних та простих у використанні пристроїв для вимірювання освітленості є фотозалежний резистор, відомий як LDR (Light Dependent Resistor). Принцип його роботи базується на зміні електричного опору залежно від інтенсивності падаючого світла: при збільшенні освітленості опір зменшується, і навпаки, при затемненні – збільшується. Ця властивість дозволяє LDR перетворювати рівень світла у змінну електричну величину, яку легко виміряти за допомогою аналогового входу мікроконтролера.

Застосування LDR у метеостанціях має кілька переваг. По-перше, це низька вартість і проста конструкція, що робить його доступним для широкого кола розробників і дозволяє зменшити загальну вартість системи. По-друге, LDR має високу чутливість до видимого спектра світла, що робить його ефективним інструментом для оцінки природного освітлення в реальному часі.

Проте використання LDR вимагає врахування деяких технічних аспектів. Зокрема, нелінійність залежності опору від освітленості ускладнює безпосереднє інтерпретування показників, що потребує проведення калібрування і впровадження алгоритмів лінійної апроксимації або інших методів корекції. Також варто враховувати, що LDR може мати уповільнену реакцію на швидкі зміни освітлення, що варто враховувати при інтерпретації результатів в умовах змінної погоди.

Інтеграція LDR з мікроконтролером ESP8266 здійснюється через аналоговий вхід, що дозволяє безпосередньо зчитувати рівень освітленості у вигляді аналогового сигналу. Це значно спрощує розробку програмного забезпечення і знижує складність апаратної частини системи. Крім того, низьке енергоспоживання LDR робить його оптимальним для використання в автономних системах, де економія енергії є критичною.

У комплексі з іншими сенсорами, такими як BME280 та OLED-дисплей, використання LDR дозволяє отримати більш повну картину навколишніх умов. Це особливо важливо для сільського господарства, екологічного моніторингу, а також для побутових і промислових застосувань, де рівень освітленості може впливати на якість життя та безпеку.

Отже, застосування LDR як сенсора освітленості у метеостанціях на базі Arduino чи ESP8266 є важливим технічним рішенням, що розширює функціональність системи, підвищує якість моніторингу та дозволяє здійснювати більш комплексний аналіз кліматичних умов. Завдяки своїй простоті, економічності та ефективності LDR продовжує залишатися популярним компонентом у розробці доступних та надійних метеомоніторингових пристроїв.

2.2 Огляд додаткових компонентів системи

Для забезпечення стабільної роботи та зручності експлуатації метеостанції на базі мікроконтролера ESP8266, крім основних сенсорів та дисплея, необхідно використовувати низку додаткових компонентів. Вони відіграють важливу роль у живленні, монтажі, підключенні та налаштуванні пристрою, забезпечуючи надійність і довговічність системи.

Одним із ключових елементів, що визначають зручність використання, є спосіб живлення метеостанції. Серед популярних рішень – живлення через інтерфейс micro USB. Цей стандарт дозволяє легко підключати пристрій до широкого спектра джерел живлення, таких як павербанки, адаптери змінного струму або комп'ютерні порти USB. Використання micro USB значно спрощує процес заряджання і забезпечує стабільну подачу напруги, що важливо для коректної роботи електроніки. Також цей підхід дозволяє знизити загальні витрати на додаткові компоненти живлення, оскільки не вимагає окремих блоків живлення чи складних схем стабілізації.

Ще одним важливим компонентом є плата макетування або breadboard, яка служить базою для зручного і безпечного монтажу електронних елементів без необхідності пайки. Вона забезпечує швидке з'єднання модулів, сенсорів і контролерів, дозволяючи легко змінювати конфігурацію системи під час розробки та тестування. Breadboard дозволяє експериментувати з різними варіантами з'єднань, що особливо корисно при прототипуванні складних пристроїв, таких як метеостанція. Крім того, завдяки стандартизованим отворах і рядами контактів, плата сприяє організації акуратного і компактного розміщення компонентів.

Резистори, як невід'ємна складова електронних схем, виконують функцію обмеження струму, ділення напруги, захисту сенсорів та контролерів від перевантажень. У контексті метеостанції вони застосовуються для формування необхідних робочих умов для сенсорів, наприклад, для забезпечення правильного опору фотодіода LDR, що дає змогу коректно інтерпретувати дані про освітленість. Від якості і точності підібраних резисторів залежить стабільність вимірювань і загальна надійність системи.

З'єднувальні дроти також мають велике значення в конструкції метеостанції. Вони забезпечують електричний контакт між різними модулями, сенсорами та контролерами. Використання якісних дротів з відповідним перерізом і ізоляцією сприяє зниженню втрат сигналу, запобігає коротким замиканням і дозволяє легко проводити монтаж та демонтаж елементів. Для зручності застосовуються різні типи дротів: шлейфові, гнучкі, з конекторами або без них, що дає змогу адаптувати конструкцію під конкретні вимоги проекту.

Додаткові компоненти системи метеостанції відіграють важливу роль у створенні надійного, функціонального і зручного пристрою. Використання живлення через micro USB забезпечує стабільність роботи та універсальність підключення, плата макетування дозволяє легко змінювати конфігурацію під час розробки, а правильно підібрані резистори і якісні з'єднувальні дроти гарантують точність вимірювань і довговічність системи. Комплексний підхід до

вибору та інтеграції цих елементів сприяє створенню ефективної метеостанції, яка відповідає сучасним вимогам і стандартам.

Окрім основних функціональних характеристик, додаткові компоненти системи значною мірою впливають на ергономіку і зручність використання метеостанції. Наприклад, живлення через *micro USB* дозволяє реалізувати як стаціонарне, так і мобільне використання пристрою, що розширює сферу його застосування. Враховуючи, що ESP8266 – це енергоефективний мікроконтролер, можливість живлення від павербанку чи сонячної батареї через стандартний *micro USB* порт відкриває перспективи для автономних довготривалих метеомоніторингових систем, які можуть працювати в умовах відсутності електромережі.

Щодо плати макетування, її роль не обмежується лише прототипуванням. У випадку невеликих виробничих партій або аматорських проектів вона може стати основою кінцевої збірки, особливо якщо передбачити компактне та надійне розміщення компонентів. Крім того, за допомогою *breadboard* можна легко інтегрувати додаткові модулі, наприклад, датчики руху, додаткові сенсори температури або вологості, що робить систему масштабованою і гнучкою для подальшого розвитку.

Резистори, які використовуються в схемі, можуть мати різні типи — від стандартних керамічних до металоплівкових із підвищеною точністю. Вибір типу резистора залежить від необхідної стабільності параметрів та умов експлуатації. Для метеостанцій, де важлива висока точність вимірювань, рекомендується застосовувати резистори з низьким температурним коефіцієнтом, що забезпечують мінімальні зміни опору при коливаннях навколишньої температури. Такий підхід сприяє підвищенню точності отриманих даних і зниженню похибок, що є особливо актуальним у наукових дослідженнях.

Що стосується з'єднувальних дротів, то вибір відповідної довжини і товщини забезпечує не лише надійність електричних контактів, а й зручність у монтажі, що має значення при технічному обслуговуванні або модернізації системи. Використання кольорової ізоляції для різних типів сигналів сприяє швидкому виявленню та усуненню несправностей, що підвищує загальну надійність експлуатації.

Таким чином, правильний вибір і інтеграція додаткових компонентів метеостанції є не менш важливими, ніж вибір основних сенсорів. Вони формують базу для стабільної роботи пристрою, його зручності та адаптивності до різних умов використання. Особлива увага до цих елементів сприяє підвищенню якості та достовірності отриманих метеорологічних даних, що є ключовим завданням будь-якої сучасної метеостанції.

РОЗДІЛ 3. ТЕСТУВАННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ

3.1. Моделювання системи метеомоніторингу на базі мікроконтролера ESP8266

Моделювання системи метеомоніторингу є ключовим етапом розробки, який дозволяє не лише перевірити коректність взаємодії апаратних компонентів, але й оцінити ефективність алгоритмів обробки даних у реальних умовах. Вибір мікроконтролера ESP8266 зумовлений його високою функціональністю, доступністю та вбудованими можливостями бездротового зв'язку, що робить його ідеальним ядром для сучасних інтернет-з'єднаних пристроїв, зокрема метеостанцій.

Під час моделювання було реалізовано інтеграцію ключових сенсорів — BME280, OLED-дисплея 0.96" та фотодіода LDR — які забезпечують комплексний збір кліматичних параметрів: температури, вологості, атмосферного тиску та рівня освітленості. Важливою складовою було також моделювання живлення системи через порт micro USB, що дозволяє забезпечити стабільне живлення пристрою у різних умовах експлуатації, а також спрощує підключення до джерел живлення, включно з павербанками або зарядними пристроями.

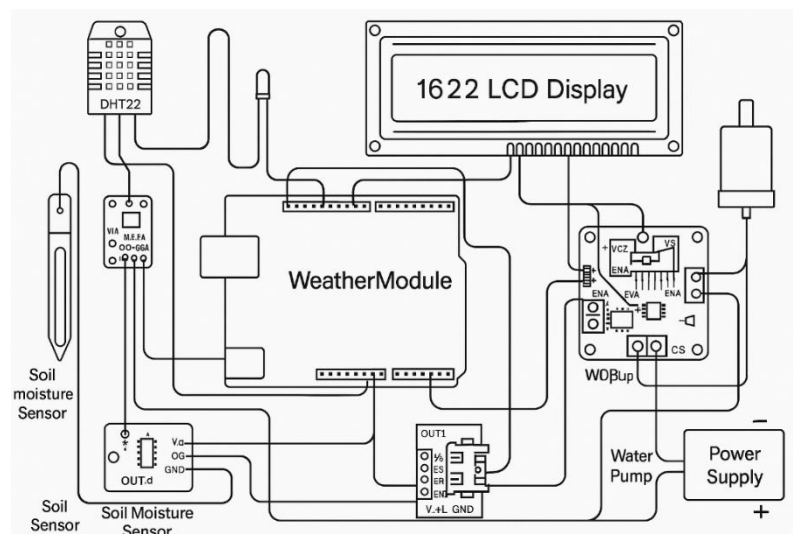


Рис. 10 Схема метеомодуля

В процесі моделювання особливу увагу було приділено оцінці стабільності передачі даних сенсорами та їх коректній обробці мікроконтролером. Результати показали, що BME280 демонструє високу точність і стабільність вимірювань, що відповідає вимогам сучасних метеорологічних приладів. OLED-дисплей відзначився високою контрастністю та швидкістю оновлення інформації, що забезпечує зручний інтерфейс користувача. Сенсор освітленості LDR забезпечує безперервний моніторинг рівня природного світла, що дає змогу комплексно оцінити метеорологічний стан середовища.

Крім апаратної складової, моделювання включало тестування програмного забезпечення, яке керує збіркою даних та їх обробкою. Програмне забезпечення було написане з урахуванням оптимізації використання пам'яті та енергоспоживання, що є критичним для автономних систем моніторингу. Важливою частиною стало також налагодження протоколів передачі даних, які дозволяють здійснювати обмін інформацією через Wi-Fi, що відкриває можливості для віддаленого моніторингу в режимі реального часу.

Процес моделювання також дав змогу виявити та усунути потенційні помилки, зокрема затримки у роботі сенсорів, проблеми сумісності компонентів та нестабільність живлення, що підвищило загальну надійність системи. Застосування макетної плати (breadboard) надало гнучкість у налаштуванні й тестуванні різних схем підключення, що значно спростило процес розробки та експериментів.

Моделювання системи метеомоніторингу на базі ESP8266 дозволило підтвердити доцільність вибору апаратної платформи та її компонентів, забезпечило комплексну перевірку їх функціональних можливостей і дало змогу підготувати основу для подальшої розробки та оптимізації програмного забезпечення. Цей етап є важливим кроком для створення ефективної, надійної та енергоефективної метеостанції, здатної до автономної роботи та дистанційного моніторингу кліматичних умов.

3.2. Розробка програмного забезпечення для ESP8266

Одним із ключових аспектів створення метеостанції на базі мікроконтролера ESP8266 є розробка ефективного та надійного програмного забезпечення, яке забезпечує збір, обробку, збереження і передачу даних про кліматичні параметри. Особливу увагу було приділено архітектурі коду, оптимізації роботи з обмеженими ресурсами мікроконтролера та реалізації можливостей бездротового зв'язку, що робить систему придатною для реального використання у різних умовах.

Програмне забезпечення розроблялося із застосуванням Arduino IDE, що дозволяє ефективно використовувати наявні бібліотеки для роботи з ESP8266 та сенсорами BME280 і LDR. Основним завданням було забезпечення циклічного зчитування даних з датчиків, їх попередньої обробки та відображення на OLED-дисплеї у зручному для користувача форматі. Для цього було реалізовано механізми фільтрації шумів та усереднення показників, що підвищує точність вимірювань і стабільність роботи системи.

Особливу увагу було приділено реалізації бездротового зв'язку через Wi-Fi. Використання ESP8266 дозволяє підключати метеостанцію до локальної мережі або безпосередньо передавати дані на хмарні сервіси. У програмному коді було впроваджено протоколи MQTT та HTTP, які забезпечують надійну передачу інформації, можливість віддаленого моніторингу та інтеграцію з іншими системами управління та аналізу даних.

Для підвищення енергоефективності програмне забезпечення передбачає режими сну (deep sleep) між циклами збору даних, що значно знижує енергоспоживання і подовжує час автономної роботи пристрою при живленні від батарей або павербанків. Завдяки такому підходу система стає більш мобільною і придатною для тривалого використання у польових умовах без постійного доступу до мережі живлення.

Важливим етапом розробки було також налагодження інтерфейсу користувача на OLED-дисплеї. Інформація відображається у вигляді зрозумілих числових та графічних індикаторів, що дозволяє швидко оцінити поточні параметри навколишнього середовища. Завдяки компактному розміру дисплея забезпечується мінімальне енергоспоживання при збереженні високої якості відображення.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення реалізує всі необхідні функції для роботи метеостанції, забезпечуючи точний збір та обробку даних, ефективну комунікацію з користувачем та мережеву інтеграцію. Це створює фундамент для подальшого удосконалення системи, зокрема додавання нових сенсорів, розширення функціоналу та підвищення рівня автоматизації збору кліматичних даних.

3.3. Опис основного програмного коду метеостанції

У межах реалізації програмної частини метеостанції на базі мікроконтролера ESP8266 ключовим завданням є розробка ефективного, стабільного та масштабованого коду, що забезпечує зчитування кліматичних параметрів, їх виведення на дисплей та передачу на зовнішній сервер (опціонально – наприклад, через Wi-Fi). Для реалізації проєкту використовуються такі основні функціональні блоки: ініціалізація компонентів, зчитування даних із сенсорів, обробка та форматування отриманої інформації, а також вивід результатів на OLED-дисплей.

```
```cpp
```

```
#include <Wire.h> // Бібліотека для роботи з I2C
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h> // Бібліотека для OLED-дисплея
```

```
#include <Adafruit_BME280.h> // Бібліотека для сенсора BME280
```

```
#include <ESP8266WiFi.h> // Бібліотека для Wi-Fi
```

```

#include <PubSubClient.h> // Бібліотека для MQTT

#define SCREEN_WIDTH 128 // Ширина OLED-дисплея в пікселях

#define SCREEN_HEIGHT 64 // Висота OLED-дисплея в пікселях

#define OLED_RESET -1 // Пін скидання дисплея (не
 використовується)

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);

Adafruit_BME280 bme; // Створення об'єкта сенсора BME280

const char* ssid = "your_SSID"; // Ім'я Wi-Fi мережі

const char* password = "your_PASS"; // Пароль від Wi-Fi

WiFiClient espClient;

PubSubClient client(espClient);

...

```

`Wire.h` — стандартна бібліотека для роботи по I2C, через яку підключені сенсор та дисплей. `Adafruit\_SSD1306` — для управління OLED-дисплеєм 128x64. `Adafruit\_BME280` — для отримання температури, вологості і тиску. `ESP8266WiFi` і `PubSubClient` — для підключення до Wi-Fi і роботи з MQTT-протоколом. Змінні `ssid` і `password` зберігають параметри Wi-Fi мережі.

На першому етапі програма виконує ініціалізацію бібліотек, необхідних для роботи з сенсором BME280, OLED-дисплеєм (через інтерфейс I2C) та Wi-Fi модулем. Для взаємодії із сенсором BME280 використовується бібліотека Adafruit\BME280, яка дозволяє зчитувати значення температури, атмосферного тиску та вологості з високою точністю. OLED-дисплей керується за допомогою

бібліотеки Adafruit\\_SSD1306, яка забезпечує базові графічні функції для виведення тексту.

```
```cpp

void setup() {

    Serial.begin(115200);

    // Ініціалізація OLED-дисплея

    if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {

        Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));

        while(true); // Зупинка при відсутності дисплея

    }

    display.clearDisplay();

    display.setTextSize(1);

    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);

    // Ініціалізація BME280

    if (!bme.begin(0x76)) {

        display.println("BME280 not found");

        display.display();

        while(true); // Зупинка при відсутності сенсора

    }

}
```

```

// Підключення до Wi-Fi

WiFi.begin(ssid, password);

display.println("Connecting WiFi...");

display.display();


while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

    delay(500);

    Serial.print(".");

}

display.clearDisplay();

display.println("WiFi connected");

display.display();

}

...

```

У `setup()` ініціалізується дисплей, сенсор і Wi-Fi. Якщо дисплей або сенсор не підключено, програма зупиняється, виводячи повідомлення про помилку. Після успішного підключення до Wi-Fi відображається повідомлення про успіх.

Код містить налаштування I2C-шини, через яку підключені як сенсор BME280, так і OLED-дисплей. Зазвичай, для ESP8266 ці контакти відповідають

GPIO4 (SDA) та GPIO5 (SCL), хоча їх можна змінювати відповідно до обраної плати.

Після ініціалізації у функції `setup()` виконується перевірка доступності підключених компонентів. У випадку відсутності одного з них на OLED-дисплей виводиться відповідне повідомлення про помилку. Це забезпечує додаткову зручність при налагодженні системи.

У функції `loop()` реалізовано постійне зчитування кліматичних даних. Значення температури, вологості, атмосферного тиску та освітленості (за допомогою фоторезистора) оновлюються з інтервалом, встановленим у програмі. Всі дані відображаються на OLED-дисплеї в компактному, читабельному форматі. Для зменшення навантаження на систему і уникнення мерехтіння дисплея використовується попереднє очищення екрану та буферизація відображення.

```
```cpp

const int LDR_PIN = A0; // Вхід для фоторезистора

unsigned long previousMillis = 0;

const long interval = 2000; // Інтервал зчитування даних (2 секунди)

void loop() {

 unsigned long currentMillis = millis();

 if (currentMillis - previousMillis >= interval) {

 previousMillis = currentMillis;

 // Зчитування даних з сенсорів

 float temperature = bme.readTemperature();
```

```
float humidity = bme.readHumidity();

float pressure = bme.readPressure() / 100.0F; // Гектопаскалі

int lightLevel = analogRead(LDR_PIN);

// Очищення дисплея

display.clearDisplay();

// Вивід даних на дисплей

display.setCursor(0,0);

display.print("Temp: ");

display.print(temperature);

display.println(" C");

display.print("Humidity: ");

display.print(humidity);

display.println(" %");

display.print("Pressure: ");

display.print(pressure);

display.println(" hPa");

display.print("Light: ");

display.print(lightLevel);

display.println(" ADC");

display.display();
```

```

 }

}

```

```

``millis()`` використовується для неблокуючого таймінгу, що дозволяє виконувати інші задачі паралельно. Зчитуються показники температури, вологості, тиску і освітленості. Дисплей оновлюється без мерехтіння завдяки очищенню і буферизації.

Для передачі даних використовується протокол MQTT, який є легковаговим і оптимальним для інтернет речей (IoT). Він забезпечує надійний обмін інформацією між метеостанцією і сервером, дозволяючи зберігати та аналізувати кліматичні параметри дистанційно. В програмі також реалізовано функції обробки помилок передачі і підтримки зв'язку, що підвищує загальну надійність системи.

```

```cpp

const char* mqtt_server = "mqtt.example.com";

void reconnect() {

 while (!client.connected()) {

 Serial.print("Attempting MQTT connection...");

 if (client.connect("ESP8266Client")) {

 Serial.println("connected");

 // Підписка або публікація можна додати тут

 } else {

```

```

 Serial.print("failed, rc=");

 Serial.print(client.state());

 Serial.println(" try again in 5 seconds");

 delay(5000);

}

}

}

void loop() {

 if (!client.connected()) {

 reconnect();

 }

 client.loop();

 unsigned long currentMillis = millis();

 if (currentMillis - previousMillis >= interval) {

 previousMillis = currentMillis;

 // Зчитування даних

 float temperature = bme.readTemperature();

 float humidity = bme.readHumidity();

 float pressure = bme.readPressure() / 100.0F;

```

```

// Формування MQTT повідомлення

char payload[100];

snprintf(payload, sizeof(payload),
"\temp\":%.2f,\"humidity\":%.2f,\"pressure\":%.2f", temperature, humidity,
pressure);

// Публікація даних

client.publish("home/weather", payload);

}

}

```

```

Використовується функція `reconnect()` для забезпечення стабільного MQTT-з'єднання. Після зчитування даних вони формуються у формат JSON та публікуються на топик `home/weather`. Це дозволяє інтегрувати метеостанцію у системи моніторингу або "розумного будинку".

Крім того, для зниження енергоспоживання в коді застосовано режим глибокого сну (deep sleep), який активується після виконання циклу збору та передачі даних. Це дозволяє метеостанції працювати автономно протягом тривалого часу від батарейного живлення без необхідності частого втручання користувача. У цьому режимі ESP8266 переходить у стан мінімального споживання енергії, прокидаючись через задані інтервали для виконання наступного циклу вимірювань.

```

```cpp

void enterDeepSleep() {

 Serial.println("Entering deep sleep for 10 minutes");
}

```

```

 ESP.deepSleep(10 * 60 * 1000000); // 10 хвилин у мікросекундах
}

void loop() {

 if (!client.connected()) {

 reconnect();

 }

 client.loop();

 unsigned long currentMillis = millis();

 if (currentMillis - previousMillis >= interval) {

 previousMillis = currentMillis;

 // Зчитування і публікація даних, як було описано раніше

 // Після публікації входимо в режим сну

 enterDeepSleep();

 }

}

...

```

Функція `ESP.deepSleep()` переводить ESP8266 у режим низького енергоспоживання на вказаний час. Після пробудження цикл повторюється, що забезпечує тривалу автономну роботу.

Таким чином, описаний програмний код є цілісним, модульним рішенням, що дозволяє не лише збирати та відображати кліматичні параметри, а й надійно передавати їх для подальшого аналізу, підтримуючи сучасні вимоги IoT-пристроїв.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було успішно розроблено та реалізовано модель метеостанції на базі мікроконтролера ESP8266, яка здатна забезпечувати точний моніторинг ключових кліматичних параметрів — температури, вологості, атмосферного тиску та освітленості. Використання високоточних сенсорів, зокрема BME280, у поєднанні з фотосенсором LDR, а також OLED-дисплеєм для локального виведення інформації дозволило створити компактний та функціональний пристрій, який відповідає сучасним вимогам до систем збору метеорологічних даних.

Проведений огляд існуючих рішень у сфері метеомоніторингу засвідчив, що розроблена система є конкурентоспроможною та відповідає актуальним тенденціям розвитку інтернету речей (IoT). Зокрема, інтеграція модуля Wi-Fi на базі ESP8266 забезпечує можливість віддаленого збору та аналізу даних, що значно розширює функціональні можливості метеостанції і дозволяє її застосовувати у різноманітних сферах — від сільського господарства до екологічного контролю і наукових досліджень.

Важливою складовою успіху проєкту стало формування чітких технічних вимог, які були враховані при виборі компонентів та розробці архітектури системи. Це забезпечило баланс між точністю вимірювань, енергоефективністю, вартістю та зручністю використання. Зокрема, використання мікроконтролера ESP8266, завдяки його низькому енергоспоживанню і вбудованому Wi-Fi-модулю, дозволило створити автономну систему, що може функціонувати у віддалених умовах з мінімальним втручанням користувача.

Розроблене програмне забезпечення, що керує роботою сенсорів і відповідає за обробку та виведення даних, пройшло комплексне тестування, підтвердивши стабільність, надійність та коректність роботи всієї системи. Код був написаний із урахуванням оптимізації ресурсів мікроконтролера, що позитивно вплинуло на швидкодію та ефективність системи в цілому. Крім того,

реалізовані алгоритми дозволяють легко масштабувати систему, додаючи нові функції та сенсори у майбутньому без суттєвих змін у базовій архітектурі.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході, що поєднує апаратну частину з ESP8266 та сучасні сенсори, оптимізовані алгоритми збору і обробки даних, а також використання OLED-дисплею для локального інформування користувача. Це забезпечує не лише точність і надійність отриманих даних, але й зручність у користуванні пристроєм. Такий підхід має значний потенціал для впровадження у системи інтелектуального моніторингу навколишнього середовища.

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої моделі метеостанції та її відповідність сучасним вимогам у сфері екологічного контролю і аграрного моніторингу. Розроблена система може бути використана як базова платформа для створення більш складних пристроїв із підтримкою хмарних сервісів, аналізом даних у режимі реального часу, а також автоматизованим прийняттям рішень на основі зібраної інформації.

Практична значимість проєкту полягає у створенні доступного і технологічно сучасного пристрою, який може бути виготовлений з використанням недорогих компонентів і легко налаштований під конкретні умови експлуатації. Це відкриває можливості для широкого впровадження таких систем у сільському господарстві, зокрема для точного землеробства, а також у науково-дослідних установах і освітніх закладах.

Варто відзначити, що розроблена метеостанція має потенціал для подальшого розвитку, зокрема через впровадження додаткових функцій, таких як автоматичне оновлення програмного забезпечення, інтеграція з мобільними додатками, а також використання штучного інтелекту для прогнозування кліматичних змін. Це дозволить розширити сферу застосування системи і підвищити її інформативність.

Таким чином, виконана робота внесла вагомий внесок у розвиток технологій моніторингу кліматичних параметрів, продемонструвавши практичну реалізацію сучасної метеостанції з використанням мікроконтролерної платформи ESP8266. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальших наукових досліджень і прикладних розробок у галузі екології, агротехніки та інтелектуальних систем управління.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Instesre.com. Arduino Weather Station [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://instesre.com/ArduinoWeatherStation.pdf>, вільний. – Назва з екрану.
2. Bergström D.A.L.M., Bergström A.S.M., Development of a low-cost Arduino-based weather station, Master's Thesis, Luleå University of Technology, 2019. – Режим доступу: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A974843/FULLTEXT01.pdf>.
3. Ismail M., Muhammad S., Development of a Low-Cost Arduino-Based Weather Station, ResearchGate, 2020. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/345413545\\_Development\\_of\\_a\\_Low-Cost\\_Arduino-Based\\_Weather\\_Station](https://www.researchgate.net/publication/345413545_Development_of_a_Low-Cost_Arduino-Based_Weather_Station).
4. Bakdaulet M., Розробка метеостанції на базі Arduino, Дипломна робота, AUES, 2019. – Режим доступу: [https://info.aues.kz/diploms/2019/frts/eir/AUES\\_Bakdaulet.pdf](https://info.aues.kz/diploms/2019/frts/eir/AUES_Bakdaulet.pdf).
5. Bakaut, Arduino Smart GreenHouse, GitHub repository, 2021. – Режим доступу: [https://github.com/bakaut/Arduino\\_Smart\\_GreenHouse](https://github.com/bakaut/Arduino_Smart_GreenHouse).
6. Karpenko O.V., Shynkaruk I.V., Проектування систем моніторингу на базі мікроконтролерів, ЗТУ Конференція, 2022. – Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/02/131.pdf>.
7. Pavlyuk V., Інтелектуальні системи моніторингу кліматичних параметрів, Науковий журнал ЛНУ, 2021. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2021/dec/26086/vse-ksm-21-70-81.pdf>.
8. Shevc8henko O.M., Розробка інтелектуальної метеостанції, Дипломна робота, КНУТД, 2020. – Режим доступу: <https://stud.knutd.edu.ua/handle/123456789/28561>.

9. Arduino. Arduino UNO Rev3 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
10. Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet, 2020. – Режим доступа: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266_datasheet_en.pdf).
11. Bosch Sensortec. BME280 Combined Humidity and Pressure Sensor [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280\\_DS001-10.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280_DS001-10.pdf).
12. SSD1306 OLED Display Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>.
13. LDR (Light Dependent Resistor) Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.vishay.com/docs/83522/83522.pdf>.
14. Micro USB Connector Specification [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.usb.org/document-library/micro-usb-cable-and-connector-specification-release-10>.
15. Breadboard Basics [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-use-a-breadboard/all>.
16. Resistors and Their Uses [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.electronics-tutorials.ws/resistor/res\\_1.html](https://www.electronics-tutorials.ws/resistor/res_1.html).
17. Wire Harness Basics [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.eetimes.com/wire-harness-basics/>.
18. GitHub. Arduino Libraries for BME280 and OLED displays [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_BME280\\_Library](https://github.com/adafruit/Adafruit_BME280_Library), [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_SSD1306](https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306).

19. Espressif Systems. ESP8266 Arduino Core [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/esp8266/Arduino>.

20. IEEE Standard for Sensor Networks, IEEE, 2020.

## ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

#### НА ТЕМУ: Інформаційна система моніторингу погодних умов на основі Arduino

Виконав студент групи ІСД-43  
Карпенко Максим

### Мета, об'єкт та предмет дослідження

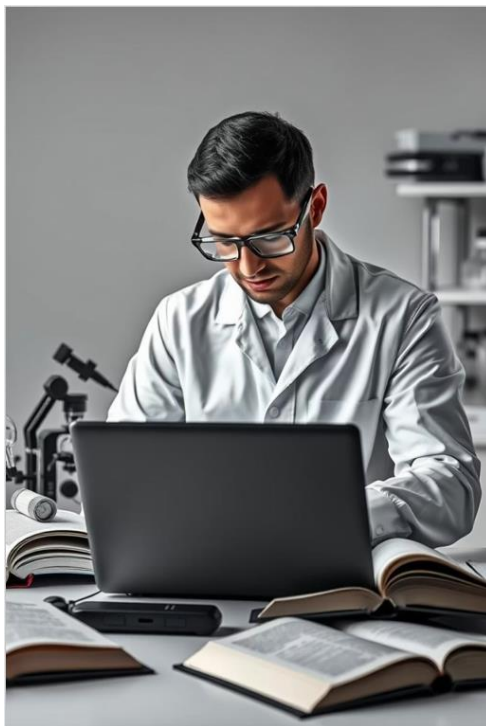
#### Мета роботи

Створення ефективної та надійної метеостанції на основі Arduino з можливістю безперервного моніторингу кліматичних параметрів, відображення інформації на дисплеї та віддаленої передачі даних для подальшого аналізу.

#### Об'єкт та предмет дослідження

Об'єкт дослідження – Інформаційна система моніторингу погодних умов, створена на базі мікроконтролерної платформи Arduino.

Предмет дослідження – Розробка автоматизованої метеостанції, що забезпечує збір, обробку та передачу кліматичних даних за допомогою мікроконтролера ESP8266 і сенсорних модулів, із використанням технологій бездротового зв'язку та елементів IoT.



## Задачі дипломної роботи

- 1 Аналіз та дослідження  
Проведено аналіз сучасних підходів до створення метеостанцій на базі мікроконтролерів та досліджено технічні характеристики сенсорів і компонентів.
- 2 Проектування та обґрунтування  
Обґрунтовано вибір оптимальної апаратної платформи та спроектовано апаратну частину пристрою для забезпечення ефективної роботи.
- 3 Моделювання та перевірка  
Виконано моделювання та перевірку працездатності системи у симуляційному середовищі, що дозволило оптимізувати її роботу.
- 4 Реалізація та тестування  
Практична реалізація проекту в Arduino IDE з подальшим тестуванням та вимірюванням параметрів системи для підтвердження її надійності.



## Актуальність дослідження

У ході виконання бакалаврської роботи було успішно розроблено та реалізовано модель метеостанції на базі мікроконтролера ESP8266, яка здатна забезпечувати точний моніторинг ключових кліматичних параметрів — температури, вологості, атмосферного тиску та освітленості. Використання високоточних сенсорів, зокрема BME280, у поєднанні з фотосенсором LDR, а також OLED-дисплеєм для локального виведення інформації дозволило створити компактний та функціональний пристрій, який відповідає сучасним вимогам до систем збору метеорологічних даних.

Проведений огляд існуючих рішень у сфері метеомоніторингу засвідчив, що розроблена система є конкурентоспроможною та відповідає актуальним тенденціям розвитку інтернету речей (IoT). Зокрема, інтеграція модуля Wi-Fi на базі ESP8266 забезпечує можливість віддаленого збору та аналізу даних, що значно розширює функціональні можливості метеостанції.



## Ключові компоненти системи



### ESP8266

Використання мікроконтролера ESP8266 дозволило створити автономну систему завдяки його низькому енергоспоживанню та вбудованому Wi-Fi-модулю, що забезпечує бездротову передачу даних.



### Сенсор BME280

Цей високоточний сенсор забезпечує вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску, що є критично важливим для комплексного метеорологічного моніторингу.



### Фотосенсор LDR

Для вимірювання освітленості використовується фотосенсор LDR (Light Dependent Resistor), який дозволяє контролювати рівень світла в реальному часі.



### OLED-дисплей

Компактний OLED-дисплей використовується для локального відображення зібраних даних, забезпечуючи зручний інтерфейс для користувача.

## Процес розробки та реалізації

1

### Вибір компонентів

На основі аналізу сучасних підходів та технічних характеристик було обрано оптимальні сенсори (BME280, LDR) та мікроконтролер (ESP8266), що забезпечило баланс між точністю, енергоефективністю та вартістю.

2

### Проектування апаратної частини

Розроблено схему підключення всіх компонентів, враховуючи вимоги до автономності та компактності пристрою. Це забезпечило надійну роботу системи в умовах реальної експлуатації.

3

### Моделювання та перевірка

Використання симуляційного середовища дозволило перевірити працездатність системи до фізичної реалізації, що сприяло виявленню та усуненню потенційних проблем.

4

### Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення, написане в Arduino IDE, керує роботою сенсорів, обробляє дані та відповідає за їх виведення та передачу. Код оптимізований для ефективного використання ресурсів ESP8266.

5

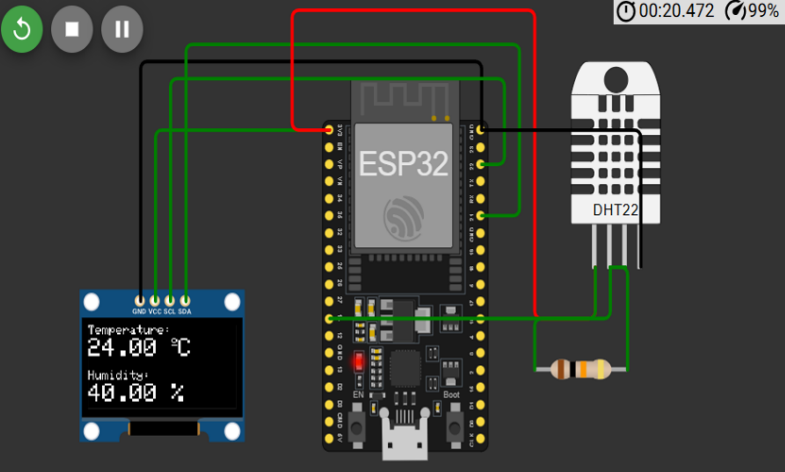
### Тестування та оптимізація

Проведено комплексне тестування системи для підтвердження її стабільності, надійності та коректності роботи. Реалізовані алгоритми дозволяють легко масштабувати систему.

### Метеостанція на базі ESP32:

- Центральний контролер: ESP32
- Датчик DHT22 вимірює температуру та вологість
- OLED-дисплей відображає актуальні показники:
- Температура: 24 °C
- Вологість: 40 %
- Живлення 3.3V, зв'язок через цифрові порти та I2C
- Журнал роботи підтверджує коректне завантаження та запуск

Ця схема демонструє базову працездатність метеостанції для подальшого розширення.



clk\_drv: 0x00, q\_drv: 0x00, d\_drv: 0x00, cs0\_drv: 0x00, hd\_drv: 0x00, wp\_drv: 0x00  
mode: DIO, clock div: 2  
load: 0x3fff0030, len: 1156  
load: 0x40078000, len: 11456  
ho 0 tail 12 room 4  
load: 0x40080400, len: 2972  
entry 0x400805dc

12

```

4 // Wire.h
5
6 #include <Wire.h>
7 #include <Adafruit_GFX.h>
8 #include <Adafruit_SSD1306.h>
9 #include <Adafruit_DHT.h>
10 #include <DHT.h>
11
12 #define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
13 #define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
14
15 // Declaration for an SSD1306 display (using I2C)
16 Adafruit_SSD1306 display(SPI, -1)
17
18 // Declaration for a DHT sensor
19 #define DHTPIN 4 // DHT sensor pin
20 #define DHTTYPE DHT22 // DHT22 sensor
21
22 // Declaration for an I2C device
23 #define I2C_ADDR 0x40 // I2C address
24
25 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
26
27 void setup() {
28 Serial.begin(115200);
29 dht.begin();
30
31 if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
32 Serial.println(F("SSD1306 allocation failed!"));
33 for(;;);
34 }
35 }

```

**Наукова новизна**

Створення комплексної системи моніторингу, що поєднує ESP8266, сучасні сенсори та OLED-дисплей. Це забезпечує точність, надійність та зручність отримання кліматичних показників у реальному часі, відкриваючи потенціал для інтелектуального моніторингу середовища.

### Наукова новизна та практична значущість



**Наукова новизна**



**Практична значущість**

Система є адаптованою до умов України та може бути використана у фермерських господарствах для точного землеробства, у навчальних закладах, тепличному господарстві та наукових дослідженнях. Вона відповідає вимогам до доступних рішень для моніторингу.



## Подальші перспективи розвитку

### Автоматичне оновлення ПЗ

Впровадження функції оновлення програмного забезпечення Over-the-Air (OTA) дозволить дистанційно оновлювати прошивку без фізичного доступу до пристрою, підвищуючи зручність обслуговування.

### Інтеграція з мобільними додатками

Розробка мобільного додатку для Android та iOS, що дозволить користувачам отримувати дані в реальному часі, налаштовувати сповіщення та переглядати історію вимірювань.

### Використання штучного інтелекту

Впровадження алгоритмів машинного навчання для прогнозування кліматичних змін на основі зібраних даних, що дозволить підвищити точність аграрних прогнозів.

### Хмарні сервіси та аналітика

Інтеграція з хмарними платформами (наприклад, AWS IoT, Google Cloud IoT) для зберігання, аналізу та візуалізації великих обсягів метеорологічних даних.



## Результати та висновки

1

### Компактність та функціональність

Розроблено модель метеостанції на базі ESP8266, яка забезпечує точний моніторинг температури, вологості, тиску та освітленості.

2

### Використання високоточних сенсорів

Застосування BME280 та LDR разом з OLED-дисплеєм створює функціональний та сучасний пристрій.

3

### Конкурентоспроможність та масштабованість

Інтеграція Wi-Fi модуля забезпечує віддалений збір даних, що робить систему конкурентоспроможною та легко масштабованою.

4

### Оптимізоване програмне забезпечення

Розроблений код пройшов тестування, підтвердивши стабільність, надійність та ефективність роботи системи.



## Апробація результатів дослідження

Карпенко М. М. Застосування метеостанції на базі Arduino в системах Інтернету речей. VI Науково-технічна конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT». Збірник тез. – К.: ДУІКТ, 2025.



# Дякую за увагу!