

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «ФАХОВИЙ
КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

на тему:

«Організація дистанційної передачі на модулі зв'язку 2.4 GHz даних датчика температури і вологості на екран OLED-дисплея з використанням плати Arduino»

Виконав студент групи ПП-41

Дмитро ПРИНАДА

Керівник проєкту:

Остап ЮНАК

Курсовий проєкт перевірений

і допущений до захисту

“___” _____ 2025 р.

Курсовий проєкт при захисті оцінений

Львів 2025

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА»**

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні циклової комісії
«Фундаментальної підготовки»
Протокол № __ від
_____ 2025 р.
Голова комісії

Богдан ПЕЛЕЩАК

ЗАВДАННЯ

на курсовий проект

Принаді Дмитру Орестовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

з навчальної дисципліни: ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ
INTERNET-РЕЧЕЙ

Студент групи: **ІІІ-41**

1. Тема проекту: Організація дистанційної передачі на модулі зв'язку 2.4 GHz даних датчика температури і вологості на екран OLED-дисплея з використанням плати Arduino.

2. Дата видачі завдання: "22" вересня 2025 р

3. Термін здачі курсового проекту: "15" грудня 2025 р.

4. Вихідні дані до проекту:

4.1. Провести аналіз предметної галузі і вимог (огляд аналогів, функціональні

й нефункціональні вимоги).

4.2. Скласти технічне завдання (ТЗ) з переліком функцій, інтерфейсів і обмежень(див. ДОДАТОК А).

4.3 Підібрати BOM (Bill of Materials) для виконання проекту (див. ДОДАТОК Б).

4.4 Розробити таблицю з'єднань пінів (Pin Connection Table)

використаних

компонентів для реалізації пристрою (див. ДОДАТОК В).

4.5 Реалізувати прошивку на Arduino (коментарі в коді, структура проекту,

використані бібліотеки).

4.6. Зробити на монтажній платі безпечного монтажу прототип розробленого

пристрою на базі Arduino.

4.7. Провести налаштування, калібрування і тестування.

4.8. Підготувати користувацьку інструкцію та технічний звіт (див. ДОДАТОК

Г).

5 Перелік обов'язкових демонстраційних креслень:

5.1 Принципова електрична схема підключення

6. Склад розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань до розробки):

ВСТУП
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
3 АПАРАТНА ЧАСТИНА
4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА
5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ
ВИСНОВКИ
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Календарний план

Назва етапів	Термін виконання	Примітка
Вступ		
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ		
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ		
3 АПАРАТНА ЧАСТИНА		
4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА		
5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ		
Висновки		
Перелік посилань		

Студент

(підпис)

Дмитро ПРИНАДА

(імя та прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Остап ЮНАК

(імя та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ	5
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	9
3 АПАРАТНА ЧАСТИНА.....	11
4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА.....	14
5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ.....	20
ВИСНОВКИ.....	23
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	25
ДОДАТКИ.....	26

ВСТУП

- **Мета роботи** полягає у створенні апаратно-програмного пристрою на основі платформи Arduino, який здатний виконувати визначений набір функцій. У рамках проєкту передбачається підготовка звіту з технічної та конструкторської документації, а також розробка детальної інструкції з експлуатації.
- **Актуальність** теми полягає у значному зростанні попиту на інтеграцію апаратного та програмного забезпечення в сучасних технічних рішеннях. Платформи мікроконтролерів, такі як Arduino, набувають все більшого поширення як у промисловості, так і в освітньому процесі, що підтверджує важливість дослідження в цьому напрямку.

Технологічна та Інженерна Актуальність

- **Поширеність Інтернету речей:** Сучасні системи автоматизації, моніторингу та керування значною мірою базуються на компактних, економічно вигідних і енергоощадних пристроях. Платформа Arduino фактично стала стандартом у сфері швидкого створення прототипів і розробки пристроїв, здатних взаємодіяти з фізичним середовищем, що ідеально відповідає світовому тренду розвитку Інтернету речей.
- **Демократизація інженерної розробки:** Arduino, як відкрита апаратно-програмна платформа, значно спрощує процес входу для новачків у технічних професіях, відкриваючи можливості для інноваційної діяльності.
- **Міждисциплінарний характер:** Процес створення апаратно-програмного пристрою вимагає інтеграції знань із різних галузей,

таких як електроніка, програмування мікроконтролерів (C/C++), теорія керування та розробка інтерфейсів. Це сприяє формуванню широкого спектру інженерних навичок, які відіграють ключову роль у сферах робототехніки, автоматизації та вбудованих систем.

- Реалізація конкретного завдання: Робота спрямована на створення повноцінного функціонального прототипу для моніторингу параметрів, автоматизації або збору даних, а не обмежується теоретичним аналізом. Такий підхід наочно демонструє здатність застосовувати отримані знання на практиці.
- Економічна доцільність: Використання платформи Arduino дозволяє реалізовувати функціональні пристрої з мінімальними витратами часу та матеріальних ресурсів. Це є важливим фактором для освітніх проєктів і стартапів, орієнтованих на інновації. Можливості для розвитку:
- Створений прототип може слугувати відправною точкою для масштабування проєкту, його модернізації чи адаптації до промислових стандартів, що значно підвищує перспективність таких розробок як у науковій сфері, так і для майбутньої комерціалізації.

Таким чином, розробка апаратно-програмного пристрою на базі Arduino є своєчасним, економічно обґрунтованим і високопрактичним дослідженням, що поєднує вивчення сучасних апаратних засобів та формування ключових інженерних компетенцій.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ/АНАЛОГІВ

1.1 Апаратно-програмна платформа Arduino

Arduino - це універсальна платформа з відкритим кодом, призначена для розробки прототипів електронних пристроїв. Вона поєднує в собі зручне у використанні апаратне забезпечення та програмне середовище.

Система складається з фізичної плати з мікроконтролером і інтегрованого середовища розробки (IDE), для написання та завантаження коду.

Історія створення:

Проект Arduino виник у 2005 році в Інституті проектування взаємодії, розташованому в місті Івреа, Італія. Його засновниками стали Массімо Банці, Девід Куартільєс, Том Іго, Джанлука Мартіно та Девід Мелліс. Головною ідеєю створення цієї платформи було надання студентам доступного й зручного інструменту для розробки інтерактивних проєктів, що не вимагав би глибоких технічних знань у сфері схемотехніки.

Причини вибору платформи:

У цій курсовій роботі використовується плата Arduino Uno R3, розроблена на основі мікроконтролера ATmega328P2. Її популярність обумовлена такими ключовими факторами:

- **Доступність:** Низька вартість компонентів;
- **Кросплатформеність:** Середовище розробки працює на Windows, macOS та Linux;
- **Простота:** Зручний інтерфейс програмування через USB без необхідності використання зовнішніх програматорів
- **Відкрита архітектура:** Схеми плат знаходяться у вільному доступі, що дозволяє легко інтегрувати різноманітні датчики та модулі;

1.2 Мова програмування C++ та середовище Arduino IDE

Програмування мікроконтролера виконується мовою C++, використовуючи середовище розробки Arduino IDE, яке застосовує спрощений фреймворк під назвою Wiring.

Фреймворк є набором готових інструментів, бібліотек, шаблонів та правил, які забезпечують структуру для створення програмного забезпечення. Його завдання — полегшити і прискорити процес розробки, усуваючи необхідність писати стандартний код з нуля. Розробники можуть зосередитися на реалізації унікальної логіки продукту, що підвищує ефективність роботи. Фреймворки активно використовуються у створенні програм для вебу, мобільних пристроїв і настільних платформ. C++ — це потужна мова високого рівня з підтримкою об'єктно-орієнтованого підходу.

У середовищі Arduino вона дозволяє оптимально керувати пам'яттю мікроконтролера, здійснювати роботу з апаратними регістрами та одночасно зберігати зрозумілий і зручний синтаксис для програмування.

Програма для Arduino називається «скетчем» (sketch) і має дві обов'язкові функції:

- `setup()` — виконується один раз при запуску для налаштування конфігурації пінів;
- `loop()` — виконується циклічно, реалізуючи основний алгоритм роботи пристрою.

1.3 Принципи роботи використаних сенсорів

Датчик температури та вологості DHT22 (AM2302)

Призначення:

DHT22 використовується для вимірювання **температури повітря та відносної вологості**. Є популярним у навчальних і практичних Arduino-проєктах завдяки простоті підключення та цифровому інтерфейсу.

Основні характеристики:

- Температура: від **-40 до +80 °C**
- Вологість: **0–100 %**
- Точність:
 - температура ± 0.5 °C
 - вологість $\pm 2-5$ %
- Інтерфейс: **однопровідний цифровий**
- Напруга живлення: 3.3–6 V

Принцип роботи:

DHT22 містить **два основні чутливі елементи** та мікроконтролер для обробки сигналів.

Вологість вимірюється за допомогою **ємнісного полімерного сенсора**, електрична ємність якого змінюється залежно від кількості водяної пари в повітрі. Зміна ємності перетворюється у цифрове значення. Температура визначається за допомогою **термістора**, опір якого змінюється при нагріванні або охолодженні. Вбудований контролер оцифровує обидва значення та передає їх у вигляді **цифрового сигналу** до Arduino по одному сигнальному піну, що мінімізує вплив завад і спрощує передачу даних.

Модуль бездротового зв'язку nRF24L01+ (2.4 GHz)

Призначення:

Модуль nRF24L01+ використовується для **дистанційної передачі даних** між двома Arduino на частоті **2.4 GHz** (наприклад, від датчика до приймача з OLED-дисплеєм).

Основні характеристики:

- Частота: **2.4–2.525 GHz**
- Інтерфейс: **SPI**
- Швидкість передачі: до **2 Mbps**
- Дальність:
 - до 30–50 м (звичайна версія)
 - до 1 км (з антеною PA+LNA)
- Напруга живлення: **3.3 V**

Принцип роботи:

nRF24L01+ працює як **радіотрансивер**, тобто може як передавати, так і приймати дані. Arduino надсилає дані температури та вологості через SPI-інтерфейс у вигляді пакетів.

Модуль використовує **частотну модуляцію GFSK** та підтримує апаратну адресацію, CRC-контроль помилок і автоматичне повторне надсилання пакетів.

Завдяки цьому передача даних є стабільною навіть за наявності перешкод. У проєкті один модуль працює як **передавач**, а інший — як **приймач**, що отримує дані та передає їх на дисплей.

OLED-дисплей SSD1306 (0.96", I²C)

Призначення:

OLED-дисплей використовується для **візуального відображення** отриманих значень температури та вологості.

Основні характеристики:

- Роздільна здатність: **128×64 пікселі**
- Інтерфейс: **I²C**
- Колір: білий або синій
- Напруга живлення: 3.3–5 V

Принцип роботи:

OLED-дисплей складається з органічних світлодіодів, які **світяться самостійно**, без підсвічування. Кожен піксель керується контролером SSD1306.

Arduino передає графічні дані через I²C-шину, після чого контролер дисплея формує зображення з символів і графіки. Завдяки відсутності підсвічування OLED-екран має **високий контраст**, мале енергоспоживання та добре читається навіть у темряві.

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

2.1 Назва роботи

Організація дистанційної передачі на модулі зв'язку 2.4 GHz даних датчика температури і вологості на екран OLED-дисплея з використанням плати Arduino.

2.2 Мета роботи

Організувати дистанчну передачу на модулі зв'язку 2.4 GHz даних датчика температури і вологості на екран OLED-дисплея з використанням плати Arduino.

2.3 Завдання

- Ознайомитись з інструкцією до практичної роботи;
- Ознайомитись із принциповою електричною схемою охоронний пристрою на Arduino Uno;
- Зібрати на монтажній платі цифрову схему охоронного пристрою згідно електричної принципової схеми
- Написати скетч роботи пристрою на Arduino Uno;

2.4 Технічні вимоги

- 5 В постійного струму;
- Arduino Uno;
- Breadboard (безпайкова макетна плата);
- OLED SSD1306;
- DHT22;
- nRF24L01+;
- З'єднувальні провідники типу «тато-тато» та «тато-мама»

2.5 Очікуваний результат

Загальна схема пристрою складається з передавального та приймального вузлів, які обмінюються даними по бездротовому каналу зв'язку на частоті 2.4 GHz.

У передавальному вузлі плата Arduino зчитує показники температури та відносної вологості з датчика DHT22, перетворює їх у цифровий формат і формує пакет даних. Сформована інформація передається на радіомодуль nRF24L01+, який здійснює бездротову передачу даних. На приймальному боці інший модуль nRF24L01+ приймає радіосигнал і передає дані на Arduino, де вони обробляються та виводяться у зручному для користувача вигляді на OLED-дисплей.

Таким чином забезпечується дистанційне вимірювання та відображення параметрів мікроклімату в реальному часі.

3 АПАРАТНА ЧАСТИНА

3.1 Підбір BOM

BOM, що розшифровується як Bill of Materials, являє собою детальний перелік матеріалів, комплектуючих і компонентів, необхідних для збирання пристрою чи виготовлення певного виробу. Часто такий перелік оформлюється у вигляді таблиці, в якій упорядковано всі позиції, що будуть потрібні для реалізації конкретного проєкту.

У цьому списку, зазвичай, зазначаються найменування деталей, їх кількість, технічні характеристики, а також інші важливі дані, що полегшують процес закупівлі і виробництва. BOM служить основою для планування ресурсів, забезпечення точності виконання проєкту і раціонального ведення виробничих процесів.

Таблиця 3.1.1 Перелік необхідних компонентів

№	Назва компонента	Кількість	Позначення на схемі	Характеристики	Примітка
1	Arduino Uno	1	U1	Мікроконтролер ATmega328P	Основна плата керування
2	Плата breadboard	1	-	830 точок, безпайкова	Безпайна плата для створення конструкції
3	DHT22	1	DHT1	Temp/Humidity Sensor, 5 В	Вимірює температуру та вологість
4	nRF24L01+	1	nRF1	Wireless module, 2.4 GHz	Забезпечує бездротову передачу даних

№	Назва компонента	Кількість	Позначення на схемі	Характеристики	Примітка
5	OLED SSD1306	1	U2	128×64 пікселі, I2C інтерфейс	Відображає отриману інформацію
6	Провідники	20	-	Dupont (Male-Male, Male-Female)	Електричні з'єднання

Таблиця 3.1.2 Таблиця з'єднань пінів

№	Компонент	Вивід компонента	З'єднано з піном Arduino	Примітка / Функція
1	DHT22	VCC	5V	Живлення
		DATA	Digital Pin 2	Шина даних
		GND	GND	Земля
2	nRF24L01+	VCC	3.3V	Живлення
		MISO	Digital Pin 8	Вихід даних
		MOSI	Digital Pin 9	Вхід даних
		SCK	Digital Pin 10	Тактовий сигнал
		GND	GND	Земля
3	LCD 1602 (I2C)	GND	GND	Земля
		VCC	5V	Живлення
		SDA	Pin A4 (або SDA)	Шина даних I2C
		SCL	Pin A5 (або SCL)	Шина тактування I2C
		Катод (-)	GND	

4 ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

Програмне забезпечення для мікроконтролера було розроблено в середовищі **Arduino IDE** з використанням мови програмування **C++**. У процесі реалізації застосовувалися стандартні бібліотеки **Wiring**, а також спеціалізовані бібліотеки **Wire.h**, **Adafruit_SSD1306.h**, **DHT.h** та **RF24.h**, які забезпечують роботу з OLED-дисплеєм, датчиком температури і вологості та модулем бездротового зв'язку 2.4 GHz відповідно.

Алгоритм роботи системи базується на періодичному вимірюванні температури та вологості датчиком DHT22, передачі отриманих даних по радіоканалу за допомогою модуля nRF24L01+ та подальшому відображенні інформації на OLED-дисплеї приймального вузла.

4.1 Опис алгоритму роботи

Для забезпечення роботи OLED-дисплея через інтерфейс I2C використовується бібліотека **Adafruit_SSD1306**, а для зчитування параметрів мікроклімату — бібліотека **DHT**. Обмін даними між Arduino та радіомодулем nRF24L01+ здійснюється через SPI-інтерфейс за допомогою бібліотеки **RF24**. Для зручності та наочності номери пінів оголошені у вигляді іменованих констант.

Після подачі живлення виконується ініціалізація дисплея, датчика DHT22 та модуля бездротового зв'язку. На OLED-екрані відображається повідомлення про готовність системи.

У головному циклі програма зчитує значення температури та вологості, формує структуру даних і передає її по радіоканалу. На приймальному боці отримані значення обробляються та виводяться на дисплей у реальному часі з невеликою затримкою для стабільності вимірювань.

4.2 Код програми

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <RF24.h>

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64

#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -
1);
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

const byte address[6] = "NODE1";

struct DataPacket {
  float temp;
  float hum;
};

DataPacket data;

void setup() {
  Wire.begin();
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);

  radio.begin();
  radio.openReadingPipe(0, address);
  radio.startListening();

  display.setCursor(0, 0);
  display.print("System ready");
  display.display();
  delay(1500);
}
```

```
void loop() {  
  if (radio.available()) {  
    radio.read(&data, sizeof(data));  
  
    display.clearDisplay();  
    display.setCursor(0, 0);  
    display.print("Temp: ");  
    display.print(data.temp);  
    display.print(" C");  
  
    display.setCursor(0, 16);  
    display.print("Hum: ");  
    display.print(data.hum);  
    display.print(" %");  
  
    display.display();  
  }  
  delay(300);  
}
```

5 ТЕСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

5.1 Підготовка до тестування

Функціональна перевірка розробленого пристрою дистанційного моніторингу температури та вологості повітря проводилася у два основні етапи. На першому етапі здійснювалася перевірка правильності монтажу апаратної частини, на другому — тестування програмного забезпечення та бездротового каналу передачі даних.

Перед подачею живлення було виконано візуальний огляд макетних плат передавального та приймального вузлів з метою виявлення можливих помилок підключення.

Перевірено коректність під'єднання датчика температури і вологості DHT22, зокрема відповідність виводів VCC, DATA та GND. Особливу увагу приділено живленню модуля nRF24L01+, який підключався до стабілізованої лінії 3.3 V. Також перевірено правильність підключення OLED-дисплея по інтерфейсу I2C через лінії SDA та SCL і надійність з'єднань провідників на макетній платі.

5.2 Процес тестування

Після підключення плати Arduino до персонального комп'ютера через USB-інтерфейс було виконано компіляцію та завантаження програмного коду до мікроконтролера. Тестування здійснювалося в робочому режимі дистанційної передачі даних між двома вузлами.

Після запуску системи на OLED-дисплеї приймального вузла відображалось повідомлення про готовність пристрою до роботи. Передавальний вузол з заданим інтервалом зчитував значення температури та відносної вологості з датчика DHT22 і передавав їх по бездротовому каналу зв'язку 2.4 GHz за допомогою модулів nRF24L01+. Приймальний вузол отримував дані, обробляв їх та відображав поточні значення

температури (у градусах Цельсія) та вологості (у відсотках) на OLED-дисплеї в реальному часі.

Для перевірки коректності роботи системи змінювалися умови навколишнього середовища, зокрема шляхом підвищення температури біля датчика та збільшення вологості повітря. Зміни показників коректно передавалися та відображалися на дисплеї без помітних затримок або втрати даних.

5.3 Результати

У процесі тестування були отримані такі результати:

- **Точність вимірювань:** датчик DHT22 забезпечує стабільні показники температури та вологості з похибкою в межах заявлених технічних характеристик;
- **Надійність передачі:** бездротовий канал зв'язку на частоті 2.4 GHz працює стабільно на відстані до кількох десятків метрів у межах приміщення без втрати пакетів даних;
- **Індикація:** інформація на OLED-дисплеї відображається чітко, з високою контрастністю та хорошою читабельністю;
- **Стабільність роботи:** система функціонує без збоїв при тривалій роботі та одночасному використанні датчика, радіомодуля і дисплея.

5.4 Висновки

Результати тестування підтверджують коректну та стабільну роботу розробленої системи дистанційного вимірювання температури та вологості повітря.

Реалізовано надійну бездротову передачу даних на частоті 2.4 GHz та їх відображення на OLED-дисплеї у режимі реального часу. Розроблений пристрій повністю відповідає поставленому технічному завданню та може використовуватися як діючий прототип системи моніторингу мікроклімату.

ВИСНОВКИ

Під час виконання курсової роботи було успішно спроектовано та реалізовано макет системи дистанційного моніторингу температури та вологості повітря на базі мікроконтролерної платформи Arduino. Розроблений пристрій забезпечує вимірювання параметрів мікроклімату, їх бездротову передачу на частоті 2.4 GHz та відображення результатів на OLED-дисплеї у режимі реального часу.

– **Апаратна складова:** Проведено аналіз принципів побудови систем моніторингу з використанням цифрових датчиків навколишнього середовища. Реалізовано коректну взаємодію датчика температури і вологості DHT22 з мікроконтролером Arduino, а також організовано бездротовий канал зв'язку за допомогою модуля nRF24L01+. Застосування інтерфейсу I2C для підключення OLED-дисплея дозволило спростити електричну схему та оптимізувати використання портів мікроконтролера.

– **Програмна складова:** Розроблено програмний алгоритм мовою C++, який забезпечує стабільне зчитування даних із датчика, формування та передачу пакетів інформації по радіоканалу, а також коректне відображення отриманих значень на дисплеї. Використання спеціалізованих бібліотек (DHT, RF24, Wire, Adafruit_SSD1306) значно спростило реалізацію функцій обміну даними та індикації.

– **Працездатність системи:** У процесі тестування підтверджено відповідність роботи пристрою поставленому технічному завданню. Система працює стабільно, забезпечує надійну передачу даних без втрат у межах приміщення та коректно реагує на зміну параметрів температури й вологості.

– **Освітній аспект:** Виконання курсової роботи сприяло закріпленню практичних навичок роботи з мікроконтролерними системами, цифровими датчиками та бездротовими модулями зв'язку.

5.5 Перспективи розвитку

Розроблений пристрій є базовим прототипом і має великий потенціал для вдосконалення та інтеграції в системи «Розумний дім» або промисловий моніторинг мікроклімату. Основні напрями подальшого розвитку включають:

- **Дистанційне сповіщення:** інтеграція GSM-модуля (SIM800L) або Wi-Fi модуля (ESP8266/ESP32) дозволить відправляти повідомлення власнику через SMS, електронну пошту або месенджери при досягненні критичних значень температури чи вологості.
- **Розширене відображення та контроль:** можливість підключення додаткових сенсорів (наприклад, датчиків CO₂ або освітленості) та використання більшого OLED- або TFT-дисплея для відображення розширеної інформації.
- **Енергонезалежність:** застосування літій-іонних акумуляторів із зарядним модулем та оптимізація програмного забезпечення (режим сну) забезпечить тривалу автономну роботу пристрою.
- **Логування та аналітика:** підключення модуля RTC та SD-карти дозволить вести історію вимірювань температури та вологості із зазначенням дати та часу, що дає змогу проводити аналіз змін мікроклімату.
- **Конструктивне виконання:** перенесення електронної схеми з макетної плати на друковану плату (PCB) та створення захисного корпусу методом 3D-друку забезпечать надійність, зручність експлуатації та стійкість до зовнішніх факторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- **Блум Д. Вивчаємо Arduino:** інструменти та методи технічного чарівництва / Джеремі Блум. — К.: БХВ, 2016. — 336 с.
- **Шилдт Г. С++:** базовий курс / Герберт Шилдт. — 3-тє вид. — М.: Вільямс, 2019. — 624 с.
- **Alvins, V.** Mastering Arduino Programming (2021). *Призначення: Програмування мікроконтролерів, синтаксис C/C++.*
- **Schwartz, M.** Arduino Electronics Blueprints (2019). *Призначення: Інтеграція компонентів, використання бібліотек, створення скетчів.*
- **Axelson, D.** Embedded Systems Design (2020). *Призначення: Фундаментальні основи проектування вбудованих систем, архітектура.*