

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Автоматизації, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніки

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

Розроблення системи контролю мікроклімату у приміщенні із застосуванням  
ІоТ-технологій

(тема)

Виконав:

студент 4 курсу, групи АКТСІ-20-3

Дзюба С. С.

Спеціальності 151 – Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології,

освітньої програми «Системна інженерія»

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Системна інженерія

Керівник Янушкевич Д.А.

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

Харків – 2024

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет	АКТ
Кафедра	КІТАР
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Спеціальність	151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньої програми «Системна інженерія»
Тип програми	Освітньо-професійна
Освітня програма	Системна інженерія (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ: Невлюдов І. Ш  
Зав. кафедри КІТАР \_\_\_\_\_  
(підпис)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Дзюбі Сергію Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Розроблення системи контролю мікроклімату у приміщенні із застосуванням IoT-технологій

Затверджена наказом № 545 СТ від 03.06.2024

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 21.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Arduino IDE. Використані датчики: DHT22

MH-Z19B, BH1750. Передача даних про стан мікроклімату в приміщенні на дисплей. Автоматичне вирівнювання стану мікроклімату при відхиленні від норми.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз сучасного стану IoT-технологій; 4.3 Аналіз систем моніторингу контролю та управління мікрокліматом із застосуванням IoT-технологій; 4.4 Проектування системи моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням IoT-технологій; 4.5 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt). – с. Формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи	от 20.05.2024 до 23.05.2024	Виконано
2	Аналіз сучасного стану IoT-технологій	от 23.05.2024 до 28.05.2024	Виконано
3	Аналіз систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням IoT-технологій	от 28.05.2024 до 04.06.2024	Виконано
4	Проектування системи моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням IoT-технологій	от 04.06.2024 до 10.06.2024	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	от 10.06.2024 до 15.06.2024	Виконано
6	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	24.06.2024	Виконано

Дата видачі завдання 12.04.2024 р.

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дзюба С. С.

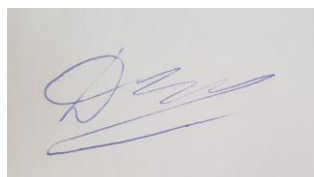
\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я та по батькові)

доц. каф. КІТАР Янушкевич Д. А.

\_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я та по батькові)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) незголену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"24" червня 2024 р.

A rectangular area containing a handwritten signature in blue ink. The signature is stylized and appears to be 'Dzyuba S. S.'.

Дзюба С. С.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 91 с., 8 рис., 20 табл., 30 джерел.

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТУ У ПРИМІЩЕННІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ.

Мета роботи – розробка автоматизованої системи контролю мікроклімату у підземних дитячих садочках та школах з використанням ІоТ-технологій.

Об'єкт розробки – контроль мікроклімату у підземних дитячих садочках та школах.

Предмет розробки – автоматизована система контролю мікроклімату на базі мікроконтролера Arduino із застосуванням ІоТ-технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз сучасних систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням ІоТ-технологій;
- розробка архітектури автоматизованої системи контролю мікроклімату;
- вибір апаратних засобів автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні;
- розробка структури контролера системи та керування виконавчими приладами системи;
- розробка алгоритмів побудови системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні;
- вибір та розробка програмного забезпечення для контролю параметрів мікроклімату;
- реалізація автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні із застосуванням ІоТ-технологій;
- забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання в підземних приміщеннях.

## ABSTRACT

The explanatory note contains: 91 p., 8 fig., 20 tab., 30 sources.

### DEVELOPMENT OF AN AUTOMATION SYSTEM FOR CLIMATE CONTROL IN PREMISES USING IOT TECHNOLOGIES.

The purpose of the work is to develop an automated climate control system in underground kindergartens and schools using IoT technologies to ensure optimal conditions for children and to improve the efficiency of climate management. The object of development is the process of climate control in a room. The subject of the development is methods and algorithms for implementing a climate control system based on the Arduino microcontroller. To achieve the goal, the following tasks must be solved:

- analysis of modern systems for monitoring, controlling, and managing the microclimate using IoT technologies;
- development of the architecture of an automated climate control system;
- selection of hardware for the automated system of climate control parameters in the room;
- development of the structure of the system controller and control of the system's actuators;
- development of algorithms for building a climate control system in the room;
- selection and development of software for climate control parameters;
- implementation of an automated climate control system in the room using IoT technologies;
- ensuring a stable Wi-Fi connection in underground premises.

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналіз сучасного стану іот-технологій.....	11
1.1 Безпроводові ІоТ-технології .....	12
1.2 Радіоканали передачі даних .....	20
1.3 Архітектура побудови ІоТ-технологій.....	23
1.3.1 Локальна складова системи.....	24
1.3.2 Хмарна частина системи .....	28
1.4 Аналіз системи нормативного забезпечення ІоТ-технологій.....	30
1.5 Висновок до розділу .....	32
2 Аналіз систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням іот-технологій .....	34
2.1 Аналіз систем технічного забезпечення .....	35
2.2 Аналіз систем програмного забезпечення.....	38
2.3 Архітектура побудови автоматизованої системи контролю мікроклімату із застосуванням ІоТ-технологій .....	42
2.3.1 Приклади використання в підземних школах і дитячих садках .....	46
2.4 Висновок до розділу .....	49
3 Проектування системи моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням іот-технологій.....	51
3.1 Апаратні засоби автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні.....	52
3.2 Структура контролеру системи та керування виконавчими приладами системи.....	59
3.3. Алгоритми побудови системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні.....	60
3.4 Програмне забезпечення системи для контролю параметрів мікроклімату .....	63

3.5 Реалізація автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні із застосуванням IoT-технологій .....	68
3.6 Висновок до розділу .....	77
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	79
4.1 Аналіз існуючих ризиків і заходів безпеки .....	79
4.2 Висновок до розділу .....	81
Висновки .....	82
Перелік джерел посилання .....	84
Додаток А Лістинг коду контролера .....	87
Додаток Б Демонстраційний матеріал .....	88
Додаток В Відомість кваліфікаційної роботи .....	89

## ВСТУП

Сучасний світ стикається з низкою складних викликів у сфері забезпечення комфортних умов життя та роботи, серед яких особливе місце посідає проблема контролю мікроклімату в приміщеннях. Оптимальні умови мікроклімату є ключовими для забезпечення здоров'я та ефективності людей, особливо в таких специфічних умовах, як підземні дитячі садочки та школи. Неправильний рівень температури, вологості, загазованості та освітлення може негативно впливати на здоров'я та самопочуття дітей, тому контроль мікроклімату у цих приміщеннях має першочергове значення.

Розроблення автоматизованої системи контролю мікроклімату із застосуванням IoT-технологій є важливим кроком у напрямку забезпечення оптимальних умов перебування дітей та підвищення ефективності управління мікрокліматом. Інноваційні рішення в цій галузі дозволяють автоматизувати процес моніторингу та регулювання параметрів мікроклімату, забезпечуючи стабільні та комфортні умови у приміщеннях. Використання IoT-технологій відкриває нові можливості для інтеграції різноманітних сенсорів і виконавчих пристроїв у єдину систему, що дозволяє оперативно реагувати на зміни умов та підтримувати необхідні параметри мікроклімату.

Мета роботи – розробка автоматизованої системи контролю мікроклімату у підземних дитячих садочках та школах з використанням IoT-технологій.

Об'єкт розробки – контроль мікроклімату у підземних дитячих садочках та школах.

Предмет розробки – автоматизована система контролю мікроклімату на базі мікроконтролера Arduino із застосуванням IoT-технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз сучасних систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням IoT-технологій;
- розробка архітектури автоматизованої системи контролю мікроклімату;

- вибір апаратних засобів автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні;
- розробка структури контролера системи та керування виконавчими приладами системи;
- розробка алгоритмів побудови системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні;
- вибір та розробка програмного забезпечення для контролю параметрів мікроклімату;
- реалізація автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні із застосуванням IoT-технологій;
- забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання в підземних приміщеннях.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], та керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3].

## 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІоТ-ТЕХНОЛОГІЙ

Інтернет речей (Internet of Things, ІоТ) є однією з найбільш перспективних технологій сучасності, яка змінює спосіб взаємодії людей з навколишнім середовищем. Використання ІоТ-технологій дозволяє забезпечити підвищення ефективності різних процесів, покращення якості життя та створення нових можливостей для бізнесу і суспільства в цілому.

ІоТ передбачає інтеграцію фізичних пристроїв з Інтернетом, що дозволяє їм обмінюватися даними та виконувати різні завдання автоматично або з мінімальним втручанням людини. Основними компонентами ІоТ-систем є датчики, виконавчі пристрої, мережеві технології та програмне забезпечення для обробки даних.

На сьогоднішній день ІоТ активно впроваджується в різних галузях: промисловості, сільському господарстві, охороні здоров'я, розумних містах та будинках. Ринок ІоТ продовжує зростати, і, за прогнозами аналітиків, кількість підключених пристроїв досягне мільярдів у найближчі роки. Це обумовлено зниженням вартості датчиків, розвитком бездротових технологій та зростанням обчислювальних потужностей.

Попри очевидні переваги, впровадження ІоТ-технологій стикається з низкою викликів, серед яких варто виділити питання безпеки даних, стандартизації протоколів зв'язку, енергозабезпечення пристроїв та інтеграції різних систем. Також важливим аспектом є забезпечення приватності користувачів, оскільки збір та обробка великої кількості даних можуть становити загрозу конфіденційності.

Перспективи розвитку ІоТ пов'язані з подальшим удосконаленням технологій штучного інтелекту, машинного навчання та великих даних. Впровадження цих технологій дозволить створювати більш інтелектуальні та автономні системи, здатні приймати рішення на основі аналізу великої кількості

інформації в реальному часі. Також очікується розвиток технологій зв'язку, таких як 5G, які забезпечать більш високу швидкість та надійність передачі даних.

Для кращого розуміння ролі та можливостей IoT-технологій у системах контролю мікроклімату необхідно проаналізувати їхній сучасний стан, розглянути ключові аспекти та технологічні рішення, які застосовуються в цій галузі. Особливу увагу слід приділити безпроводовим IoT-технологіям, які дозволяють створювати гнучкі та масштабовані системи. Радіоканали передачі даних відіграють важливу роль у забезпеченні стабільного та надійного зв'язку між компонентами системи.

Крім того, важливо розглянути архітектуру побудови IoT-технологій, яка включає в себе різні рівні взаємодії між пристроями, платформами та сервісами. Це дозволяє зрозуміти, як саме відбувається обмін даними та керування у таких системах. Аналіз системи нормативного забезпечення IoT-технологій є також важливим етапом, оскільки забезпечує дотримання стандартів і вимог безпеки, що є ключовим для успішної реалізації IoT-рішень.

Таким чином, далі розглянемо більш детально кожен з цих аспектів:

### 1.1 Безпроводові IoT-технології

Інтернет речей (IoT) швидко розвивається, дозволяючи підключати безліч пристроїв до мережі для збору та обміну даними. Безпроводові технології є основою IoT, забезпечуючи з'єднання між пристроями без необхідності використання проводів. Нижче розглянуто основні безпроводові технології, які використовуються в IoT.

Однією з ключових технологій, що забезпечує зв'язок між пристроями Інтернету речей, є Wi-Fi. Цей стандарт бездротового зв'язку широко використовується у повсякденному житті, і його застосування в IoT відкриває нові можливості для створення розумних будинків, промислової автоматизації та розвитку розумних міст.

Wi-Fi є однією з найпоширеніших технологій для з'єднання IoT-пристроїв. Вона забезпечує високу швидкість передачі даних і широке покриття, що робить її ідеальною для додатків, які вимагають передачі великого обсягу даних, таких як відеоспостереження або потокова передача даних.

Wi-Fi – це технологія бездротового зв'язку, що використовує радіохвилі для передачі даних між пристроями. Вона працює на частотах 2.4 ГГц та 5 ГГц, забезпечуючи високу швидкість передачі даних та широке покриття. Wi-Fi використовується в багатьох IoT-пристроях, таких як смарт-камери, розумні термостати, розумні замки та інші. Wi-Fi технологія постійно розвивається, існують різні стандарти, які забезпечують різні швидкості передачі даних та функціональність. Основні стандарти Wi-Fi включають: 802.11b (перший широко розповсюджений стандарт, забезпечує швидкість до 11 Мбіт/с), 802.11g (наступний стандарт, який забезпечує швидкість до 54 Мбіт/с), 802.11n (Wi-Fi 4) (значне покращення, швидкість до 600 Мбіт/с, використання технології MIMO), 802.11ac (Wi-Fi 5) (ще більш висока швидкість, до 1300 Мбіт/с, використання ширшого каналу та технології MU-MIMO) та 802.11ax (Wi-Fi 6) (найновіший стандарт, швидкість до 9.6 Гбіт/с, використання технології OFDMA для більш ефективного використання каналу). Wi-Fi знайшов широке застосування в IoT, включаючи розумний дім (для з'єднання різних розумних пристроїв), промисловий IoT (для моніторингу та управління промисловим обладнанням) та розумні міста (для створення мереж громадського Wi-Fi, моніторингу дорожнього руху, управління освітленням та інших міських систем) [4].

#### Переваги Wi-Fi для IoT:

– висока швидкість передачі даних: Wi-Fi забезпечує високі швидкості передачі даних, що особливо важливо для застосунків, які потребують швидкого обміну великими обсягами інформації. Сучасні стандарти Wi-Fi, такі як Wi-Fi 6 (802.11ax), можуть забезпечувати швидкості до 9.6 Гбіт/с, що робить їх ідеальними для стрімінгу відео у високій роздільній здатності, відеоконференцій та інших застосунків з високими вимогами до пропускну здатності;

– широке покриття: Wi-Fi забезпечує досить широке покриття, що дозволяє підключати пристрої на значних відстанях від маршрутизатора. В середньому, радіус дії Wi-Fi складає до 100 метрів на відкритому просторі та до 30 метрів в приміщеннях, що робить цю технологію зручною для використання в будинках, офісах та на промислових об'єктах;

– підтримка великої кількості пристроїв: Сучасні Wi-Fi мережі можуть підтримувати велику кількість підключених пристроїв одночасно. Це особливо важливо для IoT, де кількість підключених сенсорів і пристроїв може бути дуже великою. Wi-Fi 6, зокрема, використовує технології MU-MIMO (Multi-User Multiple Input Multiple Output) та OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), що дозволяє ефективно обслуговувати багато пристроїв одночасно;

– легкість інтеграції та налаштування: Wi-Fi є широко розповсюдженою технологією з великою кількістю доступних пристроїв і аксесуарів. Інтеграція Wi-Fi в IoT пристрої зазвичай не вимагає значних зусиль і може бути виконана швидко і легко. Крім того, більшість споживачів знайомі з Wi-Fi, що спрощує налаштування та використання.

#### Недоліки Wi-Fi для IoT:

– високе енергоспоживання: Одним з основних недоліків Wi-Fi є його високе енергоспоживання, що робить цю технологію менш підходящою для пристроїв, що працюють на батареях. Це особливо важливо для багатьох IoT пристроїв, які часто мають обмежену ємність батареї і повинні працювати автономно протягом тривалого часу;

– можливість перешкод від інших Wi-Fi мереж і електронних пристроїв: Wi-Fi працює на загальнодоступних частотах, що означає, що він може піддаватись впливу перешкод від інших Wi-Fi мереж та електронних пристроїв, таких як мікрохвильові печі, бездротові телефони тощо. Це може призводити до зниження продуктивності мережі та нестабільності з'єднання, особливо в густонаселених районах або промислових зонах;

– питання безпеки: Хоча Wi-Fi технології постійно розвиваються і включають сучасні методи шифрування, питання безпеки залишаються

важливими. Неправильно налаштовані або застарілі Wi-Fi мережі можуть бути вразливими до атак, що ставить під загрозу конфіденційність і цілісність даних. З цієї причини необхідно постійно оновлювати програмне забезпечення і використовувати сучасні методи захисту;

– залежність від інфраструктури: Для належного функціонування Wi-Fi необхідна відповідна інфраструктура, включаючи маршрутизатори, точки доступу та інші компоненти мережі. Це може збільшити витрати на впровадження і підтримку мережі, особливо в великих масштабах або в середовищах з високими вимогами до надійності і продуктивності. [5]

На відміну від Wi-Fi, Bluetooth та BLE добре підходять для з'єднання пристроїв на коротких відстанях, зазвичай до 10 метрів. Це робить їх ідеальними для застосунків, де пристрої розташовані близько один до одного, наприклад, у розумному будинку або в системі моніторингу стану здоров'я пацієнта. Крім того, Bluetooth є широко розповсюдженою технологією, підтримуваною багатьма виробниками електроніки, що забезпечує високу сумісність з різними пристроями.

Для застосунків, де розмір пристроїв та енергоспоживання є критичними факторами, Bluetooth та його низькоенергетична версія BLE (Bluetooth Low Energy) пропонують ефективне рішення. BLE, зокрема, вирізняється надзвичайно низьким енергоспоживанням, що дозволяє пристроям працювати від батареї протягом тривалого часу. Це робить його ідеальним вибором для носимих пристроїв, медичних датчиків та інших застосунків, де важлива автономність роботи.

Переваги Bluetooth і BLE для IoT:

– низьке енергоспоживання (BLE): Однією з головних переваг BLE є його надзвичайно низьке енергоспоживання. На відміну від класичного Bluetooth, який був розроблений для тривалого обміну великими обсягами даних, BLE оптимізований для передачі невеликих пакетів даних з мінімальним використанням енергії. Це дозволяє пристроям працювати від батареї протягом

місяців або навіть років без необхідності підзарядки, що робить BLE ідеальним для носимих пристроїв, сенсорів та інших IoT-гаджетів;

– підходить для коротких відстаней: Bluetooth технологія добре підходить для з'єднання пристроїв на коротких відстанях, зазвичай до 10 метрів, хоча в деяких випадках може досягати до 100 метрів в залежності від потужності передавача та умов середовища. Це робить її ідеальною для використання в приміщеннях, де необхідне з'єднання між пристроями, що знаходяться в межах однієї кімнати або сусідніх кімнат;

– висока сумісність з різними пристроями: Bluetooth є універсальною технологією, підтримуваною багатьма виробниками електроніки. Це забезпечує високу сумісність з різноманітними пристроями, такими як смартфони, планшети, ноутбуки, навушники, фітнес-трекери та інші IoT-гаджети. Широка підтримка цієї технології полегшує інтеграцію та використання Bluetooth в різних екосистемах пристроїв;

– простота налаштування та використання: Bluetooth технологія має простий і зрозумілий процес налаштування, що робить її зручною для користувачів. Більшість сучасних пристроїв підтримують автоматичне виявлення та сполучення з Bluetooth-пристроями, що значно полегшує процес підключення.

Недоліки Bluetooth і BLE для IoT:

– обмежена дальність дії: Хоча Bluetooth може забезпечувати зв'язок на відстані до 100 метрів, на практиці ця відстань часто значно менша через перешкоди і заглушення сигналу. Для багатьох IoT-застосунків, де необхідно підтримувати зв'язок на великих відстанях або через кілька приміщень, Bluetooth може виявитися недостатнім;

– обмежена швидкість передачі даних: Хоча Bluetooth забезпечує достатню швидкість передачі даних для багатьох застосунків, вона все ж обмежена у порівнянні з іншими бездротовими технологіями, такими як Wi-Fi. Класичний Bluetooth може досягати швидкостей до 3 Мбіт/с, тоді як BLE оптимізований для передачі невеликих обсягів даних з максимальною швидкістю близько 1 Мбіт/с.

Це може бути недостатньо для застосунків, що вимагають передачі великих обсягів даних, таких як потокове відео або великі файли;

- відносно висока латентність: BLE може мати високу латентність у порівнянні з іншими технологіями передачі даних, що може бути критичним для застосунків, які вимагають негайного обміну інформацією, таких як реального часу моніторинг або управління;

- вразливість до перешкод: Як і інші бездротові технології, Bluetooth може піддаватись впливу перешкод від інших пристроїв, що працюють на тій же частоті (2.4 ГГц), таких як Wi-Fi мережі, мікрохвильові печі та бездротові телефони. Це може призводити до зниження продуктивності або втрати з'єднання [6].

Для створення великих мереж з багатьма пристроями, які потребують надійного та енергоефективного зв'язку, Zigbee є привабливим варіантом. Ця технологія дозволяє об'єднувати до 65 000 пристроїв у єдину мережу, що робить її ідеальною для застосунків у розумних будинках, промисловості та сільському господарстві.

Zigbee використовує топологію типу mesh (сітка), де кожен пристрій може виступати як ретранслятор, передаючи дані від одного пристрою до іншого. Це забезпечує високу надійність зв'язку, оскільки дані можуть бути передані різними маршрутами, обходячи можливі перешкоди. Крім того, Zigbee використовує енергоефективні протоколи зв'язку, що дозволяє пристроям працювати від батареї протягом тривалого часу.

Zigbee є стандартом для бездротових мереж з низьким енергоспоживанням і низькою швидкістю передачі даних. Ця технологія широко використовується в автоматизованих системах, таких як управління освітленням та опаленням, завдяки своїй надійності та можливості об'єднувати велику кількість пристроїв в єдину мережу.

Переваги Zigbee для IoT:

- низьке енергоспоживання: Однією з головних переваг Zigbee є її низьке енергоспоживання. Ця технологія була спеціально розроблена для пристроїв, які

працюють на батареях і повинні мати тривалий час автономної роботи. Zigbee використовує енергоефективні протоколи зв'язку, що дозволяє пристроям працювати без підзарядки протягом місяців або навіть років, що ідеально підходить для сенсорних мереж та автоматизації будинків;

– можливість створення великої мережі з багатьма пристроями: Zigbee підтримує створення масштабованих мереж, які можуть включати до 65 000 пристроїв. Завдяки своїй топології типу mesh, пристрої Zigbee можуть зв'язуватися один з одним, передаючи дані через інші вузли мережі. Це забезпечує високу надійність і дозволяє розширювати мережу без значних витрат;

– висока надійність зв'язку: Zigbee забезпечує високу надійність зв'язку завдяки своїй топології mesh. Кожен пристрій у мережі може виступати як ретранслятор, передаючи дані від одного пристрою до іншого. Це дозволяє обійти можливі перешкоди і забезпечити стабільний зв'язок навіть у складних умовах. Крім того, протокол Zigbee включає механізми захисту від перешкод і втрачених пакетів, що підвищує загальну надійність мережі;

– простота налаштування та використання: Zigbee технологія розроблена з урахуванням простоти налаштування та використання. Вона підтримує автоматичне виявлення та сполучення пристроїв, що значно полегшує процес розгортання мережі навіть для користувачів без спеціальних знань.

Недоліки Zigbee для IoT:

– низька швидкість передачі даних: Одним з головних недоліків Zigbee є її низька швидкість передачі даних. Максимальна швидкість передачі складає близько 250 Кбіт/с, що може бути недостатньо для застосунків, які вимагають швидкого обміну великими обсягами інформації. Це обмежує використання Zigbee для таких задач, як потокове відео або передача великих файлів;

– обмежена дальність дії: Zigbee має відносно обмежену дальність дії, яка складає до 100 метрів в умовах прямої видимості. В реальних умовах дальність може бути значно меншою через перешкоди, такі як стіни та інші об'єкти. Проте,

завдяки топології mesh, мережа може бути розширена через використання ретрансляторів, що дозволяє обходити ці обмеження;

– залежність від інфраструктури: Для забезпечення надійного зв'язку Zigbee мережі можуть вимагати додаткової інфраструктури, такої як координатори та ретранслятори, що може збільшити витрати на розгортання та підтримку мережі. Крім того, інтеграція Zigbee з іншими мережами та системами може вимагати спеціальних шлюзів або адаптерів;

– вразливість до перешкод: Zigbee працює на загальнодоступних частотах, що робить її вразливою до перешкод від інших бездротових пристроїв, таких як Wi-Fi та мікрохвильові печі. Це може призводити до зниження продуктивності та стабільності з'єднання, особливо в густонаселених районах [7].

В таблиці 1.1 наведена порівняльна характеристика основних мережевих технологій [5–7].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика основних мережевих технологій

Технологія	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (BLE) (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон, ГГц	2,4—2,483	2,4—2,483	2,4—2,483
Пропускна здатність, Кбіт/сек	250	11000	723,1
Розмір стеку протоколу, Кбайт	32–64	Більше 1000	Більше 250
Час неперервної автономної роботи від акумулятора, дні	100 – 1000	0,5 – 5	1 – 10

На рисунку 1.1 зображена умовна схема розумного будинку з використанням розумних датчиків для різних цілей [8].



Рисунок 1.1 – схема розумного будинку з використанням IoT-технологій

## 1.2 Радіоканали передачі даних

Сучасні IoT-системи, які використовуються для контролю мікроклімату у приміщеннях, значною мірою залежать від ефективності та надійності передачі даних між компонентами системи. Це особливо актуально в умовах підземних дитячих садочків та шкіл, де радіосигнал може втрачати свою потужність через фізичні перешкоди. Для вирішення цієї проблеми використовуються різноманітні радіоканали передачі даних, які забезпечують необхідну стабільність і швидкість обміну інформацією.

Радіоканали передачі даних відіграють ключову роль в архітектурі IoT-систем. Їх вибір залежить від специфіки середовища, у якому система буде працювати, відстані між компонентами, необхідної пропускну здатності та енергоефективності. Існує декілька популярних радіоканалів, які широко застосовуються в IoT-технологіях: Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, LoRa, та інші. Кожен

з них має свої переваги та недоліки, що обумовлює їх використання в різних сценаріях.

Наприклад, Wi-Fi забезпечує високу швидкість передачі даних і великий радіус дії, але може споживати значну кількість енергії. Bluetooth, навпаки, споживає мало енергії, але його радіус дії обмежений. ZigBee є компромісом між дальністю дії та енергоспоживанням і добре підходить для мереж з великою кількістю пристроїв. LoRa забезпечує дуже велику дальність передачі даних при низькому енергоспоживанні, що робить його ідеальним для великих територій.

Вибір конкретного радіоканалу для системи контролю мікроклімату у підземних приміщеннях залежить від багатьох факторів, включаючи структурні характеристики будівлі, кількість і розташування датчиків, а також вимоги до надійності та швидкості передачі даних. У цьому підрозділі розглянемо основні характеристики та особливості застосування різних радіоканалів передачі даних у IoT-системах.

Основні характеристики радіоканалів передачі даних:

– Wi-Fi є одним з найпопулярніших радіоканалів передачі даних завдяки своїй високій швидкості та широкому радіусу дії. Проте, для підземних приміщень Wi-Fi може мати обмеження через перешкоди від стін та інших об'єктів. Wi-Fi використовується для з'єднання пристроїв, які потребують високої пропускної здатності та частого обміну великими обсягами даних;

– Bluetooth відомий своїм низьким енергоспоживанням, що робить його ідеальним для пристроїв, які працюють від батарей. Однак, його радіус дії обмежений до декількох десятків метрів, що може бути недостатнім для великих підземних приміщень. Bluetooth найкраще підходить для з'єднання близько розташованих пристроїв та передачі невеликих обсягів даних;

– ZigBee є чудовим компромісом між радіусом дії та енергоспоживанням. Цей протокол використовується в мережах з великою кількістю пристроїв, таких як системи контролю мікроклімату. ZigBee забезпечує надійний зв'язок і дозволяє пристроям працювати від батарей протягом тривалого часу;

– LoRa (Long Range) спеціально розроблений для передачі даних на великі відстані при низькому енергоспоживанні. Це робить його ідеальним для застосування в умовах, де потрібна велика дальність дії, наприклад, у великих підземних приміщеннях. LoRa дозволяє ефективно передавати дані від датчиків до центрального контролера на відстані до декількох кілометрів;

– LMDS (Local Multipoint Distribution System) – стандарт стільникових мереж бездротової передачі інформації для фіксованих абонентів. Ця система будується за стільниковим принципом: одна БС може охопити весь район радіусом кілька кілометрів, приблизно 10 км, і підключити кілька тисяч абонентів. Базові станції об'єднуються між собою високошвидкісними наземними каналами зв'язку або радіоканалами. Швидкість передачі інформації досягає приблизно 45 Мбіт/с;

– WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) радіоканали схожі на Wi-Fi. WiMAX, на відміну від традиційних технологій радіодоступу, може працювати з відбитим сигналом, а не тільки з прямою видимістю БС. Експерти вважають, що мобільний сегмент WiMAX відкриває набагато цікавіші перспективи для користувачів, ніж фіксований WiMAX, який призначений для корпоративних замовників. Інформацію можна передавати на відстань до 50 км зі швидкістю 70 Мбіт/с;

– радіоканали передачі інформації MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System). Ця система здатна обслуговувати територію у радіусі 50-60 км, пряма видимість передавача оператора не є обов'язковою. Середня гарантована швидкість передачі інформації становить від 500 Кбіт/с до 1 Мбіт/с, можна забезпечити до 56 Мбіт/с для одного каналу.

Кожен з розглянутих радіоканалів має свої особливості, які роблять його більш або менш придатним для використання в системах контролю мікроклімату у підземних дитячих садочках та школах. Вибір конкретного рішення залежить від специфічних умов експлуатації, вимог до енергоспоживання, радіусу дії та швидкості передачі даних.

### 1.3 Архітектура побудови IoT-технологій

Архітектура Інтернету речей (IoT) є ключовим елементом для розуміння того, як різні пристрої та системи взаємодіють у цьому складному середовищі. Вона визначає, як дані збираються, передаються, обробляються та використовуються для створення інтелектуальних та взаємопов'язаних рішень. У цьому підрозділі ми детально розглянемо основні принципи та компоненти архітектури IoT, а також їх застосування у системах контролю мікроклімату.

На відміну від традиційних мережевих моделей, таких як OSI, архітектура IoT є більш гнучкою та динамічною. Вона складається з кількох рівнів, кожен з яких виконує свою специфічну функцію.

На рисунку 1.2 нижче наведено схему архітектури спроектованої системи, розглянемо її у подробицях. Топологія IoT відрізняється від звичайної рівневої моделі, такої як OSI. Це не лінійний і більш складний граф потоків[9].

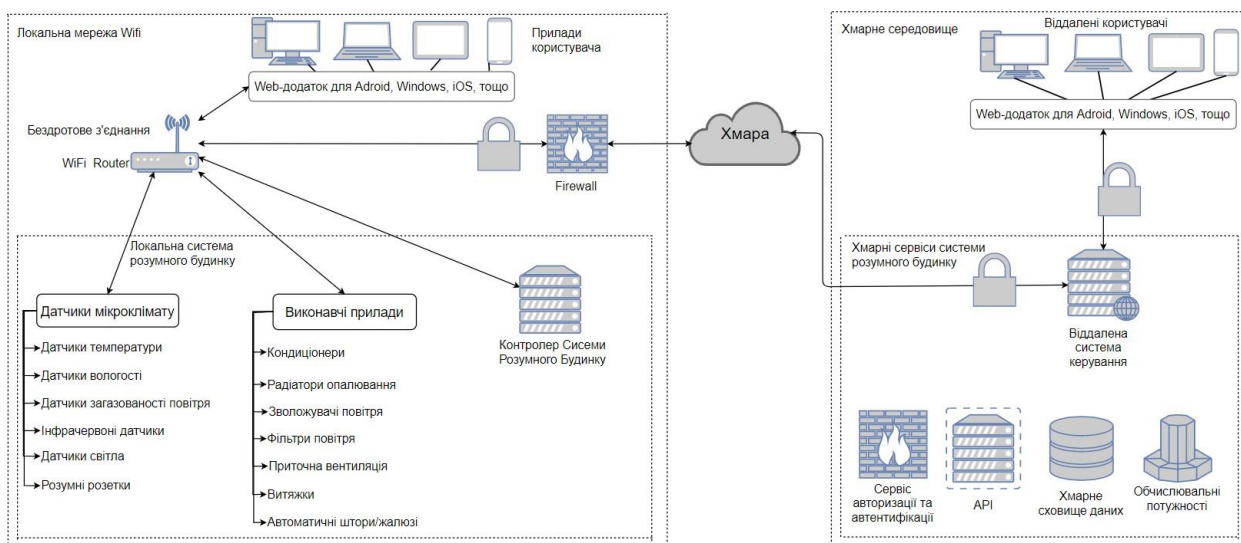


Рисунок 1.2 – Архітектура системи контролю мікроклімату

Можуть бути присутні два типи логіки – M2M (від машини до машини) і M2P (від машини до людини), а також більш приватні випадки, такі як C2C (від автомобіля до автомобіля, як правило, в одній соті мобільного зв'язку LTE). Бачимо, що систему контролю мікроклімату можна умовно розділити на дві

складові: локальну та хмарну. Деякі компоненти є необов'язковими і можуть бути відсутніми в конкретному класі рішень.

### 1.3.1 Локальна складова системи

Локальна складова системи IoT контролю мікроклімату включає в себе всі пристрої та сенсори, які знаходяться безпосередньо в приміщенні, де здійснюється моніторинг та управління. Це можуть бути датчики температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub>, освітленості, а також виконавчі пристрої, такі як термостати, вентилятори, кондиціонери та системи освітлення.

Локальна складова системи зосереджена у приміщенні (або приміщеннях), мікроклімат яких власне контролюється. У цій частині здійснюються наступні функції:

- збір даних щодо повітряного середовища приміщення;
- вплив на параметри мікроклімату приміщення;
- керування виконавчими приладами системи;
- підключення нових елементів системи (датчиків і виконавчих приладів).

Датчики відповідають за збір даних про стан мікроклімату в приміщенні. Вони можуть бути різного типу, залежно від конкретних потреб. Наприклад, датчики температури можуть використовувати різні технології вимірювання, такі як термопари, терморезистори або напівпровідникові сенсори. Датчики вологості можуть бути ємнісними або резистивними. Датчики CO<sub>2</sub> зазвичай використовують інфрачервоне випромінювання для вимірювання концентрації вуглекислого газу в повітрі:

- датчик температури;
- датчик вологості;
- датчик загазованості повітря;
- інфрачервоні датчики (передають дані про присутність людини в приміщенні);
- датчики світла;
- розумні розетки (для передачі даних щодо вживаної приладом

електроенергії).

Виконавчі пристрої відповідають за регулювання параметрів мікроклімату відповідно до отриманих від датчиків даних та заданих користувачем налаштувань. Наприклад, термостат може керувати роботою обігрівача або кондиціонера для підтримання заданої температури. Вентилятор може включатися або вимикатися для регулювання рівня CO<sub>2</sub>. Системи освітлення можуть автоматично змінювати яскравість залежно від рівня природного освітлення:

- кондиціонери;
- радіатори опалення (котли водяного опалення та електричні нагрівачі);
- зволожувачі повітря;
- фільтри повітря;
- приточна вентиляція;
- витяжка (може бути комбінованою з приточною вентиляцією уприточно-витяжні системи);
- автоматичні штори або жалюзі.

Важливим зауваженням є те, що усі ці прилади: і датчики, і виконавчі прилади – не є обов'язковими у системі, тож користувач може придбати та під'єднати до системи тільки ті прилади, що вважає необхідними. Таким чином дана система має бажану гнучкість: користувач вільний вирішувати, який саме функціонал йому необхідний, керуючись встановленим бюджетом. Крім цього, система стає масштабованою: користувач може під'єднувати нові елементи до системи у будь-який момент. Але необхідно зазначити, що чим більше датчиків та приладів кліматичної техніки додано до системи – тим більше можливості доступні для користувача. Так, складно створити ідеальні умови у приміщенні, якщо до системи встановлено тільки датчик температури та кондиціонер.

Передача даних у межах системи завжди здійснюється по повітрю бездротовим шляхом у локальній мережі Wi Fi, таким чином для встановлення системи у приміщення не потрібно перетягувати велику кількість проводів, що є незаперечною перевагою даної системи у порівнянні з класичними варіантами

систем контролю мікроклімату, що мають бути заплановані у приміщенні на етапі його проектування.

Кожний прилад підземного приміщення передає запит до контролеру через WiFi мережу, у свою чергу контролер підземного приміщення передає дані до хмарних сервісів також через мережу WiFi. Однак, для невеликих приладів, таких як датчики, передбачена також передача запитів прямо на контролер підземного приміщення з використанням інших стандартів зв'язку, таких як Bluetooth та ZigBee, адже не всі виробники датчиків бажають встановлювати модуль зв'язку WiFi у свої невеликі та відносно дешеві прилади.

Головна частина, справжнє серце системи – локальний контролер системи підземного приміщення. Без цього компоненту система не може існувати (у той час як багато інших компонентів не є обов'язковими). Фізично – це хаб, міні-комп'ютер, логічну структуру якого зображено на рисунку 1.3 [9].



Рисунок 1.3. – Логічна структура локального контролеру системи підземного приміщення

Бачимо, що контролер складається з декількох компонентів:

- мікросервіс роботи з різними стандартами зв'язку. Оскільки виробників приладів розумного будинку використовують широкий вибір протоколів зв'язку, система має підтримувати найбільш популярні з них щоб вважатися гнучкою;

- мікросервіс шифрування даних системи розумного будинку для передачі

по локальній мережі та у хмару. Безпека даних, що створюються, передаються та зберігаються в межах системи підземного приміщення – один з перших пріоритетів при проектуванні такої системи. Тож ми маємо забезпечити належне шифрування даних в залежності від схеми їх передачі: для прийому даних з датчиків – полегшені алгоритми шифрування даних мають бути застосовані, для передачі даних через мережу інтернет до хмарних сервісів – більш стійкі до злому алгоритми мають бути використані;

- локальна база даних. Використовується для збереження даних щодо під'єднаних датчиків та виконавчих пристроїв, їх режимів роботи, користувацьких налаштувань системи. Незважаючи на те, що усі ці дані можна зберігати у хмарному хранилищі даних (таким чином заощадивши на встановленій у прилад пам'яті), локальна база все ж є необхідним компонентом контролеру системи. У ній ма зберігаємо резервну копію найкритичніших даних, на випадок проблем з хмарними сервісами (оскільки безперебійність їх роботи не гарантована). Крім цього, дані з контролера використовуються контролером для керування системою за умови відсутності під'єднання до мережі інтернет;

- API бібліотеки для підключення та спілкування з датчиками та виконавчими приладами будь-якого виробника. Оскільки у вимогах до системи маємо гнучкість до підключення різних приладів, існує необхідність створення єдиного формату спілкування між окремими приладами, датчиками або виконавчими приладами та контролером системи. Таким чином, кожен прилад, що запрограмований на підтримку розроблених API бібліотек є сумісний з системою підземного приміщення, та може бути під'єднаний до неї.

До основних інтерфейсів API бібліотеки належать:

- запити авторизації сесії безпечного з'єднання;
- запити передачі даних щодо самого приладу (тип приладу, можливі режими роботи, додаткові функції) для підключення приладу до системи;
- запити передачі даних щодо використаних ресурсів, поточногорезиму роботи, параметрів повітряного середовища коло приладу;
- запити керування виконавчих приладом – вмикання та вимикання,

встановлення режиму, використання додаткових функцій.

Користувач здійснює контроль над системою через його звичайні персональні гаджети: телефон, планшет, ноутбук або персональний комп'ютер. На відміну від класичних систем контролю мікроклімату приміщення, що передбачають встановлення спеціальної панелі керування в певному місці у стіні, дане рішення має ряд переваг: заощадження коштів на окремий монітор, немає необхідності монтажу панелі керування, можливість використовувати єдиний персональний прилад для контролю підземного приміщення на ряду з іншими повсякденними задачами, можливість віддаленого керування приміщенням через інтернет з того самого мобільного приладу.

Для контролю налаштувань системи підземного приміщення використовується Web-додаток, що є сумісним з найбільш розповсюдженими операційними системами персональних гаджетів: Android (для смартфонів та планшетів), Windows та Linux (для ноутбуків та персональних комп'ютерів), iOS (для iPhone, iPad, MacBook, Mac, iWatch, тощо). Отже, будь-яка операційна система, що має браузер, підтримує використання Web-додатку.

Великою перевагою такого рішення є можливість використання додатку для зміни налаштувань параметрів повітряного середовища, ручного керування приладами кліматичної техніки, переглядання історичних даних та звітів, з будь-якого місця за умови доступу до мережі інтернет.

### 1.3.2 Хмарна частина системи

Використання хмарних сервісів є необхідною умовою при проектуванні системи підземного приміщення, адже вони дають деякі безперечні переваги для користувача:

- можливість керування системою з будь-якої точки планети при доступі до інтернету;
- полегшене оновлення версій системи (легче оновити систему на сервері ніж змусити користувачів оновити свою версію додатку чи прошивки приладу) – особливо важливо для критичних оновлень, таких як покращення захисту даних

у системі;

- перенесення важких, ресурсомісних процесів з локального контролера на віддалені обчислювальні потужності серверів;

- використання хмарних сервісів для шифрування та зберігання даних (полегшена розробка програмної частини системи).

Отже, на сервері, що приймає, обробляє та відповідає на запити локальних систем підземного приміщення, присутні наступні логічні складові:

- мікросервіс реєстрації нової системи підземного приміщення (робиться користувачем у Web-додатку з використанням індивідуального коду продукту - хабу системи). Таким чином імплементована система захисту від підробок – тільки легальні продукти-хаби можуть бути зареєстровані на сервері;

- мікросервіс авторизації користувача (або користувачів) системи. Передбачена підтримка авторизації через сторонні сервіси: Google+, Facebook, Microsoft Outlook, та інші. Таким чином функціонує захист системи від зловмисників: усі дані, що передаються по хмарі до серверу системи, зашифровані з використанням ключа, що є тільки у Web-додатку авторизованого користувача та власне на сервері. Також, саме так сервер знає, до якої локальної системи приміщення відноситься авторизованих користувач, адже багато власників запроєктованої системи будуть спілкуватися з сервером одночасно, і кожен має доступ виключно тільки до власних даних;

- хмарне сховище даних. Використовується для зберігання усіх даних, що стосуються системи підземного приміщення (кожної з зареєстрованих систем окремо, розділяючи права доступу до даних): користувацькі дані; дані підєднаних до системи приладів, датчиків та виконавчої кліматичної техніки (вид техніки, доступні режими, додаткові функції, інша описова інформація); усі дані налаштувань системи, бажані параметри середовища, ліміти використання ресурсів, сценарії використання приладів з тригерами, налаштування за розкладом; історичні дані щодо використаних системою ресурсів, режимів роботи у часі, зміни налаштувань користувачем. Усі ці дані використовуються підсистемою прийняття рішень, що відповідає за власне керування виконавчими

приладами;

– підсистеми прийняття рішень. Використовує усі передані та збережені у хмарному сховищі дані для прийняття рішень щодо керування виконавчими приладами у кожній конкретній локальній системі підземного приміщення. Особливість запропонованої архітектури: можливість оновлення даної підсистеми з змінами у будь-який момент часу, передбачена зворотна сумісність з локальними підсистемами (оскільки немає гарантії, що користувач слідує інструкції та оновлює версію власного програмного забезпечення коли вона з'являється у доступі). У підсистемі використані чіткі запрограмовані алгоритми керування, що беруть до уваги все користувацькі налаштування при здійсненні рішення;

– підсистема комунікації. Відповідає за спілкування з великою кількістю клієнтів, що діляться на два види: користувачі, що передивляються дані системи приміщення та змінюються налаштування, та хаб-контролери локальних систем, що передаються дані з локальних пристроїв для збереження у хмарному сховищі даних та запитують наступні команди керування у підсистемі прийняття рішень. API сервіс обробляє усі види запитів та здійснює зв'язок підсистем між собою: запит на шифрування та дешифрування даних для прийому та передачі, реєстрація та авторизація користувачів у системі, запис та читання з хмарної бази даних, запит команд керування з підсистеми прийняття рішень. Якщо користувачів системи становиться забагато для одного серверу (запити обробляються повільно або сервер не відповідає взагалі), завжди є можливість додати більше серверів для обробки більшої кількості запитів, отже система залишається масштабованою у хмарній частині, як і у локальній.

#### 1.4 Аналіз системи нормативного забезпечення IoT-технологій

Нормативне забезпечення IoT-технологій є комплексним і багатограним, включаючи міжнародні стандарти, регіональні регламенти та національні нормативні акти. Ретельне дотримання цих вимог є ключовим для успішного

впровадження IoT-рішень, що забезпечують безпеку, сумісність та ефективність роботи пристроїв в різних умовах.

Система нормативного забезпечення Інтернету речей є критично важливою для забезпечення безпеки, сумісності, ефективності та надійності роботи IoT-пристроїв. У цьому розділі ми розглянемо основні міжнародні та національні стандарти, нормативні акти та рекомендації, що регулюють сферу IoT-технологій.

Однією з основних організацій, що розробляють стандарти для IoT, є Міжнародна організація зі стандартизації (ISO). Вона розробила низку стандартів, які охоплюють різні аспекти IoT, включаючи безпеку, управління даними та інтероперабельність.

ISO/IEC 30141:2018 – Інтернет речей (IoT) – Довідкова архітектура. Цей стандарт визначає основні принципи, моделі та рекомендації щодо побудови IoT-систем, забезпечуючи базу для створення сумісних та безпечних рішень.

ISO/IEC 27001:2013 – Інформаційні технології – Методи захисту – Система менеджменту інформаційної безпеки – Вимоги. Цей стандарт забезпечує рекомендації щодо управління інформаційною безпекою, що є критично важливим для захисту даних в IoT-системах.

Іншою важливою організацією є Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), який розробляє стандарти для бездротових мереж та комунікацій.

IEEE 802.15.4 – стандарт для бездротових мереж з низьким енергоспоживанням, який використовується в багатьох IoT-додатках, включаючи Zigbee і Thread.

В Європі значну роль у регулюванні IoT відіграє Європейський Союз (ЄС). Основні директиви та регламенти включають:

GDPR (General Data Protection Regulation) – Загальний регламент захисту даних, що набрав чинності у 2018 році. GDPR встановлює вимоги щодо збору, зберігання та обробки персональних даних, що є надзвичайно важливим для IoT-пристроїв, які часто збирають велику кількість особистої інформації.

RED (Radio Equipment Directive) – Директива про радіообладнання, яка встановлює вимоги щодо безпеки, здоров'я та ефективного використання радіочастотного спектру для радіообладнання, включаючи IoT-пристрої.

Кожна країна має свої специфічні вимоги та регуляції щодо IoT. Розглянемо деякі приклади.

США: Федеральна комісія зі зв'язку (FCC) регулює використання радіочастот та забезпечує дотримання вимог безпеки та ефективності роботи IoT-пристроїв.

FCC Part 15 – регулює використання неліцензованих частот, що використовується багатьма IoT-пристроями для бездротового зв'язку.

Китай: Міністерство промисловості та інформаційних технологій (МІІТ) відповідає за регулювання та стандартизацію IoT в Китаї.

GB/T 22239-2008 – Основні вимоги до захисту інформаційної безпеки, що встановлює вимоги до захисту інформації для інформаційних систем, включаючи IoT.

Крім обов'язкових стандартів та регуляцій, існують численні рекомендації та найкращі практики, розроблені провідними організаціями та асоціаціями.

OWASP (Open Web Application Security Project) – пропонує IoT Security Guidance, який містить рекомендації щодо безпечної розробки та впровадження IoT-пристроїв.

NIST (National Institute of Standards and Technology) – публікує рекомендації щодо кібербезпеки IoT, включаючи NISTIR 8259, який описує основні вимоги до безпеки IoT-пристроїв.

## 1.5 Висновок до розділу

У першому розділі було проведено комплексний аналіз сучасного стану та перспектив розвитку IoT-технологій, включаючи їх визначення, ключові компоненти, сфери застосування, а також нормативно-правове забезпечення. Зокрема, було досліджено основні безпроводні технології, такі як Wi-Fi,

Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN та NB-IoT, які широко використовуються для передачі даних в IoT-системах.

Було проаналізовано переваги та недоліки кожної з цих технологій, враховуючи такі фактори, як швидкість передачі даних, радіус дії, енергоспоживання та вартість. Це дозволяє зробити висновок, що вибір оптимальної технології залежить від конкретних вимог до системи та умов її експлуатації. Наприклад, для систем з великою кількістю пристроїв та обмеженим енергоспоживанням Zigbee може бути більш привабливим варіантом, ніж Wi-Fi.

Крім того, було розглянуто архітектуру побудови IoT-систем, включаючи локальну та хмарну складові. Локальна складова відповідає за збір та первинну обробку даних, тоді як хмарна складова забезпечує зберігання, аналіз та управління даними. Такий розподіл функцій дозволяє створювати масштабовані та гнучкі системи, здатні адаптуватися до різних потреб.

Особливу увагу було приділено аналізу системи нормативного забезпечення IoT-технологій. Було розглянуто міжнародні стандарти, європейські директиви та національні нормативні акти, які регулюють використання IoT-технологій. Це дозволяє зробити висновок, що нормативне забезпечення є важливим аспектом розвитку та впровадження IoT, оскільки воно забезпечує безпеку, сумісність та ефективність роботи систем.

Таким чином, у першому розділі було закладено теоретичну основу для подальшої розробки системи контролю мікроклімату з використанням IoT-технологій. Було визначено основні поняття, проаналізовано існуючі технології та стандарти, що дозволить прийняти обґрунтовані рішення при виборі компонентів та архітектури системи.

## **2 АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ, КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІОТ- ТЕХНОЛОГІЙ**

У сучасному суспільстві зростаюча урбанізація та техногенний вплив на довкілля створюють нові виклики у забезпеченні комфортних умов життя та навчання. Особливо це стосується підземних дитячих садків та шкіл, де створення оптимальних умов мікроклімату є критично важливим для здоров'я та добробуту дітей. Інтернет речей відкриває нові горизонти для автоматизації та ефективного управління мікрокліматом, дозволяючи створювати розумні системи, які забезпечують моніторинг, контроль та управління у реальному часі.

Основні проблеми, з якими стикаються підземні дитячі садки та школи, пов'язані з забезпеченням якісного повітряного обміну та підтриманням комфортних умов для перебування дітей. Серед головних проблем можна виділити обмежену вентиляцію, температурні коливання, підвищену вологість, енергоефективність та необхідність безперервного моніторингу та контролю.

ІоТ-технології відкривають нові можливості для вирішення цих проблем завдяки інтеграції різноманітних сенсорів та виконавчих механізмів у єдину систему, що забезпечує безперервний моніторинг та автоматичне управління параметрами мікроклімату. Основні переваги впровадження ІоТ у системи контролю мікроклімату включають безперервний моніторинг, автоматичний контроль, енергоефективність, аналіз даних та зручність управління.

Цей розділ присвячений аналізу існуючих систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням ІоТ-технологій. У ньому буде розглянуто технічне та програмне забезпечення таких систем, а також архітектуру побудови автоматизованої системи контролю мікроклімату.

## 2.1 Аналіз систем технічного забезпечення

Технічне забезпечення систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом у підземних дитячих садочках і школах із застосуванням IoT-технологій вимагає використання комплексу різноманітних пристроїв та сенсорів. Вони забезпечують безперервний збір, передачу та обробку даних, що дозволяє підтримувати оптимальні умови для здоров'я і комфорту дітей. У цьому підрозділі розглядаються основні компоненти технічного забезпечення таких систем.

Сенсори та датчики є ключовими елементами системи контролю мікроклімату. Вони відповідають за вимірювання параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, рівень CO<sub>2</sub>, освітленість та інші показники якості повітря:

– DHT22: Вимірює температуру і вологість з високою точністю, що особливо важливо для створення комфортного середовища в підземних приміщеннях. Він забезпечує стабільні показники в широкому діапазоні температур і вологості, що робить його ідеальним для використання в умовах підземних шкіл та дитячих садків;

– MH-Z19: Вимірює концентрацію CO<sub>2</sub> у повітрі. Враховуючи обмежений доступ свіжого повітря в підземних приміщеннях, контроль рівня CO<sub>2</sub> є критично важливим для підтримання здорового мікроклімату;

– BH1750: Вимірює рівень освітленості, що дозволяє оптимізувати освітлення у приміщеннях без природного світла. Це особливо актуально для підземних умов, де відсутність природного освітлення може негативно впливати на зір та загальний стан дітей.

У таблиці 2.1 наведено особливості і можливості використання наведених сенсорів і датчиків [11].

Таблиця 2.1 – Сенсори і датчики

Назва	Опис	Особливості	Використання в системі контролю мікроклімату в підземних умовах
DHT22	Датчик температури і вологості	Вимірює температуру і вологість з високою точністю, стабільні показники в широкому діапазоні	Ідеально підходить для створення комфортного середовища в підземних умовах
MH-Z19	Датчик CO <sub>2</sub>	Вимірює концентрацію вуглекислого газу, критично важливий для контролю якості повітря	Необхідний для забезпечення здорового мікроклімату в умовах обмеженого доступу до свіжого повітря
BH1750	Датчик освітленості	Вимірює рівень освітленості, дозволяє оптимізувати використання штучного освітлення	Забезпечує необхідний рівень освітлення в підземних умовах, де немає природного світла

Контролери виконують роль центрального вузла системи. Вони збирають дані з сенсорів, обробляють їх та передають на сервер або хмарну платформу для подальшого аналізу та прийняття рішень. Популярні контролери включають:

- Arduino: Простий у використанні мікроконтролер, який легко інтегрується з різними сенсорами та модулями. Він підходить для базових проектів з контролю мікроклімату і є доступним варіантом для невеликих систем;

- Raspberry Pi: Повноцінний міні-комп'ютер, що здатний обробляти великі обсяги даних і підтримувати різні протоколи зв'язку, що робить його ідеальним

для комплексних систем контролю. Його потужність дозволяє виконувати складні обчислення та обробку даних в реальному часі;

– ESP8266: Дешевий і ефективний мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi модулем, широко використовуваний в IoT проектах для збору і передачі даних. Він забезпечує надійне з'єднання з мережею і дозволяє інтегрувати різні сенсори для створення гнучких систем контролю.

Для передачі даних у системах контролю мікроклімату використовуються різні бездротові технології, кожна з яких має свої переваги і недоліки. Основні технології включають:

– Wi-Fi: Забезпечує високу швидкість передачі даних та великий радіус дії. Підходить для підземних приміщень з доступом до стабільного джерела енергії. Використання Wi-Fi дозволяє інтегрувати систему з існуючими мережевими інфраструктурами;

– Zigbee: Характеризується низьким енергоспоживанням та середньою швидкістю передачі даних. Ідеально підходить для створення мереж з великою кількістю сенсорів. Zigbee створює мережі з низьким споживанням енергії, що робить його ідеальним для тривалого використання;

– LoRa: Має великий радіус дії та низьку швидкість передачі даних. Використовується для передачі даних на великі відстані, що може бути корисним для віддалених підземних приміщень. Ця технологія дозволяє забезпечити зв'язок навіть в умовах обмеженого доступу до інтернету;

– Bluetooth: Відзначається низьким енергоспоживанням та обмеженим радіусом дії, що робить його придатним для локальних мереж. Використання Bluetooth дозволяє створювати мережі для невеликих приміщень з низьким енергоспоживанням;

Активатори є пристроями, що здійснюють вплив на мікроклімат на основі даних, отриманих від контролерів. Вони включають:

– системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря (HVAC): Забезпечують регулювання температури, вологості та якості повітря, що є

критично важливим для підземних приміщень. Вони дозволяють підтримувати комфортні умови для перебування дітей, забезпечуючи стабільний мікроклімат;

- зволожувачі: Контролюють рівень вологості, що є важливим для підтримки здорового мікроклімату в підземних умовах. Підтримання оптимального рівня вологості допомагає запобігти проблемам зі здоров'ям, які можуть виникнути через надмірно сухе або вологе повітря;

- освітлювальні системи: Регулюють рівень освітлення відповідно до потреб дітей, забезпечуючи комфортні умови для навчання та відпочинку. Використання інтелектуальних освітлювальних систем дозволяє оптимізувати споживання електроенергії і забезпечити достатнє освітлення в будь-який час доби.

## 2.2 Аналіз систем програмного забезпечення

Програмне забезпечення відіграє ключову роль у системах контролю мікроклімату, особливо при використанні IoT-технологій. Від правильного вибору та інтеграції програмних компонентів залежить ефективність та надійність всієї системи.

Розглянемо основні аспекти програмного забезпечення, що використовуються в системах контролю мікроклімату, зокрема для підземних дитячих садків та шкіл.

Для роботи контролерів в системах контролю мікроклімату застосовуються спеціалізовані операційні системи та прошивки. Основні з них:

- Arduino IDE: Використовується для програмування мікроконтролерів Arduino. Перевагами є простота використання, велика спільнота та наявність численних бібліотек для підключення різних сенсорів та модулів;

- Raspbian: Це операційна система на базі Debian, оптимізована для роботи на Raspberry Pi. Вона забезпечує повну функціональність комп'ютера,

дозволяючи запускати різноманітні додатки, обробляти великі обсяги даних та виконувати складні обчислення;

– Micropython: Легка операційна система для мікроконтролерів, таких як ESP8266 та ESP32. Вона дозволяє писати код на Python, що значно спрощує процес розробки та налагодження.

У таблиці 2.2 наведено основні характеристики розглядуваних операційних систем [10].

Таблиця 2.2 – Операційні системи та прошивки

Операційна система	Вимоги	Можливості	Використання	Переваги
Arduino IDE	Мікроконтролери серії Arduino, мінімальні системні вимоги	Простота використання, велика кількість бібліотек, підтримка C/C++	Застосовується для невеликих проектів з базовими вимогами до обчислень	Низька вартість, простота у використанні
Raspbian	Raspberry Pi, мінімум 512MB RAM, SD-карта 8GB і більше	Повноцінна ОС на базі Debian, можливість запуску додатків, підтримка Python, C/C++, Java	Підходить для складніших проектів, що вимагають більше ресурсів, аналітика даних	Висока продуктивність, велика кількість доступних додатків, гнучкість

## Продовження таблиці 2.2

Micropython	ESP8266, ESP32, мінімальні системні вимоги	Легка мова програмуванн я Python, підтримка асинхронних операцій, велика кількість бібліотек	Застосовуєтьс я для проектів з низьким енергоспожив анням, бездротові сенсорні мережі	Низьке енергоспожив ання, простота програмуванн я, легка інтеграція з хмарними сервісами
-------------	--	--	--	--

IoT-платформи забезпечують зберігання, обробку та візуалізацію даних, зібраних з сенсорів. Основні платформи включають:

- Google Cloud IoT: Пропонує інструменти для збору, обробки та аналізу даних в реальному часі. Забезпечує високу масштабованість і інтеграцію з іншими сервісами Google Cloud;

- Amazon AWS IoT: Платформа від Amazon забезпечує надійну інфраструктуру для збору та обробки даних. Підтримує різні протоколи зв'язку та інтеграцію з сервісами штучного інтелекту та машинного навчання;

- Microsoft Azure IoT Hub: Пропонує широкий спектр інструментів для управління IoT-пристроями, збору та аналізу даних. Забезпечує високу безпеку та масштабованість.

Протоколи передачі даних визначають, як пристрої обмінюються інформацією. Основні протоколи включають:

- MQTT: Легкий протокол передачі повідомлень, який використовується для обміну даними між пристроями з низькою затримкою. Особливо підходить для систем з великою кількістю сенсорів;

- CoAP: Протокол для роботи з ресурсами в обмежених середовищах, таких як мікроконтролери. Забезпечує ефективну передачу даних з низьким енергоспоживанням;

- HTTP/HTTPS: Стандартні протоколи для веб-комунікації. HTTPS забезпечує захищене з'єднання, що є важливим для передачі конфіденційних даних.

Для аналізу зібраних даних використовуються різноманітні інструменти та алгоритми, які дозволяють:

- виявляти закономірності: Алгоритми машинного навчання можуть ідентифікувати повторювані шаблони у даних, що дозволяє прогнозувати зміни мікроклімату;

- оптимізувати управління системою: Аналітичні інструменти допомагають визначити оптимальні параметри для управління мікрокліматом, що забезпечує комфортні умови та знижує енергоспоживання;

- візуалізувати дані: Спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє створювати інтуїтивно зрозумілі графіки та діаграми, що спрощують моніторинг стану мікроклімату та прийняття рішень.

Інтерфейси користувача забезпечують зручний доступ до системи та дозволяють керувати її роботою. Основні типи інтерфейсів включають:

- веб-інтерфейси: Дозволяють користувачам отримувати доступ до системи через браузер, надаючи інформацію про стан мікроклімату та можливість налаштування параметрів;

- мобільні додатки: Забезпечують зручний доступ до системи з мобільних пристроїв, що дозволяє контролювати мікроклімат у режимі реального часу, навіть перебуваючи поза приміщенням;

- голосові помічники: Інтеграція з голосовими помічниками, такими як Amazon Alexa або Google Assistant, дозволяє керувати системою за допомогою голосових команд, що робить управління ще зручнішим.

Особливості експлуатації підземних приміщень вимагають спеціального підходу до розробки систем програмного забезпечення:

- безпека: Підземні приміщення мають підвищені вимоги до безпеки, тому програмне забезпечення повинно забезпечувати надійний захист даних та стійкість до зовнішніх атак;

- надійність: Система повинна працювати безперебійно навіть у складних умовах, забезпечуючи постійний моніторинг та контроль мікроклімату;

- швидкість реакції: У разі виявлення небезпечних змін мікроклімату, система повинна миттєво реагувати та повідомляти відповідальних осіб для прийняття необхідних заходів;

- адаптивність: Програмне забезпечення повинно легко адаптуватися до змін у структурі приміщень, додавання нових сенсорів або змін у конфігурації системи.

Загалом, програмне забезпечення для систем контролю мікроклімату із застосуванням IoT-технологій повинно забезпечувати надійний та ефективний моніторинг, аналіз та управління умовами у підземних дитячих садках та школах, підвищуючи безпеку та комфорт перебування в цих приміщеннях.

### 2.3 Архітектура побудови автоматизованої системи контролю мікроклімату із застосуванням IoT-технологій

Архітектура системи контролю мікроклімату в підземних дитячих садочках і школах є критично важливим аспектом для забезпечення здорових умов перебування дітей. Використання IoT-технологій дозволяє створити ефективну та надійну систему моніторингу та контролю, яка може автоматично реагувати на зміну параметрів середовища, забезпечуючи оптимальні умови мікроклімату.

Основні компоненти архітектури включають сенсорний модуль, який складається з різноманітних датчиків. До цих датчиків належать температурні

датчики (наприклад, DHT22), гігрометри (SHT31), датчики CO<sub>2</sub> (MH-Z19), а також датчики освітленості (BH1750). Розташування сенсорів має бути продуманим і стратегічним, вони повинні бути встановлені в різних зонах приміщення для забезпечення повного покриття. У підземних приміщеннях, таких як дитячі садки і школи, датчики можуть бути розміщені у класах, ігрових кімнатах, коридорах та інших критично важливих місцях. Основною функцією сенсорного модуля є постійний моніторинг параметрів мікроклімату та передача даних на центральний сервер через бездротові мережі, такі як Wi-Fi або LoRaWAN.

Характеристики сенсорів для системи моніторингу мікроклімату буде наведено у таблиці 2.3 [11].

Таблиця 2.3 – Характеристики сенсорів для системи моніторингу мікроклімату

Тип сенсора	Модель	Вимірювані параметри	Точність	Інтерфейс
Температурний	DHT22	Температура, Вологість	±0.5°C, ±2%	Digital (1-Wire)
Гігрометр	SHT31	Вологість	±2%	I2C
Датчик CO <sub>2</sub>	MH-Z19	Вміст CO <sub>2</sub>	±50 ppm	UART, PWM
Датчик освітленості	BH1750	Освітленість	±20%	I2C

Центральний сервер виконує важливу роль у системі контролю мікроклімату. Він займається збором даних з усіх сенсорів, обробкою та аналізом цієї інформації в реальному часі. Використовуючи технології великих даних (Big Data), сервер може ефективно обробляти великі обсяги інформації. Для зберігання цих даних використовуються хмарні платформи, такі як AWS, Google Cloud або Microsoft Azure, що забезпечує високу доступність і надійність даних.

Крім того, сервер використовує алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування змін у мікрокліматі та автоматичного налаштування відповідного обладнання. Прикладом такого аналізу є платформи типу TensorFlow.

Виконавчі механізми включають різноманітні системи, такі як системи кондиціонування повітря (наприклад, Daikin, Mitsubishi Electric), зволожувачі (Honeywell, Philips), обігрівачі (Dyson) та системи вентиляції (Zephyr). Вони взаємодіють з центральним сервером через бездротові мережі, отримуючи команди та налаштування для своєї роботи. Для передачі даних використовуються стандарти типу MQTT або HTTP. Ці виконавчі механізми автоматично регулюють свою роботу залежно від проаналізованих даних. Наприклад, якщо рівень CO<sub>2</sub> перевищує норму, система автоматично збільшує вентиляцію, забезпечуючи оптимальні умови в приміщенні.

Усі характеристики розглянутих виконавчих механізмів наведено у таблиці 2.4 [23–26].

Таблиця 2.4 – Характеристики виконавчих механізмів для системи контролю мікроклімату

Тип обладнання	Модель	Функції	Інтерфейс	Особливості
Кондиціонер	Daikin FTXB35C	Охолодження, обігрів	Wi-Fi, Infrared	Інверторна технологія
Зволожувач	Honeywell HCM-350	Зволоження повітря	Wi-Fi	Антибактеріальний фільтр
Обігрівач	Dyson AM09	Обігрів, вентилятор	Wi-Fi, Infrared	Низьке енергоспоживання
Система вентиляції	Zephyr Breeze	Вентиляція, фільтрація	Ethernet, Wi-Fi	Автоматичний контроль якості повітря

Інтерфейс користувача включає мобільні додатки та веб-платформи, що дозволяє віддалено контролювати та налаштовувати систему мікроклімату. Мобільні додатки на базі Android та iOS забезпечують доступ до даних у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в параметрах мікроклімату. Веб-платформи, такі як Grafana, використовуються для перегляду історії даних та створення звітів, що робить процес моніторингу та аналізу зручним і доступним. Функції інтерфейсу користувача зможемо побачити у таблиці 2.5 [13].

Таблиця 2.5 – Функції інтерфейсу користувача для системи контролю мікроклімату

Платформа	Тип інтерфейсу	Функції	Приклади використання
Android	Мобільний додаток	Моніторинг у реальному часі, налаштування параметрів	Віддалений контроль мікроклімату
iOS	Мобільний додаток	Сповіщення про зміни, перегляд історії даних	Оперативна реакція на зміни
Веб-платформа	Браузерний інтерфейс	Аналіз даних, створення звітів, візуалізація	Детальний аналіз ефективності системи

Безпека та надійність системи є критично важливими аспектами. Для захисту даних використовуються сучасні методи шифрування, такі як AES-256, що забезпечує високий рівень захисту від несанкціонованого доступу. Захищені канали передачі даних забезпечуються за допомогою VPN або SSL, що гарантує

безпеку під час передачі інформації. Надійність системи підтримується через резервне копіювання даних та автоматичне переключення на резервні системи у разі збою. Використання реплікації даних у хмарних сховищах дозволяє забезпечити високу доступність та безперебійність роботи системи. Детальніше наведено у таблиці 2.6[13].

Таблиця 2.6 – Заходи безпеки та надійності для системи контролю мікроклімату

Захід безпеки	Опис	Приклади реалізації
Шифрування даних	Використання AES-256 для захисту даних	SSL/TLS для захищеної передачі даних
Резервне копіювання	Автоматичне копіювання даних на резервні сервери	AWS Backup, Google Cloud Backup
Захищені канали	Використання VPN для безпечної передачі даних	OpenVPN, Cisco AnyConnect
Захід безпеки	Опис	Приклади реалізації
Реплікація даних	Синхронізація даних між основним і резервним сховищем	AWS S3, Google Cloud Storage

### 2.3.1 Приклади використання в підземних школах і дитячих садках

Підземні дитячі садки у Токіо, Японія, використовують IoT-сенсори для моніторингу температури та вологості в ігрових кімнатах та спальнях. Також встановлені автоматизовані системи вентиляції, які регулюються на основі даних сенсорів. Централізоване управління системами здійснюється через хмарну

платформу, що дозволяє адміністраторам віддалено контролювати умови в приміщеннях.

Детальну інформацію про використання IoT-технологій у дитячих садках Токіо наведено в таблиці 2.7 [17].

Таблиця 2.7 – Приклад використання IoT-технологій у підземних дитячих садках Токіо

Параметр	Значення	Система контролю
Температура	22°C – 24°C	Автоматизована система кондиціонування
Вологість	50% – 60%	Система зволоження повітря
Вміст CO <sub>2</sub>	<800 ppm	Вентиляційна система з фільтрацією
Освітленість	300–500 люкс	Регульоване LED освітлення

Підземні школи в Гельсінкі, Фінляндія, впровадили систему моніторингу рівня CO<sub>2</sub> у класах для забезпечення оптимальних умов для навчання. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє прогнозувати зміни у мікрокліматі та автоматично коригувати роботу систем опалення та вентиляції. Забезпечення високої енергоефективності системи досягається завдяки оптимізації використання енергоресурсів на основі аналізу даних.

Детальну інформацію про використання IoT-технологій у підземних школах Гельсінкі наведено в таблиці 2.8 [17].

Таблиця 2.8 – Приклад використання IoT-технологій у підземних школах Гельсінкі [17].

Параметр	Значення	Система контролю
Температура	20°C – 22°C	Система опалення та кондиціонування
Вологість	40% – 55%	Автоматизована система зволоження
Вміст CO <sub>2</sub>	<600 ppm	Інтелектуальна вентиляційна система
Освітленість	400–600 люкс	Динамічне LED освітлення

Підземний дитячий садок в Лондоні, Великобританія, використовує мобільний додаток для моніторингу та управління параметрами мікроклімату в реальному часі. Система інтегрована з платформою для створення звітів та аналізу ефективності роботи обладнання. Безпека даних забезпечується завдяки впровадженню сучасних методів шифрування та резервного копіювання.

Детальну інформацію про використання IoT-технологій у підземних дитячих садках Лондона наведено в таблиці 2.9 [17].

Таблиця 2.9 – Приклад використання IoT-технологій у підземному дитячому садку Лондона

Параметр	Значення	Система контролю
Температура	21°C – 23°C	Інтелектуальна система кондиціонування
Вологість	45% – 55%	Система зволоження з контролем якості води
Вміст CO <sub>2</sub>	<700 ppm	Автоматична система вентиляції
Освітленість	350–550 люкс	Адаптивне освітлення LED

Розробка автоматизованої системи контролю мікроклімату з використанням IoT-технологій є важливим кроком у забезпеченні здорових умов перебування дітей у підземних дитячих садочках і школах. Така система дозволяє ефективно моніторити та контролювати параметри мікроклімату, забезпечуючи безпеку та комфорт для всіх користувачів приміщень. Використання сучасних технологій, таких як сенсори, хмарні платформи, алгоритми машинного навчання та мобільні додатки, робить цю систему надійною, ефективною та зручною у використанні.

## 2.4 Висновок до розділу

У другому розділі було проведено глибоке дослідження систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням IoT-технологій. Перш за все, було проаналізовано різноманітні компоненти технічного забезпечення, зокрема датчики, контролери та виконавчі механізми. Ці елементи відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного моніторингу параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, рівень CO<sub>2</sub> та освітленість. Було встановлено, що сучасні сенсори демонструють високу точність і надійність, що дозволяє забезпечити безперервний моніторинг та своєчасне реагування на зміни в мікрокліматі.

Було розглянуто програмне забезпечення, яке використовується для управління IoT-пристроями. Було підкреслено важливість інтеграції різних програмних платформ для забезпечення злагодженої роботи всієї системи. Цей аспект включає розробку алгоритмів обробки даних та їх передачі до центрального сервера для подальшого аналізу та прийняття рішень. Використання сучасних хмарних технологій дозволяє забезпечити масштабованість та гнучкість системи, що є важливим для великих об'єктів з багатьма приміщеннями.

Окрему увагу було приділено архітектурі побудови автоматизованої системи контролю мікроклімату із застосуванням IoT-технологій. Були розглянуті приклади використання таких систем у підземних школах і дитячих садках, де забезпечення оптимальних умов мікроклімату є особливо важливим через специфіку приміщень. Висвітлено ключові елементи архітектури, такі як локальні та хмарні складові системи, а також взаємодію між ними.

Таким чином, проведений аналіз систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням IoT-технологій підтвердив доцільність та ефективність використання сучасних технічних і програмних рішень для забезпечення оптимальних умов у приміщеннях. Це є вагомим

кроком у напрямку покращення якості середовища для дітей у підземних навчальних закладах та підвищення загальної ефективності управління мікрокліматом.

### **3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ, КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІОТ-ТЕХНОЛОГІЙ**

У третьому розділі роботи буде акцентовано увагу на детальному проектуванні системи моніторингу, контролю та управління мікрокліматом із застосуванням ІоТ-технологій. Потреба в розробці такої системи обумовлена необхідністю створення оптимальних умов для перебування дітей у підземних дитячих садках та школах. Мікроклімат у таких приміщеннях має важливе значення для здоров'я і комфорту дітей, тому забезпечення стабільного рівня температури, вологості, якості повітря та освітленості є критично важливим завданням.

У процесі роботи над цим розділом буде визначено ключові апаратні засоби, що будуть використані для автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату, обґрунтовано вибір відповідних компонентів і датчиків, необхідних для точного моніторингу та ефективного управління. Особливу увагу буде приділено структурі контролера системи та його можливостям керувати виконавчими приладами, які забезпечуватимуть регулювання мікроклімату.

Також буде розглянено алгоритми побудови системи контролю, що дозволять оперативно реагувати на зміни умов у приміщеннях і підтримувати їх у межах заданих параметрів. Важливим аспектом буде вибір програмного забезпечення, яке забезпечить стабільну та безперебійну роботу системи. У підсумку буде представлено реалізацію автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату, включаючи забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання в підземних приміщеннях, що є необхідним для безперервної передачі даних і контролю системи.

### 3.1 Апаратні засоби автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні

Необхідним для безпечного і комфортного перебування дітей і персоналу у підземних дитячих закладах є вибір апаратних засобів для автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату в приміщеннях підземних дитячих садків та шкіл. Вибір відповідного обладнання є критично важливим, оскільки від нього залежить точність і надійність моніторингу та управління мікрокліматом. Метою є створення системи, яка здатна ефективно регулювати температуру, вологість, якість повітря та освітленість, забезпечуючи комфортні умови для дітей.

Основними компонентами системи контролю мікроклімату є датчики та сенсори, які здійснюють моніторинг різних параметрів навколишнього середовища. Серед них:

- датчики температури: необхідні для постійного вимірювання температури в приміщенні. Вони повинні мати високу точність і швидку реакцію на зміни температури;
- датчики вологості: дозволяють контролювати рівень вологості повітря, що є важливим для підтримання комфортного мікроклімату;
- датчики рівня CO<sub>2</sub>: необхідні для моніторингу якості повітря і виявлення підвищеного рівня вуглекислого газу, що може негативно вплинути на здоров'я дітей;
- датчики освітленості: забезпечують контроль рівня освітленості, що впливає на зорове здоров'я та комфорт перебування в приміщенні;
- інші датчики: можуть включати сенсори тиску, датчики руху тощо, в залежності від специфіки конкретного приміщення і вимог до системи.

Вибрані датчики повинні відповідати кільком ключовим вимогам:

- точність: забезпечення високої точності вимірювань є критично важливим для ефективного контролю мікроклімату;

– надійність: датчики повинні бути надійними та довговічними, здатними працювати в умовах підвищеної вологості та змінних температур;

– сумісність: датчики повинні бути сумісні з обраною платформою IoT та легко інтегруватися в загальну систему.

У підземних навчальних закладах, де відсутній природний доступ до свіжого повітря і сонячного світла, забезпечення оптимального мікроклімату є особливо важливим. Використання високоякісних датчиків дозволяє:

– забезпечити комфортний рівень температури: автоматичне регулювання систем опалення та кондиціонування забезпечує комфортну температуру протягом усього року;

– підтримувати оптимальну вологість: контроль рівня вологості дозволяє запобігти надмірній сухості або вогкості повітря, що важливо для здоров'я дітей;

– контролювати якість повітря: своєчасне виявлення підвищеного рівня CO<sub>2</sub> дозволяє вживати заходів для забезпечення свіжого повітря;

– забезпечити відповідний рівень освітленості: автоматичне регулювання освітлення дозволяє створити комфортні умови для навчання та відпочинку.

Необхідні для нас характеристики датчиків наведено у таблиці 3.1 [14–15].

Таблиця 3.1 – Характеристика основних датчиків

Параметр	Датчик температури	Датчик вологості	Датчик CO <sub>2</sub>	Датчик освітленості
Точність	±0.1°C	±1%	±50 ppm	±5%
Діапазон	-40°C до +85°C	0% до 100%	0 до 5000 ppm	0 до 100000 lux
Час реакції	<1 секунда	<10 секунд	<1 хвилина	<1 секунда
Сумісність	I2C, SPI	I2C, SPI	UART, I2C	I2C, SPI
Живлення	3.3V/5V	3.3V/5V	3.3V/5V	3.3V/5V

Для створення ефективної автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату в підземних дитячих садках і школах, було обрано конкретні датчики та виконавчі пристрої, які відповідають усім необхідним вимогам.

Датчик температури DHT22 обраний завдяки високій точності вимірювання ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ) та широкому діапазону ( $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ ), що дозволяє ефективно контролювати температуру в приміщенні. Він швидко реагує на зміни ( $< 2$  секунди) та сумісний з інтерфейсом I2C, що спрощує його інтеграцію в систему.

Датчик вологості DHT22 також використовується для вимірювання вологості, забезпечуючи точність ( $\pm 2\% \text{ RH}$ ) та широкий діапазон (0% до 100% RH). Його швидкий час реакції ( $< 5$  секунд) та сумісність з I2C дозволяють ефективно контролювати рівень вологості.

Датчик рівня  $\text{CO}_2$  MH-Z19B обраний через високу точність ( $\pm 50 \text{ ppm}$ ) та широкий діапазон вимірювання (0 до 5000 ppm). Він швидко реагує на зміни ( $< 60$  секунд) та сумісний з інтерфейсами UART і PWM, що забезпечує точний контроль рівня  $\text{CO}_2$ .

Датчик освітленості BH1750 обраний завдяки точності ( $\pm 20\%$ ) та широкому діапазону вимірювання (1 до 65535 lux). Він дуже швидко реагує на зміни ( $< 1$  секунда) та сумісний з I2C, що дозволяє ефективно контролювати рівень освітленості.

Характеристики обраних для подальшої роботи датчиків наведено в таблиці 3.2 [14–15].

Таблиця 3.2 – Характеристика обраних датчиків [15]

Параметр	Датчик температури (DHT22)	Датчик вологості (DHT22)	Датчик $\text{CO}_2$ (MH-Z19B)	Датчик освітленості (BH1750)
Точність	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 2\% \text{ RH}$	$\pm 50 \text{ ppm}$	$\pm 20\%$

Продовження таблиці 3.2

Діапазон	-40°C до +80°C	0% до 100% RH	0 до 5000 ppm	1 до 65535 lux
Час реакції	<2 секунди	<5 секунд	<60 секунд	<1 секунда
Сумісність	I2C	I2C	UART, PWM	I2C
Живлення	3.3V/5V	3.3V/5V	3.3V/5V	3.3V/5V

Для регулювання параметрів мікроклімату в підземних навчальних закладах було обрано декілька компонентів, які найдільш підходять для інтеграції в систему підземного приміщення.

Для регулювання температури в підземних навчальних закладах обрано розумний термостат Nest. Він сумісний з Wi-Fi і Zigbee, що дозволяє дистанційно керувати ним через смартфон і підтримувати комфортну температуру завдяки програмованому керуванню. Він представлений на рисунку 3.1 [27].



Рисунок 3.1 – Розумний термостат Nest

Для регулювання вологості обрано зволожувач та осушувач повітря Levoit LV600HH. Він також сумісний з Wi-Fi і може автоматично підтримувати заданий рівень вологості, запобігаючи надмірній сухості або вогкості. Наведено на рисунку 3.2 [28].



Рисунок 3.2 – Зволожувач та осушувач повітря Levoit LV600HH

Для очищення повітря від CO<sub>2</sub> обрано систему вентиляції з рекуперацією повітря Zehnder ComfoAir Q450. Завдяки сумісності з Modbus і KNX, вона легко інтегрується в систему автоматизованого очищення повітря з мінімальними втратами тепла та забезпечує ефективне очищення повітря від CO<sub>2</sub>. Наведено на рисунку 3.3 [29].



Рисунок 3.3 – Система вентиляції Zehnder ComfoAir Q450

Для освітлення обрано систему Philips Hue Smart Lighting. Вона сумісна з Zigbee і Wi-Fi, що дозволяє дистанційно керувати освітленням, регулюючи його яскравість та колір для створення комфортного рівня освітленості. Вона наведена на рисунку 3.4 [30].



Рисунок 3.4 – Система освітлення Philips Hue Smart Lighting

Характеристика обраних пристроїв наведена у таблиці 3.3 [27–30].

Таблиця 3.3 – Характеристика виконавчих пристроїв

Пристрій	Модель	Сумісність	Живлення
Регулювання температури	Розумний термостат Nest	Wi-Fi, Zigbee	5V (через адаптер)

## Продовження таблиці 3.3

Регулювання вологості	Зволожувач та осушувач Levoit LV600HH	Wi-Fi	220V (через адаптер)
Очищення повітря від CO <sub>2</sub>	Вентиляція Zehnder ComfoAir Q450	Modbus, KNX	220V
Освітлення	Philips Hue Smart Lighting	Zigbee, Wi-Fi	220V (через адаптер)

Обрані датчики та виконавчі пристрої інтегруються через центральний контролер, наприклад, на базі Raspberry Pi або іншої платформи з підтримкою IoT-протоколів (Zigbee, Wi-Fi, Modbus, KNX). Центральний контролер збирає дані з датчиків, аналізує їх і керує виконавчими пристроями відповідно до встановлених алгоритмів.

Ця система дозволяє забезпечити:

- постійний моніторинг і контроль параметрів мікроклімату;
- автоматичне регулювання температури, вологості, якості повітря та освітлення;
- можливість дистанційного керування та моніторингу через мобільні додатки.

Таким чином, обрані компоненти забезпечують сумісність і ефективну інтеграцію в єдину автоматизовану систему контролю мікроклімату, що дозволяє створити комфортні та безпечні умови в підземних дитячих садках і школах.

### 3.2 Структура контролера системи та керування виконавчими приладами системи

Серцем автоматизованої системи контролю мікроклімату є її контролер, який забезпечує інтеграцію всіх сенсорів та виконавчих пристроїв. Він збирає дані з датчиків, обробляє їх та керує виконавчими пристроями для підтримки оптимальних параметрів мікроклімату.

Raspberry Pi 4 Model B було обрано як основний контролер системи завдяки його потужним характеристикам та широким можливостям підключення. Чотириядерний процесор ARM Cortex-A72 з тактовою частотою 1.5 ГГц забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних з датчиків у режимі реального часу. Вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth 5.0 дозволяють контролеру легко взаємодіяти з іншими пристроями та мережами. Крім того, підтримка зовнішніх Zigbee модулів через USB забезпечує гнучкість у виборі та підключенні додаткових компонентів.

Для керування електричними пристроями, такими як вентилятори та освітлення, використовується 4-канальне реле, яке підтримує напругу 220V та керується через GPIO-піни Raspberry Pi. Це спрощує інтеграцію реле в систему та забезпечує надійне керування пристроями.

Для вентиляторів використовуються драйвери L298N Dual H-Bridge, що дозволяють регулювати швидкість обертання двигунів, забезпечуючи оптимальний рівень вентиляції у приміщенні.

Використання Raspberry Pi 4 Model B як контролера, 4-канального реле та драйверів L298N Dual H-Bridge дозволяє створити ефективну та надійну систему контролю мікроклімату. Raspberry Pi збирає дані з датчиків, аналізує їх та, на основі отриманої інформації, надсилає команди на виконавчі пристрої через реле та драйвери. Це забезпечує автоматичне регулювання мікроклімату та підтримку комфортних умов у підземних дитячих садках та школах.

### 3.3. Алгоритми побудови системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні

У цьому підрозділі ми розглянемо основні алгоритми, необхідні для реалізації системи контролю параметрів мікроклімату у підземних дитячих садках і школах. Для ефективного моніторингу та регулювання мікроклімату необхідно реалізувати послідовність дій, які дозволять збирати дані з датчиків, аналізувати їх, приймати рішення та управляти виконавчими пристроями. Це забезпечить стабільні та комфортні умови для перебування дітей і персоналу.

Основні завдання системи контролю мікроклімату:

- збір даних з датчиків: Температура, вологість, рівень CO<sub>2</sub>, рівень освітленості;
- аналіз зібраних даних: Оцінка поточного стану мікроклімату;
- прийняття рішень: Визначення необхідності корекційних дій;
- управління виконавчими пристроями: Регулювання температури, вологості, вентиляції та освітлення;
- повідомлення та інтерфейс користувача: Інформування користувачів про стан системи та можливість ручного втручання.

Етапи реалізації алгоритмів:

а) Ініціалізація системи:

- завантаження та конфігурація центрального контролера;
- ініціалізація всіх підключених датчиків та виконавчих пристроїв;
- налаштування з'єднання з хмарними сервісами для зберігання та аналізу даних.

б) Збір даних:

- періодичний збір даних з температурних, вологісних, CO<sub>2</sub> та світлових датчиків;
- збереження зібраних даних у локальній базі даних та відправлення у хмару для довготривалого зберігання.

в) Аналіз даних:

- перевірка отриманих даних на відповідність встановленим нормам (наприклад, температура: 20–24°C, вологість: 40–60%, рівень CO<sub>2</sub>: < 1000 ppm);
- виявлення відхилень від нормальних умов.

г) Прийняття рішень:

- на основі аналізу даних, система визначає необхідність втручання;
- якщо температура виходить за встановлені межі, система приймає рішення про включення/вимкнення обігрівача або кондиціонера;
- при перевищенні рівня CO<sub>2</sub>, система активує вентиляцію;
- для підтримання оптимальної вологості включаються/вимикаються зволожувачі/осушувачі.

д) Управління виконавчими пристроями:

- відправка команд на виконавчі пристрої через контролер;
- моніторинг виконання команд та зворотний зв'язок з пристроями для підтвердження успішного виконання.

е) Повідомлення та інтерфейс користувача:

- відображення поточного стану мікроклімату на інформаційних панелях;
- надсилання повідомлень користувачам (через мобільні додатки або електронну пошту) про критичні відхилення та дії системи;
- надання можливості ручного управління виконавчими пристроями через інтерфейс.

Алгоритм контролю мікроклімату в системі, а також опис етапів і виконуваних дій описані на рисунку 3.5 [18].

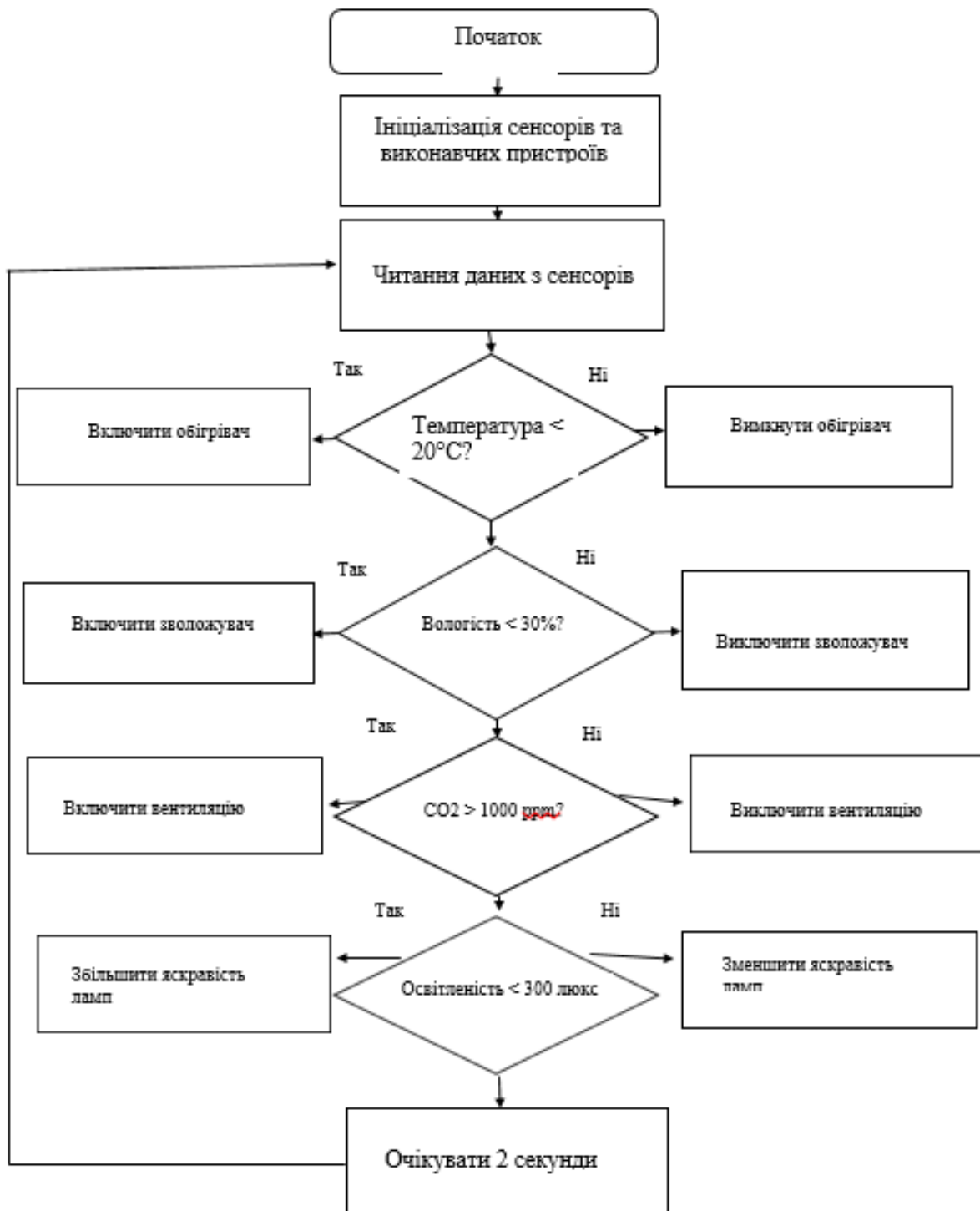


Рисунок 3.5 – Алгоритм контролю мікроклімату в системі

### 3.4 Програмне забезпечення системи для контролю параметрів мікроклімату

У цьому підрозділі буде розглянуто програмне забезпечення, яке буде використовуватися для контролю параметрів мікроклімату у підземних дитячих садках і школах. Програмне забезпечення відіграє ключову роль у збиранні, обробці даних з датчиків, прийнятті рішень та управлінні виконавчими пристроями. Вибір програмного забезпечення залежить від сумісності з обраним обладнанням, можливостей інтеграції та зручності використання.

Вимоги до програмного забезпечення:

- сумісність з IoT-пристроями: ПЗ повинно підтримувати всі обрані датчики та виконавчі пристрої;
- масштабованість: Можливість додавання нових пристроїв та датчиків без значних змін у коді;
- інтерфейс користувача: Зручний і зрозумілий інтерфейс для моніторингу та управління системою;
- безпека: Захист даних та безпечне з'єднання з хмарними сервісами;
- аналіз даних: Можливість зберігання та аналізу даних у реальному часі;
- оповіщення: Система сповіщень для критичних випадків та відхилень.

Тепер розглянемо компоненти системи які підходять під наші вимоги.

Платформа для збору та обробки даних:

- Blynk: Віддалене управління та моніторинг IoT-пристроїв через мобільний додаток;
- Node-RED: Інструмент для візуального програмування, що дозволяє об'єднувати датчики та виконавчі пристрої у єдину систему.

Хмарні сервіси:

- AWS IoT Core: Надійна платформа для підключення IoT-пристроїв до хмари, обробки та аналізу даних;

– Google Cloud IoT: Платформа для збору, обробки та зберігання даних з IoT-пристроїв, з можливістю аналізу та візуалізації.

Програмне забезпечення для контролера:

– Arduino IDE: Використовується для програмування мікроконтролерів Arduino, які можуть бути основою системи;

– MicroPython: Легка версія Python для мікроконтролерів, забезпечує зручне програмування та інтеграцію з іншими системами.

Основні компоненти програмного забезпечення, а також їх переваги і опис наведено в таблиці 3.6 [19]

Таблиця 3.6 – Основні компоненти програмного забезпечення

Компонент	Опис	Переваги
Blynk	Платформа для управління IoT-пристроями через мобільний додаток	Зручний інтерфейс, просте підключення нових пристроїв, можливість створення кастомних віджетів
Node-RED	Інструмент для візуального програмування	Легка інтеграція з різними датчиками та виконавчими пристроями, простота у використанні
AWS IoT Core	Хмарна платформа для IoT	Висока надійність, масштабованість, розширені можливості аналізу та зберігання даних
Google Cloud IoT	Хмарна платформа для IoT	Інтеграція з іншими сервісами Google, можливості машинного навчання та аналізу даних

## Продовження таблиці 3.6

Arduino IDE	Середовище розробки для мікроконтролерів Arduino	Підтримка великої кількості мікроконтролерів, велика спільнота розробників, безкоштовне використання
MicroPython	Python для мікроконтролерів	Зручне програмування, легка інтеграція з іншими системами, можливість використання існуючих бібліотек Python

Вибір програмного забезпечення:

– Blynk: Вибір на користь Blynk обумовлений зручністю використання та можливістю віддаленого управління системою через мобільний додаток. Це особливо важливо для підземних дитячих садків і шкіл, де необхідно оперативно реагувати на зміни мікроклімату;

– Node-RED: Використання Node-RED дозволяє швидко і легко створювати логіку роботи системи без необхідності глибоких знань програмування. Це забезпечує можливість швидкої інтеграції нових датчиків та виконавчих пристроїв;

– AWS IoT Core / Google Cloud IoT: Обидві платформи пропонують надійні та масштабовані рішення для зберігання та обробки даних. Вибір між ними може залежати від конкретних вимог та наявності інших інтеграцій у системі;

– Arduino IDE / MicroPython: Для програмування мікроконтролерів Arduino ідеально підходить Arduino IDE. У випадку використання інших мікроконтролерів, таких як ESP8266 або ESP32, MicroPython надає більш гнучкі можливості.

Для проектування системи контролю параметрів мікроклімату у підземних дитячих садках і школах, з урахуванням всіх вимог і обмежень, було обрано Arduino IDE як основну платформу для програмування мікроконтролерів.

### Причини вибору Arduino IDE:

- Широка підтримка датчиків та виконавчих пристроїв: Arduino IDE підтримує велику кількість різних датчиків та виконавчих пристроїв, що дозволяє легко інтегрувати всі необхідні компоненти в систему;
- Велика спільнота розробників: Існує велика кількість готових бібліотек та прикладів коду, що спрощує процес розробки та налагодження системи;
- Зручність у використанні: Arduino IDE має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє швидко почати роботу навіть новачкам;
- Надійність та стабільність: Arduino платформи відомі своєю надійністю і стабільною роботою у різних умовах.

В таблицях 3.7 і 3.8 підведемо підсумок обраних компонентів для системи контролю мікроклімату в підземному приміщенні [10, 19].

Таблиця 3.7 – Обрані компоненти програмного забезпечення

Компонент	Опис	Переваги
Arduino IDE	Середовище розробки для мікроконтролерів Arduino	Підтримка великої кількості мікроконтролерів, велика спільнота розробників, безкоштовне використання
Blynk	Платформа для управління IoT-пристроями через мобільний додаток	Зручний інтерфейс, просте підключення нових пристроїв, можливість створення кастомних віджетів
Node-RED	Інструмент для візуального програмування	Легка інтеграція з різними датчиками та виконавчими пристроями, простота у використанні

## Продовження таблиці 3.7

AWS IoT Core	Хмарна платформа для IoT	Висока надійність, масштабованість, розширені можливості аналізу та зберігання даних
--------------	--------------------------	--

Таблиця 3.8 – Основні компоненти контролера

Компонент	Опис	Переваги
Мікроконтролер	Arduino Uno / Mega / ESP8266	Висока сумісність з різними датчиками і виконавчими пристроями, велика спільнота розробників
Плата розширення реле	Плата з декількома реле для управління виконавчими пристроями	Можливість підключення кількох пристроїв, надійне управління
Інтерфейсна плата	Плата для підключення датчиків та комунікаційних модулів	Легка інтеграція датчиків і модулів, зручність у використанні
Модуль Wi-Fi	ESP8266 / ESP32	Забезпечує бездротове підключення до мережі для віддаленого управління і моніторингу

Обираючи Arduino IDE як основну платформу для розробки системи контролю мікроклімату, ми забезпечуємо стабільну та надійну роботу всієї системи. Використання Blynk та Node-RED дозволяє створити зручний інтерфейс та гнучкі алгоритми обробки даних. Інтеграція з AWS IoT Core

забезпечує зберігання та аналіз даних у хмарі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни мікроклімату та підтримувати комфортні умови для перебування дітей та персоналу.

### 3.5 Реалізація автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні із застосуванням IoT-технологій

У цьому розділі буде реалізовано автоматизована система контролю мікроклімату, яка була спроектована на основі обраних апаратних і програмних компонентів. Система буде контролювати параметри температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub> та освітленості у підземних дитячих садках і школах, забезпечуючи комфортні умови для перебування дітей та персоналу.

Етапи реалізації:

- монтаж апаратних компонентів;
- програмування контролера;
- налаштування програмного забезпечення;
- тестування та налагодження системи;
- введення в експлуатацію.

Монтаж апаратних компонентів передбачає фізичне встановлення та підключення всіх необхідних елементів системи. Спочатку встановлюються основні датчики для моніторингу параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, якість повітря та освітленість. Всі ці датчики підключаються до контролера Raspberry Pi 4 Model B через відповідні інтерфейси I2C, SPI та GPIO-піни. Важливо забезпечити належну ізоляцію та захист компонентів від можливих електромагнітних перешкод, а також врахувати їх оптимальне розташування для точного зчитування даних. На цьому етапі також монтуються виконавчі пристрої, такі як вентиляційні системи, зволожувачі, освітлювальні прилади та системи очищення повітря. У таблицях 3.9 і 3.10 наведено застосування і схему підключення компонентів системи [21].

Таблиця 3.9 – Застосування компонентів в системі

Компонент	Модель	Функція
Мікроконтролер	Arduino UNO	Управління системою, збір даних з датчиків
Температурний датчик	DHT22	Вимірювання температури
Датчик вологості	DHT22	Вимірювання вологості
Датчик рівня CO <sub>2</sub>	MH-Z19B	Вимірювання рівня CO <sub>2</sub>
Датчик освітленості	BH1750	Вимірювання рівня освітленості
Плата реле	4-канальна реле	Управління виконавчими пристроями
Wi-Fi модуль	ESP8266	Бездротове підключення до мережі
Обігрівач	Керований через реле	Підтримка оптимальної температури
Кондиціонер	Керований через ІЧ-приймач	Охолодження повітря
Вентилятор	Керований через реле	Вентиляція повітря
Зволожувач	Керований через реле	Підвищення вологості
Осушувач	Керований через реле	Зниження вологості
Система освітлення	Керована через реле	Регулювання рівня освітленості

Таблиця 3.10 – Схема підключення компонентів системи

Компонент	Підключення до Arduino UNO
DHT22	Цифровий пін 2

## Продовження таблиці 3.10

МН-Z19В	Цифровий пін 3
ВН1750	I2C (SDA - пін 20, SCL - пін 21)
Плата реле	Піни 22, 23, 24, 25
ESP8266	RX - пін 10, TX - пін 11
Обігрівач	Пін 22 (реле 1)
Кондиціонер	ІЧ-приймач (керування через ІЧ-команду)
Вентилятор	Пін 23 (реле 2)
Зволожувач	Пін 24 (реле 3)
Осушувач	Пін 25 (реле 4)
Система освітлення	Додаткове реле (підключення залежить від схеми)

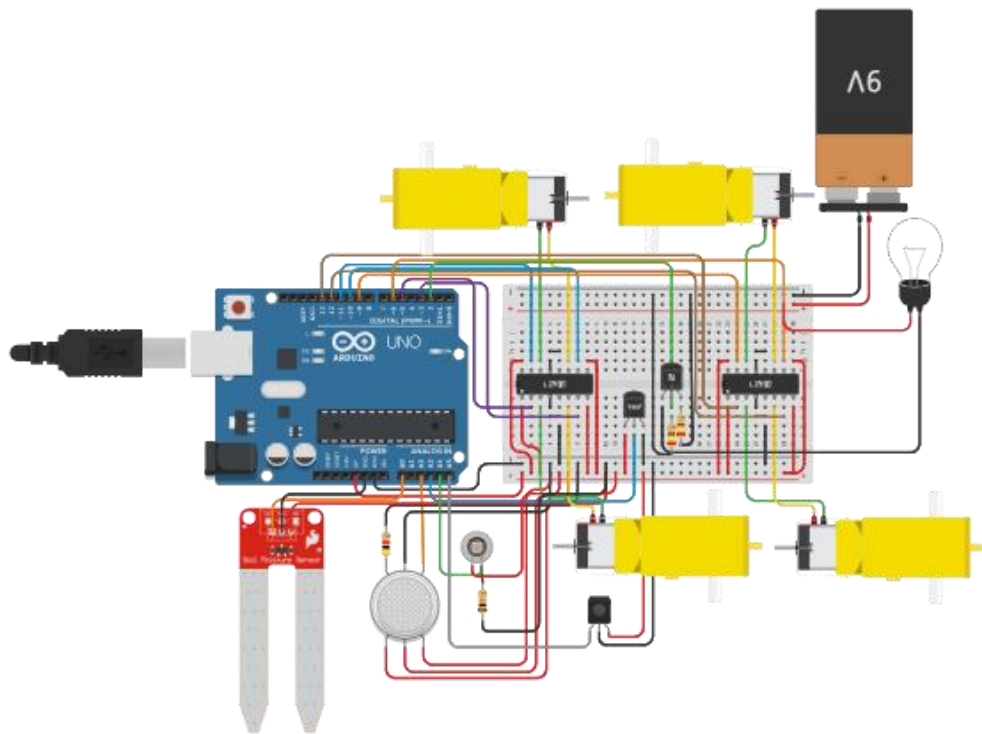


Рисунок 3.6 – Схема підключення компонентів системи

Програмування мікроконтролера Arduino включає розробку та завантаження програмного забезпечення на контролер. Програмування здійснюється мовою Python або з використанням Arduino IDE, що дозволяє створити алгоритми для зчитування даних з датчиків, їх обробки та прийняття рішень щодо керування виконавчими пристроями. Програма повинна включати модулі для збирання даних, порівняння їх з встановленими нормативами та надсилання команд виконавчим пристроям через GPIO-піни або Zigbee модулі. Особливу увагу слід приділити обробці можливих помилок та аварійних ситуацій. Основні функції програми включають:

- читання даних з датчиків;
- обробка даних та прийняття рішень;
- управління виконавчими пристроями через реле;
- передача даних на Blynk та Node-RED для візуалізації та подальшої обробки.

Нижче наведені структурна і функціональна схеми системи контролю мікроклімату.

Структурна схема показує основні компоненти системи та їх зв'язки. Система контролю мікроклімату складається з декількох основних компонентів. Перш за все, це датчики, які включають датчики температури, вологості, якості повітря (наприклад, CO<sub>2</sub>, VOC) та освітленості. Наступними компонентами є виконавчі пристрої, що включають системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, зволожувачі та освітлювальні прилади. Центральним елементом системи є мікроконтролер, який містить центральний модуль обробки даних (такий як Arduino) та модуль бездротового зв'язку (Wi-Fi, ZigBee або Bluetooth). Інтерфейс користувача складається з мобільного додатка та веб-інтерфейсу. Для зберігання, аналітики та обробки даних використовується хмарний сервер. Структурну схему системи наведено на рисунку 3.5 [20].



Рисунок 3.7 – Структурна схема системи контролю мікроклімату в підземному приміщенні

Функціональна схема показує потік даних і управління в системі. Спочатку відбувається збір даних: датчики, розташовані в різних точках приміщення, постійно збирають дані про температуру, вологість, якість повітря та освітленість. Потім зібрані дані передаються на мікроконтролер через дротовий або бездротовий зв'язок. Мікроконтролер обробляє отримані дані, порівнює їх з встановленими параметрами та приймає рішення про необхідність корекції мікроклімату. Він надсилає команди виконавчим пристроям для регулювання температури, вологості, якості повітря та освітлення.

Моніторинг і контроль здійснюється через хмарний сервер: дані про стан мікроклімату та роботу виконавчих пристроїв передаються на хмарний сервер. Користувачі можуть отримувати доступ до даних та керувати системою через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Дані зберігаються на хмарному сервері

для подальшого аналізу та оптимізації роботи системи. Функціональну схему системи наведено на рисунку 3.6 [20].

1. Збір даних  
Датчики ----> Мікроконтролер
2. Передача даних  
Мікроконтролер ----> Хмарний сервер
3. Обробка даних  
Мікроконтролер <----> Хмарний сервер
4. Управління виконавчими пристроями  
Мікроконтролер ----> Виконавчі пристрої
5. Моніторинг і контроль  
Хмарний сервер <----> Інтерфейс користувача
6. Зберігання та аналіз даних  
Хмарний сервер

Рисунок 3.8 – Функціональна схема системи контролю мікроклімату в підземному приміщенні

Налаштування програмного забезпечення є наступним важливим етапом. Це включає встановлення операційної системи на контролер, налаштування необхідних бібліотек та драйверів, а також забезпечення безперебійного підключення до мережі Wi-Fi. Крім того, необхідно налаштувати мобільний додаток для віддаленого моніторингу та керування системою. Важливо переконатися, що всі компоненти працюють коректно та забезпечують зручний інтерфейс для користувача.

**Вlunk:** Налаштування інтерфейсу користувача у мобільному додатку Вlunk, створення віджетів для відображення даних з датчиків та управління виконавчими пристроями.

**Node-RED:** Створення потоку для обробки даних з датчиків, прийняття рішень та відправки команд на контролер.

Тестування та налагодження системи є ключовим етапом, який гарантує її стабільну роботу. На цьому етапі проводяться різні види тестів для перевірки роботи датчиків, коректності збирання та обробки даних, а також ефективності роботи виконавчих пристроїв. Під час тестування виявляються та усуваються можливі недоліки, проводиться оптимізація алгоритмів для підвищення продуктивності та надійності системи. Налагодження включає коригування програмного забезпечення, перевірку всіх з'єднань та підключень, а також випробування системи в різних умовах.

Етапи тестування та налагодження системи:

- перевірка роботи датчиків: Тестування кожного датчика окремо для перевірки правильності показників;
- перевірка роботи виконавчих пристроїв: Тестування роботи реле та виконавчих пристроїв;
- інтеграція компонентів: Перевірка сумісності всіх компонентів та їх роботи у єдиній системі.

Завершальний етап, введення в експлуатацію, передбачає остаточне налаштування та запуск системи у робочому режимі. Після успішного тестування система інтегрується у приміщення, де буде здійснювати контроль мікроклімату. Проводиться фінальна перевірка всіх функцій, забезпечується постійний моніторинг її роботи та доступ до даних через мобільний додаток. Важливо також провести навчання користувачів, які будуть експлуатувати систему, та забезпечити технічну підтримку на випадок виникнення проблем.

- встановлення системи у підземному приміщенні: Монтаж датчиків та виконавчих пристроїв у відповідних місцях;
- налаштування мережевого підключення: Забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання для віддаленого моніторингу та управління;
- запуск та моніторинг: Запуск системи у робочому режимі, постійний моніторинг її роботи та налаштування параметрів за необхідністю.

Для безперервної і якісної роботи системи необхідно забезпечити підземне приміщення якісним і стабільним Wi-Fi з'єднанням. Для забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання в підземних приміщеннях необхідно враховувати кілька важливих факторів, які можуть впливати на якість сигналу та загальну продуктивність мережі. Підземні приміщення часто мають товсті стіни, металеві конструкції та інші перешкоди, що можуть значно знижувати силу сигналу та викликати інтерференцію. Для вирішення цієї проблеми можна застосовувати різні підходи.

Перш за все, слід провести ретельне планування розташування точок доступу. Використання більшої кількості точок доступу, розташованих стратегічно по всьому приміщенню, дозволить покращити покриття і зменшити кількість "мертвих зон". Розташування точок доступу повинно враховувати всі можливі перешкоди та забезпечувати мінімальне перекриття каналів, щоб уникнути інтерференції.

Також можна використовувати ретранслятори сигналу (репітери) або меш-мережі. Репітери підсилюють існуючий Wi-Fi сигнал і передають його далі, що дозволяє покращити покриття в приміщеннях зі складними умовами. Меш-мережі, в свою чергу, складаються з кількох вузлів, які працюють разом для створення єдиної безшовної мережі, що дозволяє забезпечити стабільне з'єднання навіть у великих і складних приміщеннях.

Ще одним важливим аспектом є вибір відповідного обладнання. Використання сучасних точок доступу, що підтримують останні стандарти Wi-Fi, такі як Wi-Fi 6 (802.11ax), може значно покращити продуктивність мережі. Wi-Fi 6 забезпечує вищу швидкість передачі даних, кращу підтримку багатокористувацьких з'єднань і знижує затримку сигналу. Крім того, слід звернути увагу на обладнання, яке підтримує функції Beamforming і MIMO (Multiple Input Multiple Output). Ці технології дозволяють точкам доступу краще фокусувати сигнал в напрямку підключених пристроїв і одночасно передавати дані на кілька пристроїв, що підвищує загальну ефективність мережі.

Для додаткового підвищення стабільності з'єднання можна використовувати кабельне підключення точок доступу до мережевого комутатора. Це зменшить навантаження на безпроводну мережу і забезпечить стабільну передачу даних між точками доступу. Також варто розглянути можливість використання резервних каналів зв'язку, таких як мобільні мережі або Ethernet-кабелі, для забезпечення безперебійної роботи мережі у випадку збоїв основного Wi-Fi з'єднання. Обране обладнання наведено в таблиці 3.11 [5].

Таблиця 3.11 – Вибір обладнання для забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання

Компонент	Модель	Призначення
Wi-Fi маршрутизатор	TP-Link Archer C7	Потужний маршрутизатор з двома частотними діапазонами
Точка доступу	Ubiquiti UniFi AP AC	Точка доступу з підтримкою Mesh мереж
Wi-Fi репітер	TP-Link RE450	Повторювач сигналу для розширення зони покриття
Powerline адаптер	TP-Link TL-PA9020P	Передача інтернету через електричні мережі

Приклад розміщення обладнання:

- маршрутизатор встановлюється біля входу у підземне приміщення, де підключається до інтернет-кабелю;
- точки доступу розміщуються по всьому приміщенню, забезпечуючи безшовне покриття;
- репітери встановлюються у місцях зі слабким сигналом для підсилення та ретрансляції сигналу;
- powerline адаптери використовуються для підключення точок доступу та репітерів у важкодоступних місцях через електричні розетки.

Забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання у підземних приміщеннях дитячих садків і шкіл є критичним завданням для ефективної роботи автоматизованої системи контролю мікроклімату. Використання потужного обладнання, стратегічне розміщення точок доступу та репітерів, а також застосування Powerline адаптерів дозволяє створити надійну та ефективну мережу, яка забезпечить безперервний доступ до інтернету для всіх компонентів системи.

### 3.6 Висновок до розділу

У розділі 3 ми детально розглянули процес проектування, вибору компонентів, програмування та реалізації автоматизованої системи контролю параметрів мікроклімату у підземних дитячих садках і школах із застосуванням IoT-технологій. Ми обрали відповідні датчики для вимірювання температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub> та освітленості, а також виконавчі пристрої, такі як обігрівачі, кондиціонери, вентилятори, зволожувачі, осушувачі та системи освітлення, з урахуванням їх сумісності з контролером та вимогами приміщення.

Ми розробили структуру контролера на основі мікроконтролера Arduino Mega, описавши підключення датчиків та виконавчих пристроїв до контролера для забезпечення надійного управління всіма компонентами системи. Розроблено алгоритми для обробки даних з датчиків та прийняття рішень щодо управління виконавчими пристроями, що дозволяє автоматично регулювати мікроклімат у приміщенні на основі заданих параметрів.

Обране програмне забезпечення для контролю параметрів мікроклімату включає мову програмування та середовище розробки Arduino IDE для програмування контролера, а також платформи Blynk та Node-RED для віддаленого моніторингу та управління системою. Ми описали процес монтажу апаратних компонентів, програмування контролера, налаштування програмного забезпечення та тестування системи, а також запропонували стратегії для

забезпечення стабільного Wi-Fi з'єднання у підземних приміщеннях, що є критичним для ефективної роботи системи.

Таким чином, реалізація автоматизованої системи контролю мікроклімату у підземних дитячих садках і школах дозволяє забезпечити комфортні та безпечні умови для перебування дітей та персоналу. Використання сучасних IoT-технологій, надійного апаратного та програмного забезпечення забезпечує високу ефективність, гнучкість та можливість масштабування системи для різних приміщень та умов експлуатації.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз існуючих ризиків і заходів безпеки

Перш за все, слід визначити основні ризики, пов'язані з роботою системи контролю параметрів мікроклімату у приміщенні. Основні ризики включають електричну небезпеку, пожежну небезпеку, небезпеку для здоров'я через можливі витoki газу чи неправильне функціонування системи вентиляції, а також ризики, пов'язані з кібератаками на систему.

Електрична безпека:

Оскільки система включає електронні компоненти, важливо забезпечити їх правильне підключення та ізоляцію, щоб уникнути коротких замикань та інших електричних небезпек. Для цього необхідно:

- використовувати тільки сертифіковані компоненти та пристрої;
- дотримуватися всіх інструкцій виробників при монтажі та підключенні;
- регулярно проводити перевірки та технічне обслуговування системи.

Пожежна безпека:

Система повинна бути встановлена з урахуванням пожежних норм і стандартів. Це включає:

- використання негорючих матеріалів для корпусів та кабелів;
- встановлення автоматичних вимикачів та запобіжників;
- наявність пожежних сигналізацій та систем гасіння пожежі.

Захист від витоків газу та інших шкідливих речовин:

Оскільки система може включати датчики газу та системи вентиляції, важливо забезпечити:

- регулярне калібрування та технічне обслуговування датчиків;

- автоматичне вимкнення системи вентиляції у разі виявлення небезпеки;
- наявність аварійних виходів та чітких інструкцій для евакуації у випадку витоку газу або інших шкідливих речовин.

Кібербезпека:

Оскільки система контролює мікроклімат та пов'язана з мережею Інтернет, необхідно забезпечити її захист від кібератак:

- використовувати сучасні методи шифрування даних;
- регулярно оновлювати програмне забезпечення та прошивки пристроїв;
- встановити міжмережеві екрани (фаєрволи) та системи виявлення вторгнень.

Заходи з охорони праці при експлуатації системи:

Для забезпечення безпеки працівників, які експлуатують систему, слід враховувати наступні заходи:

- проведення регулярних навчань та інструктажів з охорони праці;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), такими як гумові рукавички та ізолюючі інструменти;
- регулярний медичний огляд працівників.

Плани дій в надзвичайних ситуаціях:

У разі виникнення надзвичайних ситуацій, таких як пожежа, витік газу чи кібератака, повинні бути розроблені чіткі плани дій:

- наявність аварійного резервного живлення для критичних систем;
- автоматичне повідомлення відповідних служб (пожежна охорона, газова служба, служба кібербезпеки);
- чіткі інструкції для працівників щодо евакуації та інших дій у випадку надзвичайної ситуації.

## 4.2 Висновок до розділу

В результаті проведеної роботи було успішно реалізовано комплекс заходів, спрямованих на забезпечення охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях у підземних приміщеннях дитячих садочків та шкіл, де впроваджена система контролю мікроклімату з використанням IoT-технологій. Розроблені заходи включають інструкції з безпечного монтажу та експлуатації системи, а також передбачають регулярне технічне обслуговування для запобігання аварійним ситуаціям.

Забезпечено систематичний контроль за станом технічного обладнання та відповідність умов праці нормативним вимогам, що сприяє підвищенню рівня безпеки персоналу та дітей. Особливу увагу приділено розробці алгоритмів дій в умовах надзвичайних ситуацій, включаючи пожежі, витіки газу та інші аварійні події, що дозволяє швидко і ефективно реагувати на будь-які небезпеки.

Впровадження стабільного Wi-Fi-з'єднання та системи оповіщення у підземних приміщеннях значно покращило комунікацію та контроль над параметрами мікроклімату, що створює комфортні та безпечні умови перебування дітей.

Таким чином, проведені заходи забезпечили високий рівень безпеки та охорони праці у приміщеннях, де використовується система контролю мікроклімату, що підтверджується досягнутими результатами та відповідністю нормативним вимогам.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи було розроблено автоматизовану систему контролю мікроклімату у підземних дитячих садочках та школах з використанням IoT-технологій.

Було проведено детальний аналіз сучасних систем моніторингу, контролю та управління мікрокліматом, що дозволило виявити ключові тенденції та вимоги до таких систем.

Було створено архітектуру автоматизованої системи, яка включає в себе вибір апаратних засобів та методи інтеграції різноманітних датчиків і виконавчих пристроїв для контролю параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, якість повітря та освітлення. Було обрано відповідне апаратне забезпечення, зокрема мікроконтролер Raspberry Pi, датчики та виконавчі пристрої, що забезпечують точне вимірювання та ефективне регулювання параметрів мікроклімату.

Розробка структури контролера системи та керування виконавчими приладами дозволила створити ефективний та надійний механізм взаємодії між усіма компонентами системи. Алгоритми побудови системи контролю параметрів мікроклімату були розроблені з урахуванням вимог до точності, надійності та швидкості реагування на зміни в умовах середовища.

Особливу увагу було приділено вибору та розробці програмного забезпечення для контролю параметрів мікроклімату, що дозволило інтегрувати усі компоненти системи в єдину платформу управління. Програмування контролера, налаштування програмного забезпечення та тестування системи забезпечили її стабільну та ефективну роботу.

Окрім того, було розроблено стабільне Wi-Fi-з'єднання, що дозволяє здійснювати моніторинг та керування системою в режимі реального часу, навіть у складних умовах підземних споруд.

Данна система дозволяє підвищити ефективність управління мікрокліматом у підземних приміщеннях, створити комфортні та безпечні умови для дітей, а також забезпечити надійну роботу системи з мінімальними затратами на обслуговування.

Робота досягла своєї мети, продемонструвавши високий рівень інноваційності та практичної цінності розробленого рішення.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
2. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: навч. посібник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Київ–58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2022. – 245 с.
3. Методичні вказівки до Підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.
4. Crawford J. Designing the Internet of Things [Text] / J. Crawford. – Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2018. – 304 p.
5. Wi-Fi Alliance. Wi-Fi 6 (802.11ax) Specification Режим доступу: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>
6. Bluetooth SIG. Bluetooth Core Specification. Режим доступу: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification-5-3/>
7. Zigbee Alliance. Zigbee 3.0 Specification. Режим доступу: <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-zigbee-specification.pdf>
8. An IoT-Based Smart Home Automation System Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3784>
9. Архітектура системи контролю мікроклімату в замкненому приміщенні  
URL:[https://www.researchgate.net/publication/369015223\\_ARHITEKTURA\\_SISTEMI\\_KONTROLU\\_MIKROKLIMATU\\_U\\_ZAMKNUTOMU\\_PRIMISENNI](https://www.researchgate.net/publication/369015223_ARHITEKTURA_SISTEMI_KONTROLU_MIKROKLIMATU_U_ZAMKNUTOMU_PRIMISENNI)

10. Arduino – Open source electronics platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/>.
11. Espressif Systems – ESP8266 and ESP32 Series of Wi-Fi Chips [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.espressif.com/>.
12. MicroPython – Python for microcontrollers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://micropython.org/>.
13. Garcia, R. IoT Security: Advances in authentication and authorization / R. Garcia. – Wiley, 2020. – 390 p.
14. DHT22 Humidity and Temperature Sensor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.adafruit.com/product/385>
15. MQ-135 Air Quality Sensor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sparkfun.com/products/9403>
16. Internet of things [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>
17. J. Gantz and D. Reinsel, “The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east,” IDC iView: IDC Anal. Future, vol. 2007, pp. 1–16, Dec. 2012.
18. Manohar H. L. T. Data Consumption Pattern of MQTT Protocol for IoT Applications. In: Venkataramani G., Sankaranarayanan K., Mukherjee S., Arputharaj K., Sankara Narayanan S. (eds) Smart Secure Systems – IoT and Analytics Perspective. ICIT 2017. Communications in Computer and Information Science, vol 808. Springer, Singapur, 2018 – P. 97 – 99;
19. SIGFOX BASED INTERNET OF THINGS: TECHNOLOGY, MEASUREMENTS AND DEVELOPMENT // [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/27666/Hemjal.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
20. S.Dhanalakshmi, IoT Based Indoor Air Quality and Smart Energy Management for HVAC System / S.Dhanalakshmi, M.Poongothai, Kaner Sharma // Procedia Computer Science, Выпуск 171 — 2020 — с. 1800-1809

21. Ashkan Haji Hosseinloo, Data-driven control of micro-climate in buildings: An event-triggered reinforcement learning approach / Ashkan Haji Hosseinloo, Alexander Ryzhov, Aldo Bischi, Henni Ouerdane, Konstantin Turitsyn, Munther A.Dahleh // Applied Energy, Випуск 277 — 2020 — с. 115-129

22. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / уклад. Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.

23. Daikin FTXB35C/RXB35C. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://daikin-ukraine.com/prodazha/konditsionery-bytovye/nastennye/daikin/ftxb35c-rxb35c/>.

24. Germ-Free Cool Mist Humidifier HCM-350. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.honeywellstore.com/store/products/germ-free-cool-mist-humidifier-hcm-350.htm>.

25. Dyson AM09 Hot+Cool. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ds.in.ua/product/teploventiljator-dyson-am09-hotcool/>.

26. Провітрювач Vents Breezy 160 E. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://vents-shop.com.ua/provitryuvach-vents-breezy-160-e/>.

27. Nest Learning Thermostat. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.smarty.ninja/hard/sensors/nest-learning-thermostat/>.

28. Levoit Humidifiers. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://levoit.com.ua/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw1emzBhB8EiwAHwZZxXXiJ7V1LKJovW0kRIiFHANJHPTIJ5dKxmnQ3AkIfkmUJ4M9b054FRoCQwoQAvD\\_BwE](https://levoit.com.ua/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw1emzBhB8EiwAHwZZxXXiJ7V1LKJovW0kRIiFHANJHPTIJ5dKxmnQ3AkIfkmUJ4M9b054FRoCQwoQAvD_BwE).

29. Zehnder ComfoAir Q450 TR Enthalpy. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://shop.alterair.ua/ru/product/zehnder-comfoair-q450-tr-enthalpy/>.

30. Philips Hue Smart Lighting. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.smarty.ninja/hard/lights/znaiomstvo-z-rozumnym-osvitlenniam-philips-hue/>.