

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
(рівень вищої освіти)

Автоматизована система моніторингу мікроклімату у приміщенні на базі  
Arduino  
(тема)

Виконав: здобувач IV року навчання,  
групи КІУКІ-21-9

Колпашикова К.Ю.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерна інженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник ст. викладач Мірошник А.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Чумаченко С.В.  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
(шифр і назва)  
Тип програми Освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма Комп'ютерна інженерія  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Колпациковій Карині Юріївні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Автоматизована система моніторингу мікроклімату у приміщенні на базі Arduino

затверджена наказом по університету від "21 " 05 2025 р. № 403Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 12.06.2025

3. Вихідні дані до роботи (проекту) \_\_\_\_\_

Технічне завдання на розробку системи моніторингу мікроклімату

Специфікації мови програмування C++

Специфікації мікроконтролера AVR ATmega328P

Інтегроване середовище розробки програмного забезпечення Arduino IDE

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

Системи моніторингу мікроклімату у приміщеннях: теоретичні аспекти та аналіз існуючих рішень

Реалізація апаратної складової системи

Реалізація програмного забезпечення системи

Реалізація макетного зразка та результати дослідної експлуатації

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Презентація (18 слайдів)

---

---

---

---

---

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

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

7. Дата видачі завдання 06.05.2025

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Видача теми проекту, узгодження і затвердження	06.05.2025 - 10.05.2025	
2	Аналіз проблемної галузі, постановка задачі, вибір інструментальних засобів	10.05.2025 - 17.05.2025	
3	Розробка моделі системи	17.05.2025 - 24.05.2025	
4	Розробка апаратної платформи системи	24.05.2025 - 31.05.2025	
5	Розробка програмного забезпечення системи	31.05.2025 - 05.06.2025	
6	Проведення випробування системи	05.06.2025 - 07.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	07.06.2025 - 10.06.2025	
8	Перевірка виконаного проекту керівником	10.06.2025 - 13.06.2025	
9	Захист проекту	13.06.2025 - 23.06.2025	

Здобувач



(підпис)

Колпащикова К.Ю.

Керівник роботи (проекту)



(підпис)

старший викладач Мірошник А.М.

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до атестаційної роботи містить 66 сторінок, 26 рисунки, 4 таблиці, 3 додатки, 14 джерел за переліком посилань.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, МІКРОКЛІМАТ, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, КОНЦЕНТРАЦІЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ, ARDUINO, CO<sub>2</sub>, C++.

Об'єктом розробки є автоматизована система моніторингу мікроклімату, призначена для визначення параметрів навколишнього середовища у приміщенні.

Предметом розробки є апаратно-програмний комплекс для зчитування параметрів мікроклімату у приміщенні та їх аналізу.

Метою розробки є створення автоматизованої системи моніторингу мікроклімату на базі мікроконтролера, яка забезпечує точний збір, обробку та візуалізацію даних про стан мікроклімату у приміщенні в режимі реального часу, а також зберігання інформації для подальшого аналізу.

У першому розділі кваліфікаційної роботи досліджено предметну область та вплив мікроклімату приміщення на людину.

У другому розділі представлено повну реалізацію апаратної частини системи моніторингу мікроклімату, а також наведено аргументований вибір технічних рішень для реалізації.

У третьому розділі наведено алгоритм та реалізацію програмного забезпечення системи.

В останньому розділі проведено тестування макетного зразка системи та наведено результати, які показали працездатність проекрованої системи.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis contains 66 pages, 26 figures, 4 tables, 3 appendices, 14 sources according to the list of references.

AUTOMATED SYSTEM, MICROCLIMATE, TEMPERATURE, HUMIDITY, CARBON DIOXIDE CONCENTRATION, ARDUINO, CO<sub>2</sub>, C++.

The object of the development is an automated microclimate monitoring system designed to determine the environmental parameters within a room.

The subject of the development is a hardware and software complex for reading and analyzing microclimate parameters in indoor spaces.

The goal of the development is to create an automated microclimate monitoring system based on a microcontroller, which ensures accurate collection, processing, and visualization of data on the state of the indoor microclimate in real-time, as well as storing the information for subsequent analysis.

The first chapter of the bachelor's thesis explores the subject area and examines the impact of indoor microclimate on humans.

The second chapter presents the complete implementation of the hardware components of the microclimate monitoring system and provides a justified selection of technical solutions for its realization.

The third chapter describes the algorithm and implementation of the system's software.

The final chapter includes the testing of the system prototype and presents the results, which demonstrate the functionality and operability of the designed system.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів ..	8
Вступ.....	9
1 Мікроклімат приміщення .....	11
1.1 Вплив мікроклімату на здоров'я і продуктивність людини.....	11
1.2 Чинники, що визначають мікроклімат приміщення.....	13
1.3 Системи регулювання мікроклімату у приміщенні .....	15
1.2.1 Традиційні системи керування мікрокліматом.....	15
1.3.2 Автоматизовані системи керування мікрокліматом .....	17
1.3.3 Автоматичні системи керування мікрокліматом.....	19
1.4 Інтеграція автоматизованих систем регулювання мікроклімату з системами розумного дому .....	20
1.5 Технічне завдання на проектування.....	22
2 Розробка апаратної частини системи моніторингу мікроклімату у приміщенні.....	24
2.1 Компоненти системи моніторингу мікроклімату .....	24
2.1.1 Датчики .....	24
2.1.2 Контролер .....	36
2.1.3 Підсистема взаємодії з користувачем .....	38
2.1.4 Живлення .....	40
2.2 Реалізація апаратної складової проектованої системи.....	42
3 Розробка програмного забезпечення системи моніторингу мікроклімату .....	48

3.1 Структура програмного забезпечення та вибір мови програмування.....	48
3.2 Реалізація програмного забезпечення.....	50
4 Дослідна експлуатація макетного зразка.....	59
4.1 Опис макетного зразка та методики випробувань.....	59
4.2 Результати моделювання роботи тестового зразка .....	61
Висновки .....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	65
Додаток А.....	67
Додаток Б.....	76
Додаток В.....	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АСММ – автоматизована система моніторингу мікроклімату.

МК – мікроконтролер.

LCD – рідкокристалічний дисплей (Liquid Crystal Display).

UART – універсальний асинхронний приймач-передавач (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).

I<sup>2</sup>C – послідовний інтерфейс для підключення периферійних пристроїв (Inter-Integrated Circuit).

SPI – послідовний периферійний інтерфейс (Serial Peripheral Interface).

Температура (°C) – фізична величина, що визначає ступінь нагрівання об'єкта.

Вологість (%) – кількість водяної пари у повітрі відносно максимально можливої за даної температури.

CO<sub>2</sub> (ppm) – концентрація вуглекислого газу, виражена у частинах на мільйон (parts per million).

EEPROM – електрично перепрограмована постійна пам'ять (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory).

RTC – годинник реального часу (Real-Time Clock).

PWM – широтно-імпульсна модуляція (Pulse Width Modulation).

IDE – інтегроване середовище розробки (Integrated Development Environment).

Дисплей – пристрій для візуального відображення інформації.

## ВСТУП

Автоматизація систем моніторингу мікроклімату в приміщенні набуває все більшого значення у зв'язку з підвищенням вимог до якості повітря, енергозбереженням та створенням комфортних умов для проживання чи роботи. В сучасних умовах житлові та робочі приміщення мають відповідати багатьом критеріям комфорту, серед яких підтримання оптимальних температури, вологості та рівня освітленості є основними факторами, що впливають на самопочуття людини, ефективність праці та здоров'я. Одним із перспективних рішень у цій сфері є створення автоматизованих систем моніторингу та управління мікрокліматом, здатних відстежувати та підтримувати оптимальні параметри повітря в реальному часі.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої системи моніторингу мікроклімату у приміщенні на базі мікроконтролера. Ціль даної кваліфікаційної роботи — розробити автоматизовану систему моніторингу, яка дозволить у режимі реального часу відслідковувати та контролювати ключові параметри мікроклімату. Вибір мікроконтролера як базового елемента обумовлений його широкими можливостями для інтеграції з різноманітними датчиками, що дозволяють вимірювати показники температури, вологості та рівня вуглекислого газу. У рамках роботи передбачено створення системи, що за допомогою датчиків і відповідного програмного забезпечення забезпечує збір і обробку даних, на основі яких здійснюється регулювання параметрів мікроклімату.

Перевагами запропонованої системи є її гнучкість, доступність та відносна економічність у порівнянні з комерційними аналогами. Завдяки можливості інтеграції з різноманітними пристроями, такими як обігрівачі, вентилятори та зволожувачі повітря, ця система може легко адаптуватися під потреби конкретного приміщення або користувача. У ході виконання роботи

буде розглянуто існуючі рішення в сфері автоматизації мікроклімату, проведено аналіз необхідних компонентів, описано методологію розробки апаратної та програмної частин системи, а також виконано тестування макетного зразка для оцінки ефективності роботи.

Отже, створення автоматизованої системи моніторингу мікроклімату на базі мікроконтролера є важливим завданням, що відповідає актуальним вимогам комфорту та енергоефективності, а також може мати широке застосування у житлових і комерційних приміщеннях.

# 1 МІКРОКЛІМАТ ПРИМІЩЕННЯ

## 1.1 Вплив мікроклімату на здоров'я і продуктивність людини

Розглянемо, як основні параметри мікроклімату – температура, вологість, швидкість руху повітря і якість повітря – впливають на здоров'я та продуктивність людини [1]:

### 1. Температура повітря.

Оптимальна температура повітря в приміщенні сприяє комфортному перебуванню та працездатності. При підвищених температурах організм людини починає швидше втрачати вологу, що призводить до зниження концентрації, втоми і навіть теплового стресу, що може викликати порушення роботи серцево-судинної системи. Навпаки, при низьких температурах організм витрачає більше енергії на обігрів, що може спричинити переохолодження, зниження імунітету і ризик захворювань, наприклад, простудних. Оптимальна температура, яка підтримує баланс між комфортом і енергоефективністю, зазвичай становить 20-24 °С для житлових та офісних приміщень.

### 2. Вологість повітря.

Відносна вологість повітря – ще один важливий фактор комфорту. Занадто сухе повітря (вологість нижче 30%) пересушує слизові оболонки, що робить організм вразливішим до інфекцій. У приміщеннях з високою вологістю (понад 60%) можуть створюватися умови для росту цвілі та грибків, які можуть викликати алергії та астматичні реакції. Оптимальна вологість повітря в приміщенні повинна становити 40-60%, що забезпечує нормальне функціонування органів дихання і сприяє комфортному перебуванню.

### 3. Швидкість руху повітря.

Рух повітря є важливим для регуляції температури тіла. При низькій швидкості повітря може виникнути відчуття задушливості, що призводить до

зниження концентрації та дискомфорту. Надмірно сильний рух повітря також небажаний, оскільки може спричинити переохолодження та сприяти поширенню пилу та інших алергенів у приміщенні. Оптимальна швидкість руху повітря в приміщенні для комфорту зазвичай становить 0.1-0.2 м/с.

#### 4. Якість повітря.

Забруднення повітря негативно впливає на здоров'я та продуктивність людини. Підвищений рівень вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) викликає сонливість і зниження концентрації. Наявність летких органічних сполук та пилу, які можуть виділятися з матеріалів інтер'єру, також призводить до погіршення якості повітря. Наприклад, концентрація CO<sub>2</sub> понад 1000 ppm (часток на мільйон) вважається небажаною і може викликати негативний вплив на концентрацію та самопочуття. Для підтримання високої якості повітря рекомендується використовувати системи вентиляції та фільтрації повітря.

#### 5. Освітлення.

Освітлення також є важливим аспектом мікроклімату, яке впливає на продуктивність і психологічний комфорт. Погане або надмірне освітлення може спричинити втому очей, головний біль і загальну втомлюваність. Нестача природного світла може впливати на рівень вітаміну D, а також викликати сезонні емоційні розлади (SAD). Для комфортних умов роботи рекомендується підтримувати освітлення в межах 300-500 люкс.

Вплив на продуктивність. Оптимальні параметри мікроклімату сприяють підвищенню продуктивності праці, концентрації та загальної мотивації. Наприклад, дослідження показують, що температура в межах 21-23°C і вологість на рівні 40-60% позитивно впливають на ефективність роботи та знижують рівень стресу. Навпаки, високий рівень вуглекислого газу і недостатня вентиляція можуть знижувати продуктивність до 30%, особливо в умовах інтенсивної розумової праці.

Враховуючи ці аспекти, вкрай важливим є підтримка стабільних та комфортних кліматичних умов у приміщеннях, що в свою чергу позитивно впливає на здоров'я, продуктивність і загальне самопочуття людини.

## 1.2 Чинники, що визначають мікроклімат приміщення

Мікроклімат у приміщенні має значний вплив на стан здоров'я людини, яка тривалий час перебуває в ньому. Оптимальними кліматичні умови вважаються тоді, коли організм зберігає тепловий баланс, тобто отримує та віддає однакову кількість тепла. Порушення цих параметрів призводить до дискомфорту, що з часом може негативно позначитися на здоров'ї людини. На формування мікроклімату впливають як зовнішні чинники, так і внутрішні – зокрема, процеси, що відбуваються в приміщенні, а також системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (рис.1.1). [1]

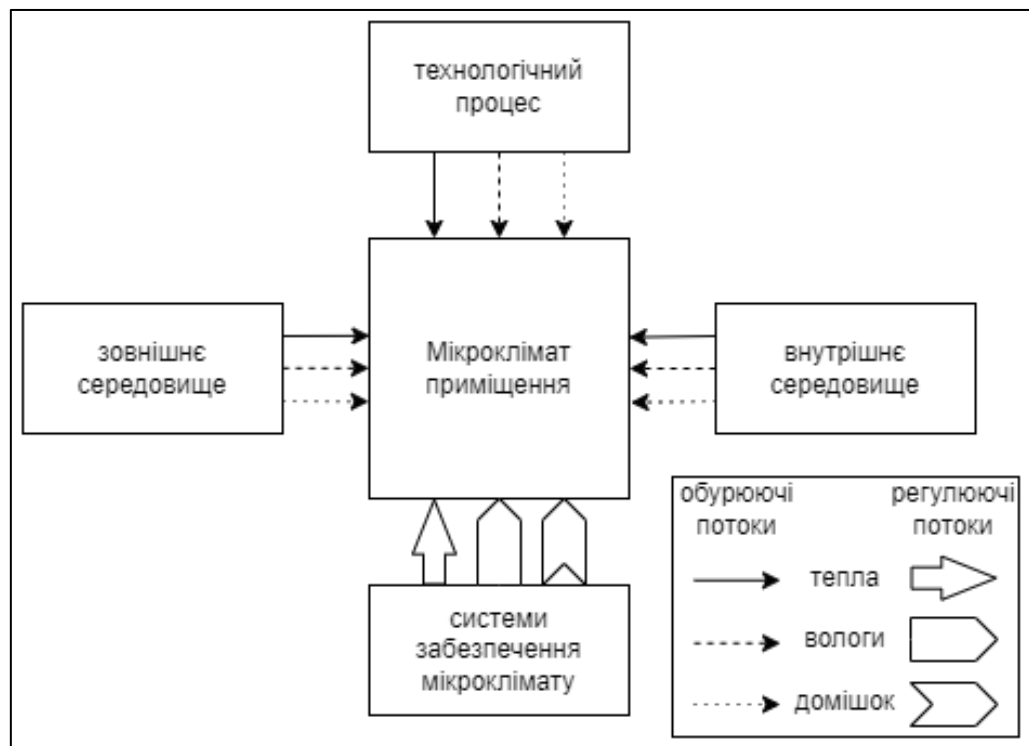


Рисунок 1.1 – Схема формування мікроклімату приміщення

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря, таких як температура, вологість, швидкість його руху, а також додаткові характеристики, що визначають якість повітряного середовища. Ці показники

мають значний вплив на здоров'я, комфорт і працездатність людини. Для досягнення оптимальних умов мікроклімату потрібно враховувати не лише зовнішні фактори, такі як температура зовнішнього повітря та пори року, а й особливості приміщення, технічні процеси, що у ньому відбуваються, та наявність систем регулювання клімату [1].

Наприклад, у виробничих приміщеннях під час технологічних процесів можуть виділятися тепло, волога, пил і газу, що призводить до погіршення якості повітря та підвищення температури. Системи вентиляції, опалення та кондиціонування повітря допомагають контролювати ці показники, усуваючи або зменшуючи вплив небажаних факторів на внутрішній клімат.

У житлових приміщеннях або офісах, де люди проводять багато часу, надмірне відхилення мікроклімату від оптимальних параметрів може викликати дискомфорт, втому та зниження продуктивності. Відповідно до санітарно-гігієнічних норм, допустимі значення цих показників повинні забезпечувати безпеку та комфорт для здоров'я при тривалому впливі. При цьому важливе значення має також локальний розподіл температури, тобто відсутність різких температурних перепадів у приміщенні, що може вплинути на відчуття тепла чи холоду.

Сучасні інтелектуальні системи управління мікрокліматом здатні автоматично підтримувати оптимальні параметри клімату. Використання електронних контролерів дозволяє не тільки централізовано керувати кліматом, але й зменшувати витрати енергії на підтримку комфортних умов, оскільки ці системи можуть автоматично адаптуватися до змін зовнішніх умов. Крім того, автоматизація системи клімат-контролю дозволяє створювати більш сприятливе середовище з мінімальним втручанням з боку людини.

Таким чином, інтеграція таких інтелектуальних систем для моніторингу та регулювання мікроклімату дозволяє не тільки досягти комфорту і безпеки, але й сприяє підвищенню загальної енергоефективності будівель, що є важливим аспектом в умовах сучасної екологічної обстановки та необхідності раціонального використання енергетичних ресурсів.

### 1.3 Системи регулювання мікроклімату у приміщенні

Комфорт у приміщенні забезпечується насамперед належною температурою та чистотою повітря. Для створення ідеальних умов у будинку варто використовувати систему мікроклімату. Оптимальним вважається повітря, яке проходить фільтрацію, має достатню вологість і підтримується в комфортному температурному діапазоні. Досягти цього можна за допомогою фільтраційних систем, приладів для нагрівання, охолодження, зволоження та рекупераційного обладнання.

За результатами аналізу науково-технічних джерел сучасні системи контролю мікроклімату умовно поділяються на три основні типи: традиційні, автоматизовані та автоматичні [2]. Кожен тип має свої особливості, які докладно розглянемо далі.

#### 1.2.1 Традиційні системи керування мікрокліматом

Традиційні системи управління мікрокліматом базуються на використанні механічних терморегуляторів та термостатів, які реагують на зміну температури за допомогою датчиків і механічних перетворювачів [2]. Ці пристрої налаштовані на принцип теплового розширення матеріалів, зокрема, газів чи металевих елементів, які змінюють форму при нагріванні чи охолодженні. Наприклад, механічний терморегулятор працює завдяки біметалічним пластинам, що виготовлені з двох різних металів, які розширюються з різною інтенсивністю. Така конструкція є як датчиком температури, так і регулятором у одному корпусі.

Для управління системами теплої підлоги (рис.1.2) часто використовуються механічні регулятори, де температура регулюється поворотом ручки на потрібне значення. Цей прилад не активується автоматично при зниженні температури нижче встановленого рівня і не вимикається, коли тепло перевищує допустимий поріг. Така система дозволяє

підтримувати комфортну температуру навіть при низьких зовнішніх температурах, проте потребує регулярної ручної корекції.



Рисунок 1.2 – Система теплої підлоги

Щодо систем опалення з радіаторами, тут традиційно застосовуються термостатичні вентиля та термоголовки. Наприклад, ручні термоголовки (рис.1.3) працюють як регулюючий кран, завдяки якому можна змінювати об'єм теплоносія, що потрапляє до радіатора. Однак їхнім недоліком є те, що часте використання може призвести до зношення внутрішнього механізму, зокрема вентиля, що потребуватиме ремонту.



Рисунок 1.3 – Ручна термоголовка

Більш складною є механічна термоголовка, що містить у собі газовий або рідкий тепловий агент. При нагріванні він розширюється і регулює подачу тепла до радіатора, коригуючи температурні коливання. Ці термоголовки можуть значно підвищити точність підтримки температури, проте їхня вартість є вищою за ручні моделі.

Основними перевагами традиційних систем є їхня простота, доступна вартість та висока надійність, що робить їх привабливими для побутового використання. Такі системи не потребують складної електроніки чи програмного забезпечення, що знижує витрати на їх обслуговування. Однак недоліком є недостатня точність контролю кліматичних параметрів і високе споживання енергії, оскільки вони постійно потребують ручного регулювання і не мають функції автоматичного контролю на базі цифрових алгоритмів.

Традиційні механічні системи все ще користуються популярністю через свою простоту в експлуатації і довговічність. У випадках, коли точне підтримання температури не є критичним, ці системи можуть забезпечити надійну роботу і комфорт, проте в сучасних умовах, коли важливими є енергозбереження і точний контроль мікроклімату, багато споживачів надають перевагу автоматизованим та інтелектуальним системам.

### 1.3.2 Автоматизовані системи керування мікрокліматом

Автоматизовані системи управління мікрокліматом використовують мікроконтролери на кшталт Siemens Logo (рис.1.4) або Pixel, замінюючи механічні реле на електронні програмовані вимикачі [2]. Такий підхід дозволяє задавати точні параметри роботи системи згідно з визначеним алгоритмом, що забезпечує стабільне і гнучке керування кліматичними умовами. Електронний терморегулятор, що є ключовим елементом автоматизованої системи, складається з головного блоку і температурного датчика, який надсилає сигнали про підвищення або зниження температури, активуючи відповідні дії системи.



Рисунок 1.4 – Контролер Siemens Logo

Сучасні автоматизовані системи для управління радіаторами включають електронні термоголовки з вбудованими мікропроцесорами, які управляють подачею теплоносія. Такі пристрої можуть мати додаткові функції, як-от програмування температури за часом доби або днями тижня. Завдяки цьому користувач може налаштувати кліматичні умови з урахуванням особистих потреб або графіку роботи. Зазвичай термоголовки працюють від батарейок, яких вистачає на тривалий час, хоча за їхнім зарядом все ж потрібно стежити.

Автоматизовані системи мають значні переваги: можливість точного підтримання параметрів, порівняно невисоку вартість і гнучкість у налаштуванні. Однак їхні недоліки включають обмеження в роботі поза рамками заданого алгоритму, що може призвести до некоректного управління у випадку зміни умов чи додавання нових елементів. Також для адаптації до нових вимог може знадобитися оновлення алгоритмів або перепрограмування, що інколи потребує додаткових зусиль і знань.

Загалом автоматизовані системи дозволяють зменшити залежність від постійного ручного регулювання та забезпечують точне управління

мікрокліматом, що особливо важливо для підтримання енергоефективності та комфорту.

### 1.3.3 Автоматичні системи керування мікрокліматом

Автоматичні системи управління — це комплекс механізмів і елементів керованого об'єкта, призначений для забезпечення автономної роботи без потреби в постійному втручанні людини [2]. Сучасні автоматичні системи все частіше розробляють із застосуванням штучного інтелекту, що дозволяє зосередитися тільки на вхідних та вихідних параметрах без створення детальних моделей усіх фізичних аспектів керованого об'єкта. Така структура моделювання є спрощеним представленням спостережуваних процесів, що відбуваються в об'єкті.

У подібних системах для управління параметрами, як-от температурою в приміщенні, застосовують різноманітні технології, зокрема диференціальні рівняння теплового балансу будівлі, нечітку логіку, нейронні мережі, мультиагентні підходи й генетичні алгоритми. Наприклад, інтелектуальні системи клімат-контролю для приміщень можуть складатися з автоматичних термостатів, сенсорів температури й вологості. Ці пристрої здатні адаптувати роботу систем опалення та охолодження, підтримуючи комфортні умови з урахуванням змін у зовнішньому середовищі та інших параметрів.

Автоматичні системи на базі штучного інтелекту підвищують енергоефективність, адже вони враховують тепловтрати, рівень зайнятості приміщень, а також інші параметри. Наприклад, використання нейронних мереж дає змогу системі «навчатися» на основі минулих даних і адаптуватися до змінних умов, що особливо корисно для житлових і комерційних приміщень.

#### 1.4 Інтеграція автоматизованих систем регулювання мікроклімату з системами розумного дому

Інтеграція автоматизованих систем мікроклімату з системами "розумного дому" дозволяє значно підвищити комфорт і енергоефективність сучасного житла, забезпечуючи оптимальні кліматичні умови при зниженні енергоспоживання [3]. Розглянемо, як ця інтеграція працює на різних рівнях, її ключові компоненти і переваги.

Системи мікроклімату в «розумному домі» побудовані на основі датчиків температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub>, руху повітря та інших показників, які постійно відслідковують умови в приміщенні. Мікроконтролери, такі як Arduino, Raspberry Pi або комерційні системи на базі Siemens чи ABB, обробляють інформацію з датчиків і передають її на центральний контролер [3].

Інтегровані системи розумного дому об'єднують у центральному хабі всі контролери кліматичних систем (опалення, вентиляція, кондиціонування) та інші системи будинку (освітлення, безпека). Це дозволяє керувати усіма функціями через єдиний інтерфейс, наприклад, через смартфон чи панель управління.

Програмне забезпечення для розумного дому дозволяє користувачам налаштовувати параметри мікроклімату під свої потреби, програмувати графіки роботи систем та слідкувати за умовами в реальному часі. Багато систем підтримують голосові помічники (Google Assistant, Alexa), що додає зручності в управлінні кліматом в домі.

Інтеграція автоматизованих систем мікроклімату з «розумним домом» використовує складні алгоритми для адаптивного керування кліматом. Наприклад:

- Адаптивна зміна температури: Системи можуть знижувати температуру вночі або коли мешканців немає вдома, економлячи енергію.

Коли хтось повертається додому або прокидається, система автоматично підвищує температуру до комфортного рівня.

– Оптимізація за графіком і режимами: Додатково користувачі можуть налаштовувати режими для різних ситуацій, наприклад, "Відпустка", "Робочий день" чи "Вечір". Кожен з цих режимів містить певний набір параметрів мікроклімату, зокрема температуру, вологість, швидкість вентиляції, який запускається автоматично залежно від графіка.

Переваги інтеграції системи регулювання мікроклімату у систему «розумний дім» [3]:

Енергоефективність: Інтеграція дозволяє зменшувати витрати на опалення, кондиціонування та вентиляцію. Системи "розумного дому" можуть аналізувати погоду, а також стан вікон і дверей, автоматично регулюючи температуру, щоб уникнути надмірного використання ресурсів.

Комфорт та здоров'я мешканців: Система автоматично забезпечує комфортні умови для користувачів з урахуванням їхніх звичок та розкладу дня. Наприклад, мікроклімат автоматично адаптується під індивідуальні потреби кожного мешканця.

Безпека та діагностика: Інтеграція також дозволяє здійснювати моніторинг стану обладнання, щоб вчасно проводити технічне обслуговування або повідомляти про можливі несправності. У разі виявлення високих рівнів CO<sub>2</sub> або інших шкідливих речовин система може негайно активувати вентиляцію і попередити користувача.

Багато сучасних будівельних компаній та виробників обладнання для "розумних домів" інтегрують у свої рішення функції управління мікрокліматом, що дозволяє створювати енергоефективні будинки. Наприклад, система HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) з інтеграцією в "розумний дім" може регулювати параметри обігріву й охолодження, а також очищення повітря, що дозволяє зменшити витрати на електроенергію на 20-30% за рік.

З розвитком штучного інтелекту інтеграція систем мікроклімату стане ще більш автоматизованою, що дозволить підвищити точність налаштувань і гнучкість системи. В подальшому такі системи зможуть враховувати персональні уподобання та стан здоров'я користувачів, завдяки чому "розумний дім" адаптуватиме мікроклімат під кожного мешканця в реальному часі.

### 1.5 Технічне завдання на проектування

Об'єктом дослідження в цій роботі є автоматизована система моніторингу та регулювання мікроклімату в приміщенні на базі мікроконтролеру.

Предметом роботи виступає інтелектуальна система моніторингу, яка здатна контролювати та підтримувати параметри мікроклімату — температуру, вологість, рівень CO<sub>2</sub> тощо.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи, що забезпечує постійний моніторинг та підтримку оптимального мікроклімату в приміщенні, сприяючи здоров'ю та комфорту користувачів, а також ефективному використанню енергоресурсів.

Відповідно до визначеної мети сформульовано наступні завдання:

- провести аналіз предметної області та вивчити ключові параметри мікроклімату, що впливають на комфорт і здоров'я;
- розробити модель приміщення з урахуванням теплових втрат і надходжень, що забезпечить базу для точного контролю та прогнозування;
- дослідити апаратні та програмні можливості мікроконтролерів, що використовуються для моніторингу та регулювання параметрів мікроклімату;
- підібрати необхідні сенсори (температури, вологості, CO<sub>2</sub> тощо) та оцінити їх ефективність і точність;

- визначити інструменти і технології для побудови програмного забезпечення, зокрема середовища розробки та протоколи зв'язку;
- розробити алгоритм моніторингу та керування, що дозволить автоматично адаптувати параметри мікроклімату до зовнішніх умов та поведінки користувачів;
- створити прототип апаратної частини системи з можливістю розширення функціоналу;
- реалізувати програмне забезпечення для системи на базі мікроконтролера;
- провести тестування та оцінку роботи системи в реальних умовах для аналізу точності та стабільності роботи;
- здійснити оцінку результатів і зробити висновки щодо подальшого вдосконалення системи.

Ця робота спрямована на побудову ефективної системи автоматичного моніторингу мікроклімату, здатної забезпечувати стабільний контроль кліматичних параметрів у приміщенні, що дозволить знизити витрати енергії та підвищити рівень комфорту для користувачів.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ У ПРИМІЩЕННІ

У першому розділі кваліфікаційної роботи було детально розглянуто предметну область, а саме основні чинники, які формують мікроклімат приміщення та їх вплив на здоров'я людини. Також було розглянуто різні методи моніторингу і регулювання мікроклімату у приміщенні. І сформовано технічне завдання на проектування автоматизованої системи моніторингу мікроклімату у приміщенні.

У цьому розділі буде детально описано процес створення апаратного забезпечення проектованої системи та вибір конкретних технічних рішень.

### 2.1 Компоненти системи моніторингу мікроклімату

Система моніторингу мікроклімату складається з кількох основних компонентів, кожен з яких виконує важливі функції, спрямовані на забезпечення точного вимірювання, обробки та аналізу параметрів внутрішнього середовища.

#### 2.1.1 Датчики

Датчик – це пристрій, який вимірює певні фізичні величини (температура, тиск, вологість, світло тощо) та перетворює їх на сигнали, що можуть бути проаналізовані людиною або системою [4]. Основною функцією датчика є контроль та моніторинг параметрів середовища або певного об'єкта, на якому він встановлений.

Датчики є ключовими елементами у системі моніторингу мікроклімату, адже саме з їх допомогою збирають інформацію про параметри мікроклімату.

Зазвичай для моніторингу параметрів мікроклімату використовують наступні датчики:

- Температурні датчики — вимірюють рівень температури в приміщенні.
- Датчики вологості — відповідають за вимірювання відносної вологості повітря.
- Датчики CO<sub>2</sub> — визначають рівень вуглекислого газу, що є показником якості повітря.
- Датчики тиску — контролюють барометричний тиск у приміщенні, що також впливає на самопочуття.

Датчики температури — це пристрої, які вимірюють і відстежують температуру середовища, в якому вони знаходяться [4]. Вони використовуються в різних сферах, від побутових систем контролю клімату до промислових установок, де необхідно підтримувати оптимальні умови для технологічних процесів.

Основні типи датчиків температури:

1. Термопари – це електронні датчики, які складаються з двох різних металів, з'єднаних разом [4]. Вони генерують електрорушійну силу, яка залежить від різниці температур на контактах. Термопари популярні у промисловості через широкий діапазон вимірювань та високу надійність. Зазвичай вони працюють в діапазоні від -200 до +1350°C, а інколи й вище, що робить їх незамінними для високотемпературних процесів. Приклад термопари наведено на рисунку 2.1.

2. Термістори – це резистори, опір яких змінюється з температурою [4]. Вони забезпечують високу точність вимірювання в обмеженому діапазоні температур, зазвичай від -50 до +150°C. Термістори бувають двох типів: NTC (Negative Temperature Coefficient), які знижують опір із підвищенням температури, та PTC (Positive Temperature Coefficient), опір яких зростає зі збільшенням температури. Їх часто використовують у побутових

електроприладах і медичному обладнанні. Приклад термістора наведено на рисунку 2.2.

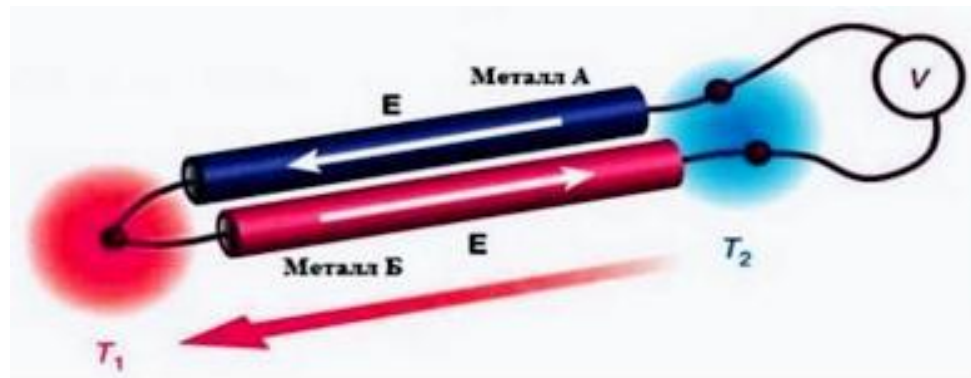


Рисунок 2.1 - Термопара

3. Терморезистори (RTD – Resistance Temperature Detector) використовують властивість металів змінювати опір зі зміною температури [4]. Найпопулярніші терморезистори виготовляють із платини (Pt100, Pt1000), яка має точну і стабільну реакцію на температуру в діапазоні від  $-200$  до  $+850^{\circ}\text{C}$ . Ці датчики використовуються в наукових дослідженнях, промислових процесах та HVAC системах (системах опалення, вентиляції та кондиціонування).

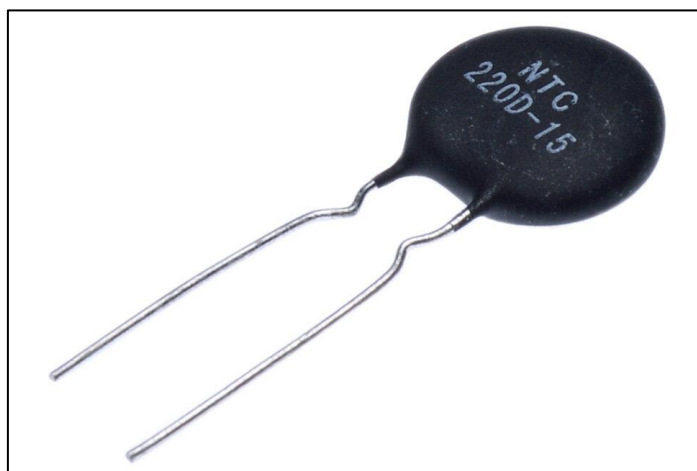


Рисунок 2.2 – Термістор

4. Напівпровідникові датчики температури. Ці датчики використовують властивості напівпровідників змінювати свою електропровідність зі зміною температури. Напівпровідникові датчики мають високу точність в діапазоні  $-55$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ , що робить їх популярними в електроніці, де важливо уникнути перегріву компонентів.

5. Інфрачервоні-датчики вимірюють температуру об'єкта на основі випромінюваного ним інфрачервоного випромінювання. Вони не потребують фізичного контакту з об'єктом і можуть вимірювати температуру на відстані, що робить їх придатними для вимірювання температури рухомих або важкодоступних об'єктів. ІЧ-датчики зазвичай використовують у медичних термометрах, а також у промислових процесах. Приклад ІЧ-датчика наведено на рисунку 2.3.

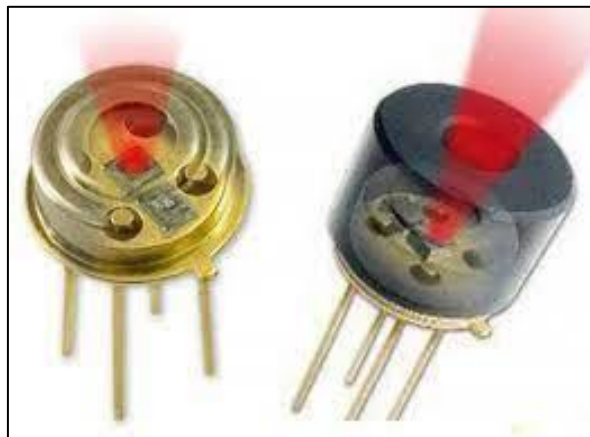


Рисунок 2.3 – Інфрачервоний датчик температури

При виборі датчика температури необхідно враховувати кілька факторів:

- Діапазон температур: необхідно вибирати датчик, що відповідає очікуваним умовам середовища.

– Точність: термістори та RTD зазвичай точніші, тоді як термопари використовують у випадках, коли важлива витривалість і широкий діапазон температур.

– Час відгуку: для динамічних середовищ, де температура змінюється швидко, важливо вибирати датчик з коротким часом відгуку.

– Умови середовища: вологість, можливість забруднення та механічні пошкодження можуть впливати на вибір матеріалу датчика і тип його конструкції.

Сфер застосування датчиків температури в автоматизованих системах дуже багато – контроль за технологічними процесами, в яких важливо підтримувати точну температуру; забезпечення комфорту пацієнтів і контроль за умовами зберігання медичних препаратів; контроль клімату в теплицях і на складах; в системах кондиціонування, холодильниках і нагрівальних приладах для регулювання температури тощо.

Датчики вологості — це прилади, що вимірюють вміст водяної пари в повітрі або газах [4]. Контроль вологості важливий у багатьох сферах, оскільки вона впливає на комфорт і продуктивність людей, стан матеріалів, а також на ефективність технологічних процесів. Датчики вологості використовуються у системах HVAC (опалення, вентиляції та кондиціонування), у сільському господарстві, зберіганні продуктів, фармацевтиці, та багатьох інших галузях.

Основні типи датчиків вологості:

1. Ємнісні датчики вологості. Цей тип датчиків вологості працює за принципом зміни електричної ємності конденсатора. Конструкція ємнісного датчика включає тонкий шар полімеру або оксиду, який абсорбує вологу з навколишнього середовища. Коли вологість збільшується, ємність цього шару змінюється, що і фіксується електронікою датчика. Ємнісні датчики забезпечують точні вимірювання, довговічність і стабільність у широкому діапазоні вологості та температур. Вони широко застосовуються в побутових

та промислових умовах. Приклад ємнісного датчика вологості наведено на рисунку 2.4.

2. У резистивних датчиках вологість впливає на опір матеріалу, який поглинає вологу. Зазвичай використовуються матеріали, як-от полімери або солі, опір яких змінюється при абсорбції водяної пари. Такі датчики прості та надійні, але можуть мати меншу точність у порівнянні з ємнісними, особливо в умовах екстремальної вологості чи температур. Резистивні датчики застосовуються в кліматичних системах та для загальних потреб контролю вологості. Приклад резистивного датчика вологості наведено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.4 – Ємнісний датчик вологості

3. Психрометричні датчики. Цей тип датчиків використовує два термометри: один «мокрый» і один «сухий». Мокрий термометр охолоджується через випаровування, і різниця в показаннях обох термометрів дозволяє обчислити вологість. Психрометричні датчики зазвичай застосовуються в лабораторіях та деяких промислових процесах, де необхідна висока точність вимірювання.

4. Теплопровідні датчики вологості. Ці датчики вимірюють теплопровідність повітряної суміші, що змінюється залежно від концентрації

водяної пари. Вони використовуються переважно для вимірювання вологості у газах, де не присутні конденсати. Їх часто застосовують у промислових умовах, де важливий контроль над вологістю в технологічних газах.



Рисунок 2.5 – Резистивний датчик вологості

Особливості вибору датчика вологості:

- Діапазон вологості: залежно від конкретної задачі, діапазон вимірювань може змінюватись. Для побутового використання часто потрібен середній діапазон вологості, тоді як для промислових застосувань можуть знадобитися датчики, що покривають значно ширший спектр.

- Точність: ємнісні та психрометричні датчики зазвичай мають високу точність, тоді як резистивні підходять для менш точних вимірювань.

- Температурна стабільність: при високих температурах, деякі датчики можуть втрачати точність, тож для таких середовищ краще обирати датчики з високою температурною стабільністю.

- Стійкість до середовища: в умовах агресивного середовища необхідно обирати датчики, що мають захист від корозії, пилу або забруднень.

Датчики вологості, як і датчики температури застосовуються у багатьох сферах людської діяльності, а саме у системах кондиціонування та обігріву, де вологість значно впливає на комфорт у приміщенні; контроль умов у виробничих процесах, які залежать від вологості, наприклад, у харчовій,

фармацевтичній і хімічній промисловості; підтримання оптимальної вологості для зберігання врожаю, в теплицях або сховищах.

Датчики тиску – це прилади, які вимірюють тиск рідини або газу та перетворюють його в електричний сигнал, що передається на системи обробки інформації [4]. Такі датчики відіграють важливу роль у багатьох автоматизованих системах, включно з мікрокліматом, вентиляцією та системами контролю середовища, де моніторинг тиску допомагає зберігати стабільні умови для комфортного і безпечного перебування.

Основні типи датчиків тиску:

1. П'єзорезистивні датчики тиску використовують п'єзорезистивний ефект, який полягає у зміні електричного опору внаслідок деформації матеріалу під впливом тиску. Такі датчики зазвичай складаються з кремнієвого чипа, який змінює свій опір під тиском. Вони мають високу точність і широко використовуються в автомобільній промисловості, системах мікроклімату і медицини.

2. Ємнісні датчики працюють за принципом зміни електричної ємності між двома електродами, що рухаються один відносно одного під впливом тиску. Зміна ємності вимірюється і перетворюється у відповідний сигнал. Цей тип датчиків є досить стабільним і точним, застосовується для вимірювання тиску у вентиляційних та кліматичних системах, а також у промислових умовах. Конструкцію ємнісного датчика тиску наведено на рисунку 2.6.

3. Індукційні датчики використовують принцип зміни індуктивності котушок при деформації, викликаній тиском. Застосування таких датчиків тиску охоплює нафтогазову промисловість і гідравлічні системи, де потрібна висока стійкість до зовнішніх впливів і точність. Конструкцію індукційного датчика тиску наведено на рисунку 2.7.

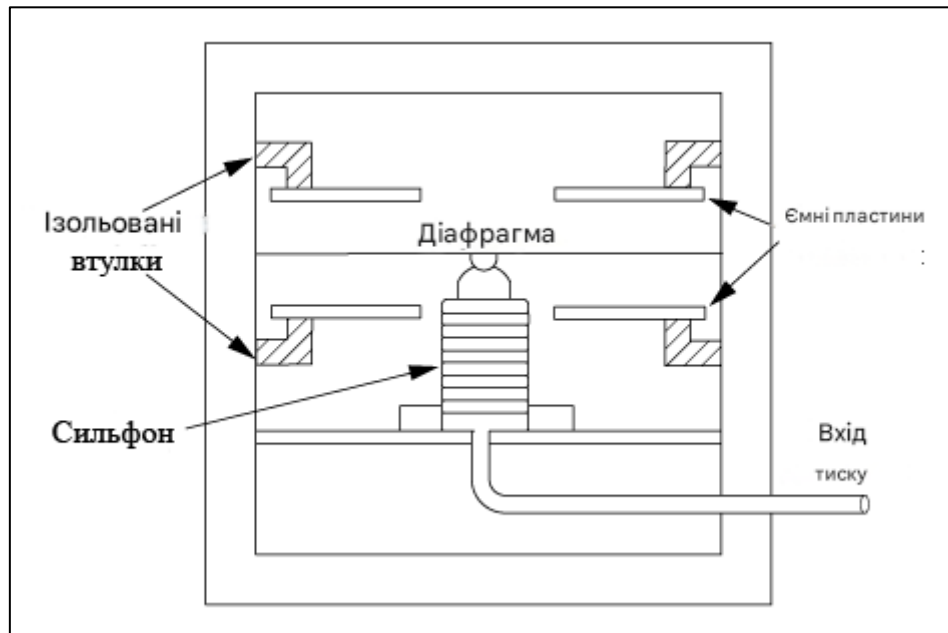


Рисунок 2.6 – Конструкція ємнісного датчика тиску

4. Оптичні датчики тиску. Цей тип датчиків вимірює тиск за допомогою оптичних сигналів, які змінюються при деформації оптичного елемента під тиском. Оптичні датчики використовуються в екстремальних умовах, таких як підводні дослідження або робота з агресивними хімічними середовищами, оскільки вони не схильні до електромагнітних перешкод і мають високу чутливість.

5. У резонансних датчиках частота механічного резонатора змінюється під впливом тиску. Цей тип датчиків використовується в лабораторних і високоточних вимірюваннях, де потрібна стабільність і точність.

Основні характеристики датчиків тиску:

- Діапазон вимірювань: Вибір датчика залежить від середовища та цільового діапазону вимірювань. Для мікрокліматичних систем зазвичай потрібні низькі діапазони тиску.

- Точність: Високоточні датчики необхідні в медичних і лабораторних умовах, де відхилення в результатах можуть суттєво вплинути на інтерпретацію даних.
- Температурна стабільність: У деяких середовищах, таких як системи кондиціонування, температурні коливання значні, тому датчики з температурною стабільністю мають пріоритет.
- Захист від агресивних середовищ: Датчики для промислового застосування потребують додаткових корпусів та матеріалів для захисту від корозії чи механічних пошкоджень.

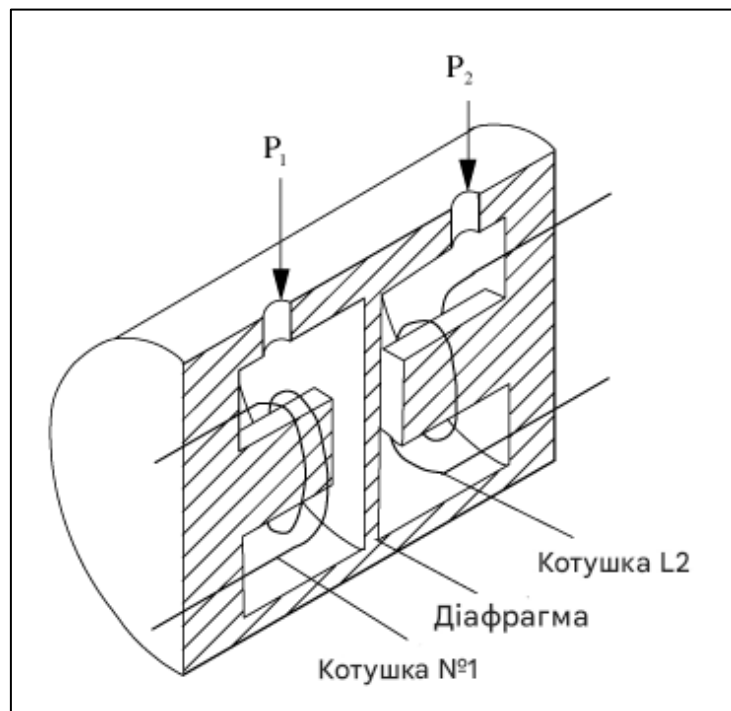


Рисунок 2.7 – Конструкція індукційного датчика тиску

Зазвичай датчики тиску використовуються для контролю та регулювання вентиляційних потоків – виявлення змін тиску в системах вентиляції дозволяє оптимізувати подачу свіжого повітря, підтримуючи комфортний клімат у приміщеннях; для моніторингу ефективності фільтрів – датчики тиску можуть вимірювати різницю тиску до і після фільтра,

сигналізуючи про необхідність заміни фільтра при його забрудненні; для забезпечення стабільності повітряних потоків – для створення стабільного потоку повітря важливо контролювати тиск, що особливо актуально для приміщень з особливими вимогами, таких як лабораторії, операційні блоки тощо.

Датчики газу — це пристрої, які вимірюють концентрацію газів у повітрі, а також допомагають ідентифікувати наявність шкідливих або горючих газів у середовищі [4]. Вони широко застосовуються у системах безпеки, автоматизованих системах моніторингу повітря та мікроклімату, а також в індустріальних умовах, де може існувати загроза витоку газу.

Основний принцип роботи датчиків газу полягає у взаємодії з молекулами певного газу, що викликає зміни фізичних або електричних характеристик чутливого елемента всередині датчика. Залежно від типу датчика, зміни можуть відбуватися через:

- Хімічні реакції на поверхні чутливого матеріалу, що призводять до зміни його опору.
- Електрохімічні реакції між чутливим елементом і молекулами газу.
- Інфрачервоне поглинання, що вимірює концентрацію газу шляхом оцінки поглинання інфрачервоного світла на певній довжині хвилі.

Типи датчиків газу:

1. Каталітичні датчики. Застосовуються для виявлення горючих газів (наприклад, метану або пропану). Працюють за принципом нагрівання платиного каталісту, на якому окислюється газ, що призводить до нагрівання і зміни електричного опору. Ці датчики використовуються для швидкого виявлення займистих газів у повітрі.

2. Електрохімічні датчики. Використовуються для виявлення токсичних газів, таких як чадний газ (CO) або сірководень (H<sub>2</sub>S). Їх принцип роботи базується на електрохімічній реакції між газом і електролітом, що

призводить до виникнення електричного струму, пропорційного концентрації газу. Приклад електрохімічного датчика наведено на рисунку 2.8.

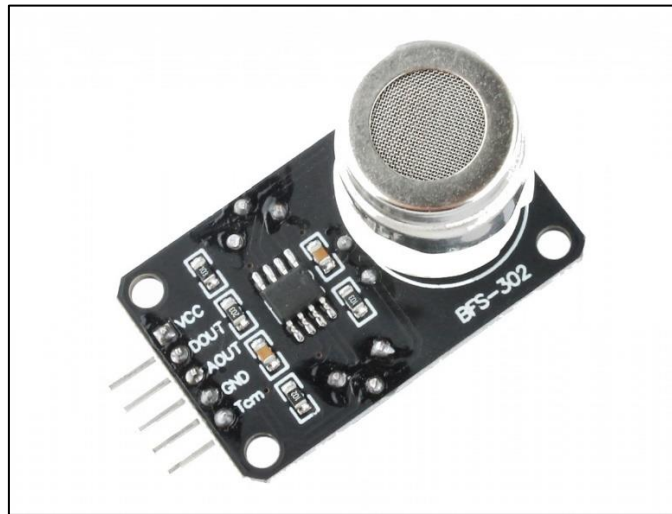


Рисунок 2.8 – Електрохімічний датчик газу

3. Інфрачервоні (ІЧ) датчики. Призначені для вимірювання вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) або інших газів, які поглинають інфрачервоне випромінювання. Чутливий елемент вимірює зниження інтенсивності інфрачервоного світла, яке проходить через зразок повітря, що дозволяє визначити концентрацію газу.

4. Напівпровідникові датчики. Застосовуються для виявлення широкого спектра газів, включаючи чадний газ, природний газ та алкоголь. Вони використовують оксиди металів, такі як діоксид олова, що змінюють опір при контакті з певними газами.

5. Оптичні датчики. Вони працюють на основі спектроскопічного аналізу, що дозволяє визначити тип і концентрацію газу без контакту з ним. Такі датчики є високоточними, хоча часто мають більші габарити та високу вартість.

Основні характеристики, на які слід звернути увагу при виборі датчиків газу:

- Чутливість: здатність датчика визначати мінімальну концентрацію газу.
- Селективність: здатність розрізняти різні типи газів.
- Час відгуку: час, за який датчик може визначити зміну концентрації газу.
- Температурний діапазон: робочі температурні умови, за яких датчик працює стабільно.

Датчики газу застосовуються в різних сферах – у вентиляційних системах та системах кондиціонування, що контролюють якість повітря; на підприємствах з небезпечними виробництвами, де можливий витік газу; як частина систем безпеки, що контролює наявність чадного газу або вуглекислого газу; для моніторингу дихальних газів у пацієнтів.

### 2.1.2 Контролер

Контролер системи моніторингу мікроклімату приміщення виконує роль центрального елемента, що забезпечує автоматизований контроль за параметрами повітряного середовища. Він об'єднує дані, отримані від різноманітних датчиків (температури, вологості, тиску, якості повітря), і на основі цих показників приймає рішення для підтримання комфортного мікроклімату. Основним завданням контролера є збирання інформації з сенсорів та її обробка. На підставі аналізу отриманих даних контролер визначає, чи потрібне коригування кліматичних умов, і, якщо це необхідно, надсилає команди виконавчим механізмам — системам обігріву, вентиляції або зволоження.

Контролер може бути оснащений додатковими комунікаційними модулями, такими як Wi-Fi або Bluetooth, що дає можливість інтеграції із системами "розумного дому". Завдяки цьому користувач може керувати мікрокліматом через мобільний додаток або веб-інтерфейс, отримуючи доступ до історії показників і налаштування параметрів навіть віддалено. Зазвичай

контролери містять інтерфейси, які дозволяють спостерігати за поточними умовами в реальному часі, вносити зміни в налаштування або вручну встановлювати бажані кліматичні параметри.

Для забезпечення точності контролю за мікрокліматом у сучасних контролерах використовуються алгоритми, що можуть включати як класичні методи регулювання (наприклад, PID-регулятори), так і складніші адаптивні системи, здатні враховувати змінні умови. Розвинені моделі контролерів також можуть використовувати алгоритми машинного навчання для прогнозування змін мікроклімату на основі історичних даних та поведінкових характеристик користувачів.

Контролер забезпечує не лише комфортні кліматичні умови, але й сприяє економії енергії, адже системи опалення чи охолодження активуються лише тоді, коли це потрібно. У разі досягнення заданих параметрів система автоматично припиняє роботу обладнання, що знижує енергоспоживання. Також контролер може виступати засобом забезпечення безпеки, оскільки він може сигналізувати про небезпечні умови в приміщенні, такі як підвищення концентрації вуглекислого газу.

Для побудови гнучких, інтегрованих і компактних систем моніторингу все частіше використовують мікроконтролери (рис.2.9). Мікроконтролер — це мініатюрний обчислювальний пристрій, що поєднує процесор, оперативну пам'ять, пам'ять для зберігання програми та порти введення/виведення на одній мікросхемі [4]. Такі мікросхеми широко застосовуються для автоматизації систем, де потрібен точний контроль і регулювання параметрів.

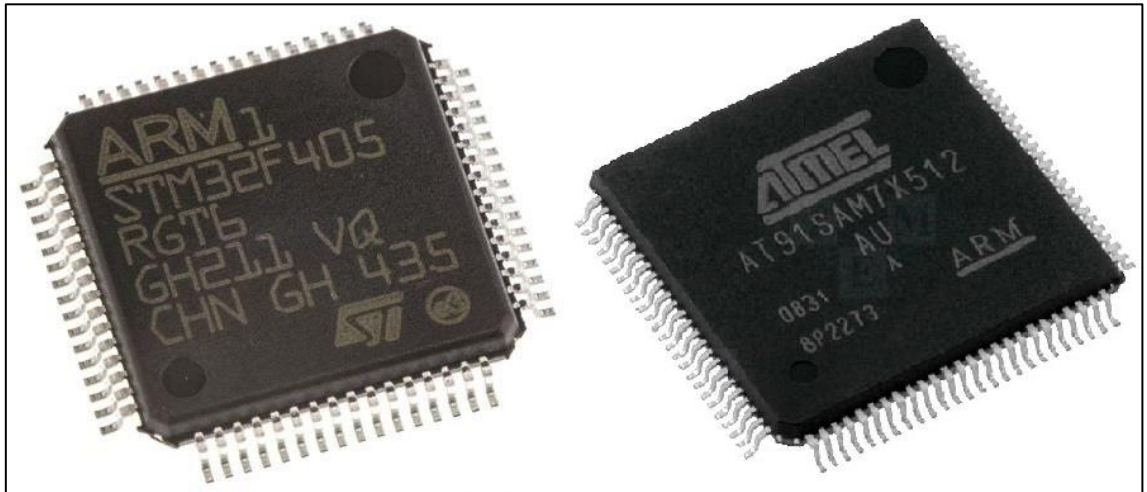


Рисунок 2.9 – Мікроконтролери

Мікроконтролер може зчитувати дані з датчиків температури, вологості, тиску та інших сенсорів і виконувати програму, яка регулює роботу систем клімату залежно від отриманих показників. На відміну від традиційних контролерів, мікроконтролери дозволяють створювати більш адаптивні і модульні рішення, адже їх можна перепрограмувати для зміни алгоритмів контролю і додавання нових функцій без заміни обладнання. Сучасні мікроконтролери підтримують різноманітні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, що дозволяє інтегрувати систему моніторингу мікроклімату у «розумний дім».

Таким чином, мікроконтролер стає «мозковим центром» системи, здатним адаптуватися до змінних умов, вивчати патерни поведінки користувачів і, у перспективі, автоматично оптимізувати параметри мікроклімату для досягнення найвищого рівня комфорту та енергоефективності.

### 2.1.3 Підсистема взаємодії з користувачем

Підсистема взаємодії з користувачем є важливою частиною автоматизованої системи моніторингу мікроклімату в приміщенні. Її основне

завдання — забезпечити зручний, інтуїтивно зрозумілий доступ до налаштувань системи, можливостей моніторингу параметрів та оперативного керування мікрокліматом.

Зазвичай підсистема взаємодії складається з апаратного та програмного компонентів. Апаратний компонент включає дисплеї, сенсорні панелі, світлодіодні індикатори або кнопки, за допомогою яких користувач може переглядати інформацію і вносити зміни в параметри мікроклімату. Програмний компонент підсистеми взаємодії часто представлений у вигляді графічного інтерфейсу, який відображається на дисплеї або інтегрується в мобільний застосунок чи веб-інтерфейс для віддаленого доступу.

Основні функції підсистеми взаємодії з користувачем:

- Візуалізація параметрів мікроклімату — користувач може бачити показники температури, вологості, рівня вуглекислого газу та інших параметрів у реальному часі. Це дозволяє отримати швидке уявлення про стан середовища в приміщенні.

- Налаштування та управління параметрами — через інтерфейс користувач може задавати цільові значення температури, вологості тощо, встановлювати режими роботи (наприклад, «День», «Ніч», «Відпустка»), програмувати розклад роботи системи та адаптувати систему до своїх уподобань.

- Сповіщення та повідомлення — підсистема може надсилати користувачеві сповіщення про критичні зміни параметрів або несправності системи. Це дозволяє вчасно реагувати на нестандартні ситуації, як-от різке зниження температури або збільшення рівня вологості.

- Віддалений доступ — сучасні системи моніторингу мікроклімату часто інтегруються з мобільними застосунками або веб-сервісами, що дозволяє користувачеві керувати мікрокліматом з будь-якої точки, де є інтернет. Це особливо зручно для контролю стану приміщень на відстані.

– Аналітика та історія даних — користувач може переглядати історію зміни параметрів мікроклімату за певний період. Це дає можливість аналізувати динаміку мікроклімату і, за потреби, коригувати налаштування для підвищення ефективності роботи системи.

Підсистема взаємодії з користувачем має бути максимально зручною та зрозумілою, з простими елементами управління і зрозумілою навігацією. У випадку інтеграції з системою «розумний дім» вона також може підтримувати голосове управління, що додатково підвищує зручність і комфорт користування.

Для реалізації взаємодії між користувачем і системою, необхідно передбачити спеціальні пристрої для введення та виведення даних.

Пристрій введення — це технічний компонент комп'ютерної системи або іншого електронного пристрою, призначений для введення інформації від користувача або зовнішнього середовища до системи [4]. Пристрої введення забезпечують передачу даних і команд, які обробляються процесором або іншими компонентами системи. Прикладами таких пристроїв є клавіатура, миша, сканер, сенсори та мікрофони, які дозволяють користувачеві вводити текст, зображення, звук та інші види інформації.

Пристрій виведення — це елемент комп'ютерної системи, який перетворює результати обробки даних у форму, зрозумілу для користувача, чи інші зовнішні пристрої [4]. Пристрої виведення отримують інформацію від комп'ютера і забезпечують її відображення, друк, звуковий супровід тощо. Прикладами пристроїв виведення є монітори, принтери, колонки та проектори, які дозволяють передавати користувачеві візуальні, аудіо або інші сигнали, що є результатами роботи системи.

#### 2.1.4 Живлення

Живлення системи моніторингу мікроклімату є критично важливим компонентом, оскільки від нього залежить стабільність та надійність роботи

всієї системи. Для ефективного функціонування система потребує постійного та надійного джерела енергії, що забезпечує живлення мікроконтролера, датчиків та всіх інших компонентів.

Основним завданням підсистеми живлення є підтримання необхідної напруги та струму, стабілізація електричної напруги, а також захист від перепадів, перевантажень і коротких замикань, що можуть вивести з ладу компоненти. У системах, що базуються на мікроконтролерах, зазвичай використовуються джерела постійного струму з напругою 3.3V, 5V або 12V, залежно від характеристик обраних компонентів. У деяких випадках система може вимагати декількох різних рівнів напруги для живлення різних модулів, що потребує додаткових стабілізаторів і перетворювачів.

Системи живлення для таких пристроїв можуть включати акумуляторні батареї, блоки живлення від електромережі, а також автономні джерела, наприклад, сонячні батареї. Використання акумуляторів дозволяє підтримувати роботу системи навіть у випадку відключення зовнішнього джерела живлення, що важливо для безперервного моніторингу умов у приміщенні. У таких випадках обираються енергоефективні компоненти та спеціальні режими роботи, які допомагають зменшити споживання енергії, збільшуючи тривалість роботи від акумулятора.

Щоб знизити споживання енергії, в системі часто застосовуються техніки керування живленням. Наприклад, мікроконтролер може переходити в режим зниженого енергоспоживання або сплячий режим, коли немає потреби у постійній обробці даних. Датчики можуть бути налаштовані на періодичне збирання даних, що дозволяє їм вимикатися на певний час або працювати в економному режимі.

Завдяки правильній організації системи живлення можна забезпечити безперебійну роботу системи моніторингу мікроклімату, мінімізувати експлуатаційні витрати, а також підвищити надійність і довговічність пристрою. Вибір джерела живлення та компонентів стабілізації залежить від

умов використання системи та вимог до автономності, що є важливими факторами для надійної роботи.

## 2.2 Реалізація апаратної складової проектованої системи

У попередньому підрозділі було детально проаналізовано базові компоненти автоматизованої системи моніторингу мікроклімату, а в цьому підрозділі буде наведено аргументований вибір конкретних технічних рішень для кожного компоненту системи.

Як було зазначено у попередньому підрозділі, у якості контролера системи доцільне використання мікроконтролера, адже це енергоефективне та компактне рішення, що є критичним для подібних систем.

У сучасному світі дуже багато технічних рішень у сфері мікроконтролерів, проте найпоширенішими з них є сімейство плат Arduino, яке являє собою печатні плати з інтегрованим до них мікроконтролером. Сімейство плат Arduino налічує десятки плат, але враховуючи критерії енергоефективності та компактності, доцільним буде використання плати Arduino Nano [5], зовнішній вигляд та технічні характеристики якої наведено на рисунку 2.10 і у таблиці 2.1 відповідно.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики плати Arduino Nano

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Вхідна напруга (рекомендована)	7-12 В
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга (гранична)	6-20 В
Аналогові входи	6
Цифрові входи/виходи	14 (6 – виходи ШІМ)
Постійний струм для виходу 3.3 В	50 мА
Постійний струм через входи/виходи	40 мА
Тактова частота	16 МГц
Підтримка інтерфейсів	SPI, I2C, Serial

Флеш-пам'ять	32 Кб (АТmega328P)
ОЗП	2 Кб (АТmega328P)
EEPROM	1 Кб (АТmega328P)

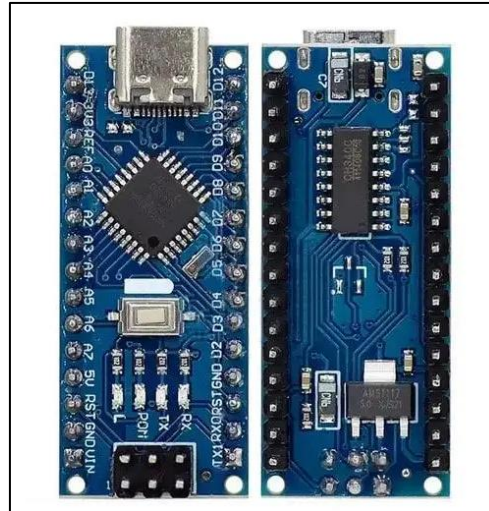


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд плати Arduino Nano

При виборі технічних рішень для датчиків необхідно відштовхуватися від їх характеристик. Сьогодні є дуже багато комбінованих датчиків, які вимірюють одразу декілька параметрів, що дозволяє проектувати більш компактні та енергоефективні системи.

Одним з комбінованих датчиків є датчик BME280 [6], який вимірює одночасно температуру, вологість повітря та атмосферний тиск. Виготовлений компанією Bosch Sensortec, цей датчик поєднує високу точність вимірювань із низьким споживанням енергії, що робить його ідеальним для портативних і бездротових застосувань. Технічні характеристики та зовнішній вигляд датчика наведено у таблиці 2.2 та на рисунку 2.11 відповідно.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики датчика BME280

Характеристика	Значення
Напруга живлення	1.71 - 3.6 В
Споживання енергії	< 1 мА (в активному режимі)
Діапазон температур	-40°C до +85°C

Точність вимірювання температури	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Діапазон вологості	0% до 100% відносної вологості
Точність вимірювання вологості	$\pm 3\%$
Діапазон тиску	300 - 1100 гПа
Точність вимірювання тиску	$\pm 1$ гПа
Інтерфейси	I <sup>2</sup> C, SPI
Розміри	2.5 мм × 2.5 мм × 0.93 мм
Час відгуку	< 1с (для вологості)
Тип корпусу	LGA (Leadless Chip Carrier)
Робочий режим	Змінюваний: низьке, стандартне, високе і максимальне енергоспоживання



Рисунок 2.11 – Датчик BME280

Іншим датчиком системи є датчик для вимірювання концентрації вуглекислого газу в повітрі. Таких датчиків доволі багато, проте серед них виділяється датчик MH-Z19 [7]. Принцип його роботи заснований на методі недисперсійної інфрачервоної спектроскопії (NDIR), що забезпечує стабільні та точні вимірювання концентрації вуглекислого газу. Технічні характеристики та зовнішній вигляд датчика наведено у таблиці 2.3 та на рисунку 2.12 відповідно.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики датчика МН-Z19

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювань CO <sub>2</sub>	0 - 5000 ppm
Точність	±50 ppm + 5% від виміряного значення
Робоча температура	-10°C до +50°C
Час відгуку	< 120 секунд
Напруга живлення	4.5 - 5.5 В
Споживання струму	60 мА (середнє значення)
Інтерфейси	UART (послідовний) та PWM
Калібрування	Автоматичне та ручне
Тип корпусу	DIP (Dual Inline Package)
Розміри	33 мм × 20 мм × 9 мм
Термін служби	~5 років

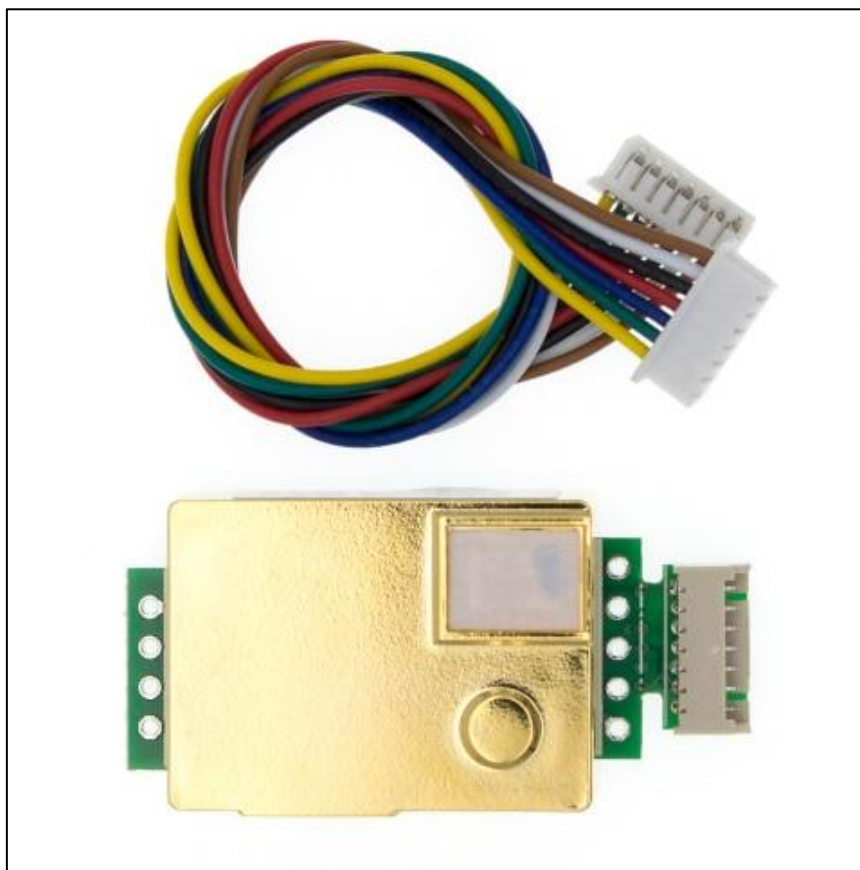


Рисунок 2.12 – Датчик МН-Z19

Наступним іде модуль реального часу для реалізації моніторингу поточних дати та часу. DS3231 – це високоточний годинник реального часу (RTC), оснащений вбудованим кварцовим резонатором з температурною компенсацією [8]. Завдяки температурній компенсації, датчик має високу стабільність та точність відліку часу, незалежно від змін навколишньої температури. DS3231 широко використовується для точного вимірювання часу в різних пристроях і системах автоматизації. Технічні характеристики та зовнішній вигляд модуля наведено у таблиці 2.4 та на рисунку 2.13 відповідно.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики DS3231

Характеристика	Значення
Точність	$\pm 2$ ppm від 0 до $+40^{\circ}\text{C}$ , $\pm 3.5$ ppm від $-40$ до $+85^{\circ}\text{C}$
Живлення	2.3 - 5.5 В
Температурний діапазон	$-40^{\circ}\text{C}$ до $+85^{\circ}\text{C}$
Інтерфейс	I <sup>2</sup> C
Споживання струму	1.1 мкА в режимі живлення від батареї при 3 В
Вбудований температурний датчик	Є, з точністю $\pm 3^{\circ}\text{C}$
Розміри	10.2 мм x 10.2 мм
Збереження часу під час вимкнення живлення	Так, за допомогою резервної батареї (CR2032)
Кварцовий резонатор	Вбудований, з температурною компенсацією

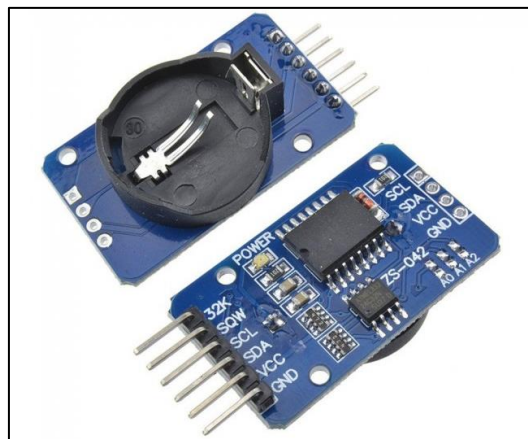


Рисунок 2.13 – Модуль реального часу DS3231

Для реалізації підсистеми взаємодії з користувачем доцільним буде використання рідкокристалічного дисплею [9] (рис.2.14) та сенсорної кнопки [10] (рис.2.15), також можна додати світлодіод, у якості простої системи сповіщення про загальний стан мікроклімату у приміщенні.

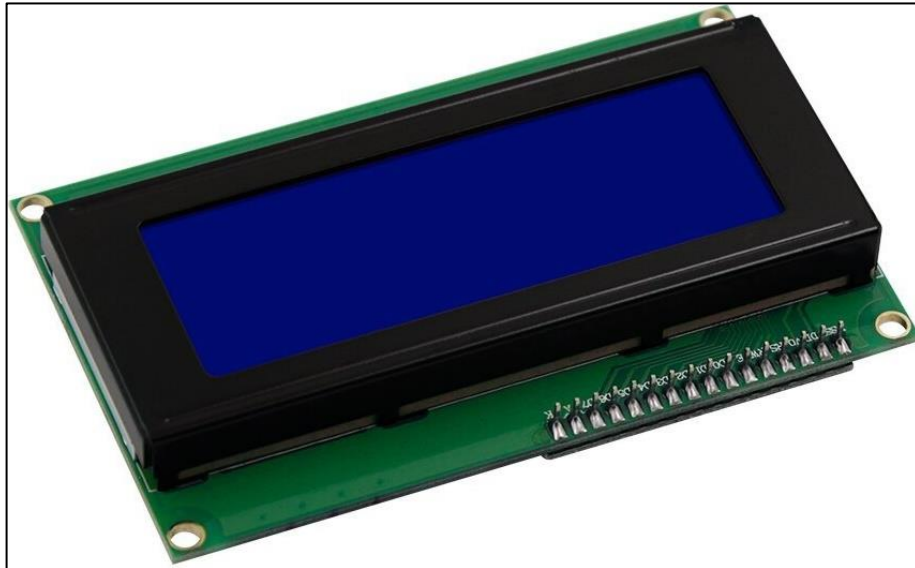


Рисунок 2.14 – LCD 2004 I2C Display

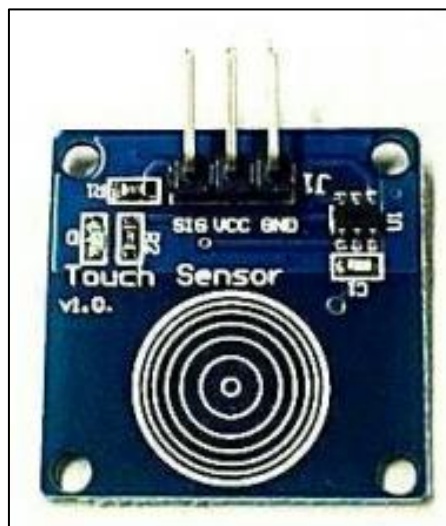


Рисунок 2.15 – Сенсорна кнопка ТТР223

### 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ

У попередньому розділі було детально описано основні компоненти апаратної частини автоматизованої системи моніторингу мікроклімату, а також обґрунтовано вибір технічних рішень для кожного компонента системи. Однак, для забезпечення їх синхронної та ефективної роботи необхідна розробка програмного забезпечення, яке буде керувати всіма функціями системи. У цьому розділі буде представлено процес створення такого програмного забезпечення.

Програмне забезпечення (ПЗ) — це комплекс програм для системи обробки інформації разом із супутньою документацією, необхідною для роботи цих програм [4].

#### 3.1 Структура програмного забезпечення та вибір мови програмування

Структуру програмного забезпечення представлено на рисунку 3.1.

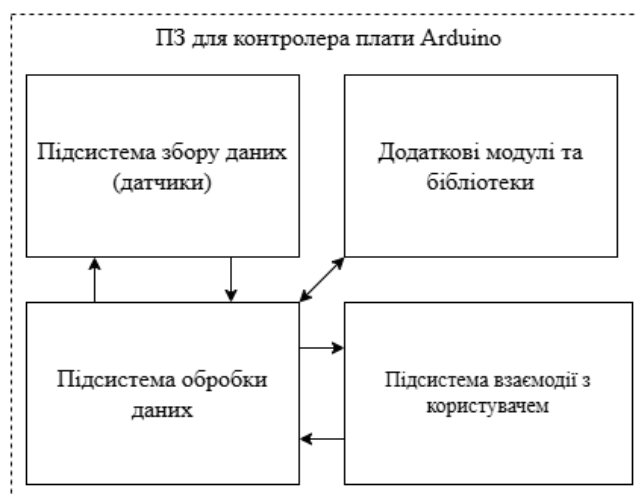


Рисунок 3.1 – Структура ПЗ проектованої системи

Як показано на рисунку 3.1 програмне забезпечення проектованої системи складається з декількох підсистем – підсистема збору даних з датчиків, підсистема обробки даних, підсистема взаємодії з користувачем та додаткові модулі і бібліотеки. У свою чергу кожна з цих частин розділяється на менші функціональні частини, а саме, окремі функції, які описують алгоритм роботи кожного датчика та обробку даних з кожного датчика, а також виведення цих даних на дисплей.

Оскільки основною метою атестаційної роботи є створення автоматизованої системи моніторингу мікроклімату на основі мікроконтролера, а в розділі 2 як контролер було обрано плату Arduino Nano, програмне забезпечення для контролера слід розробляти саме під цю платформу. Тому програмування буде здійснюватися на мові C++ з використанням середовища розробки Arduino IDE.

C++ – це компільована мова програмування загального призначення з жорстким типізуванням. Вона підтримує різні парадигми, такі як процедурне, об'єктно-орієнтоване та узагальнене програмування, і включає розширену стандартну бібліотеку. Бібліотека C++ забезпечує роботу з контейнерами й алгоритмами, обробку введення-виведення, роботу з регулярними виразами, багатопоточність та інші можливості, які поєднують переваги високорівневих і низькорівневих мов [11].

Arduino IDE, як інтегроване середовище розробки (IDE), є комплексом програмних інструментів, спеціально розробленим для програмування мікроконтролерів, що використовуються на платах Arduino [12]. Це середовище забезпечує зручний інтерфейс для написання, компіляції й завантаження коду на мікроконтролер, спрощуючи розробку прошивки для пристроїв на базі Arduino. Зовнішній вигляд середовища розробки Arduino IDE представлено на рисунку 3.2.

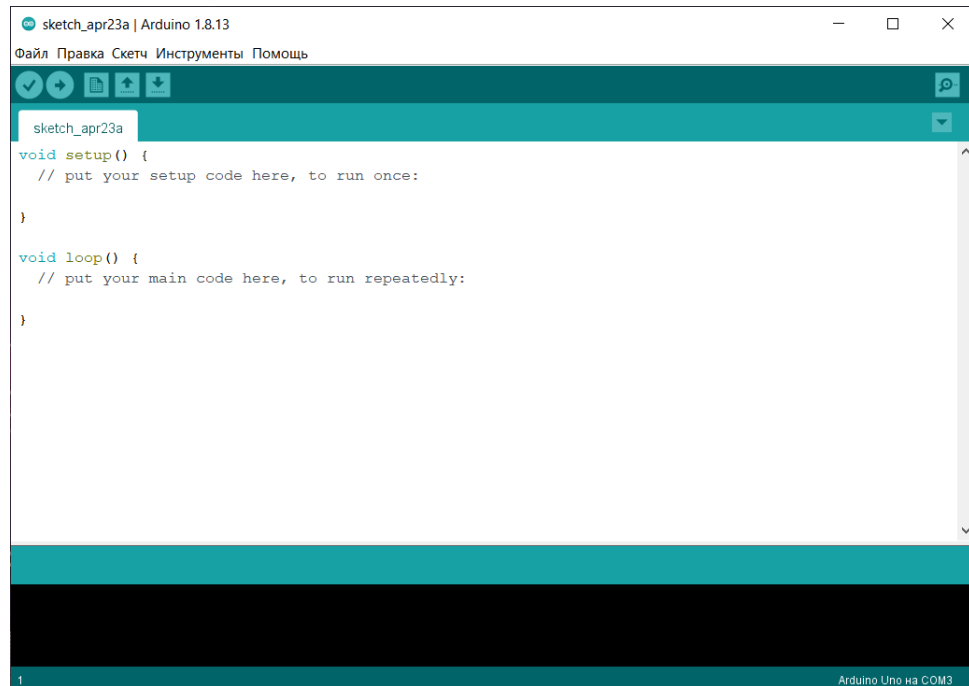


Рисунок 3.2 – ArduinoIDE

### 3.2 Реалізація програмного забезпечення

Апаратно проєктована система складається з плати Arduino та підключених до неї датчиків, кнопки, дисплею та живлення. Тож головною метою програмного забезпечення для контролера плати Arduino є збір показників з усіх датчиків, їх обробка з подальшим відображення даних на дисплеї.

Кожен з датчиків вимірює свої показники, тож для коректного відображення даних на дисплеї було прийнято рішення розділити інтерфейс на кілька «екранів», на кожному з яких відображається інформація з різних датчиків.

Нижче наведено декілька лістингів коду програмного забезпечення для контролеру плати Arduino. Повний код програмного забезпечення наведено у додатку В.

## Лістинг 3.1 – Підключення бібліотек та створення об'єктів

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#if (DISPLAY_TYPE == 1)
LiquidCrystal_I2C lcd(DISPLAY_ADDR, 20, 4);
#else
LiquidCrystal_I2C lcd(DISPLAY_ADDR, 16, 2);
#endif
#include "RTClib.h"
RTC_DS3231 rtc;
DateTime now;
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)
Adafruit_BME280 bme;
#if (CO2_SENSOR == 1)
#include <MHZ19_uart.h>
MHZ19_uart mhz19;
#endif

```

У лістингу 3.1 представлено код для підключення необхідних бібліотек та створення об'єктів. У системі використовуються декілька датчиків та рідкокристалічний дисплей, тож для коректної роботи цих елементів необхідне підключення додаткових бібліотек, а саме `LiquidCrystal_I2C` – для дисплею, `RTClib` – для модуля реального часу, `Adafruit_BME280` та `MHZ19_uart` – для датчиків.

## Лістинг 3.2 – Код функції для виведення поточного часу на дисплей

```

void drawClock(byte hours, byte minutes, byte x, byte y,
boolean dotState) {
    lcd.setCursor(x, y);

```

```

    lcd.print("                ");
    lcd.setCursor(x, y + 1);
    lcd.print("                ");
    if (hours / 10 == 0) drawDig(10, x, y);
    else drawDig(hours / 10, x, y);
    drawDig(hours % 10, x + 4, y);
    drawDig(minutes / 10, x + 8, y);
    drawDig(minutes % 10, x + 12, y);
}

static const char *dayNames[] = {
    "Sund",
    "Mond",
    "Tues",
    "Wedn",
    "Thur",
    "Frid",
    "Satu",
};

```

### Лістинг 3.3 – Код функції для виведення поточної дати на дисплей

```

void drawDate() {
    lcd.setCursor(15, 0);
    if (now.day() < 10) lcd.print(0);
    lcd.print(now.day());
    lcd.print(".");
    if (now.month() < 10) lcd.print(0);
    lcd.print(now.month());

    if (DISP_MODE == 0) {
        lcd.setCursor(16, 1);
        lcd.print(now.year());
    } else if (DISP_MODE == 1) {
        lcd.setCursor(16, 1);

```

```

    int dayofweek = now.dayOfTheWeek();
    lcd.print(dayNames[dayofweek]);
}
}

```

У лістингу 3.2 представлено код функції, яка виводить на дисплей поточний час, прорисовуючи на дисплеї цифри, точки та дні тижня. У лістингу 3.3 представлено код, функції, яка виводить на дисплей поточну дату.

#### Лістинг 3.4 – Код функції для виведення графіку

```

void drawPlot(byte pos, byte row, byte width, byte height,
int min_val, int max_val, int *plot_array, String label) {
    int max_value = -32000;
    int min_value = 32000;
    for (byte i = 0; i < 15; i++) {
        if (plot_array[i] > max_value) max_value = plot_array[i];
        if (plot_array[i] < min_value) min_value = plot_array[i];
    }
    lcd.setCursor(16, 0); lcd.print(max_value);
    lcd.setCursor(16, 1); lcd.print(label);
    lcd.setCursor(16, 2); lcd.print(plot_array[14]);
    lcd.setCursor(16, 3); lcd.print(min_value);
    for (byte i = 0; i < width; i++) {
        int fill_val = plot_array[i];
        fill_val = constrain(fill_val, min_val, max_val);
        byte infill, fract;
        if (plot_array[i] > min_val)
            infill = floor((float)(plot_array[i] - min_val) /
(max_val - min_val) * height * 10);
        else infill = 0;
        fract = (float)(infill % 10) * 8 / 10;
        infill = infill / 10;
        for (byte n = 0; n < height; n++) {

```



```
    lcd.print(F("OK"));
    Serial.println(F("OK"));
} else {
    lcd.print(F("ERROR"));
    Serial.println(F("ERROR"));
    status = false;
}
#endif
```

### Лістинг 3.6 – Код перевірки роботи модуля реального часу

```
lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(F("RTC... "));
  Serial.print(F("RTC... "));
  delay(50);
  if (rtc.begin()) {
    lcd.print(F("OK"));
    Serial.println(F("OK"));
  } else {
    lcd.print(F("ERROR"));
    Serial.println(F("ERROR"));
    status = false;
  }
```

### Лістинг 3.7 – Код перевірки роботи датчика BME280

```
lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print(F("BME280... "));
  Serial.print(F("BME280... "));
  delay(50);
  if (bme.begin(&Wire)) {
    lcd.print(F("OK"));
    Serial.println(F("OK"));
  } else {
```

```

    lcd.print(F("ERROR"));
    Serial.println(F("ERROR"));
    status = false;
}

```

У лістингах 3.5 – 3.7 представлено коди для перевірки роботи та калібрування датчиків та модуля реального часу. Якщо під час перевірки будуть виявленні якісь помилки, про це буде повідомлено на дисплеї

### Лістинг 3.8 – Код для запуску датчиків та модуля реального часу

```

#if (CO2_SENSOR == 1)
    mhz19.begin(MHZ_TX, MHZ_RX);
    mhz19.setAutoCalibration(false);
#endif

    rtc.begin();
    bme.begin(&Wire);
#endif

    bme.setSampling(Adafruit_BME280::MODE_FORCED,
                    Adafruit_BME280::SAMPLING_X1,
                    Adafruit_BME280::SAMPLING_X1,
                    Adafruit_BME280::SAMPLING_X1,
                    Adafruit_BME280::FILTER_OFF    );

    if (RESET_CLOCK || rtc.lostPower())
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    now = rtc.now();
    secs = now.second();
    mins = now.minute();
    hrs = now.hour();
    bme.takeForcedMeasurement();
    uint32_t Pressure = bme.readPressure();
    for (byte i = 0; i < 6; i++) {
        pressure_array[i] = Pressure;
        time_array[i] = i;
    }

```

```

}
if (DISPLAY_TYPE == 1) {
    loadClock();
    drawClock(hrs, mins, 0, 0, 1);
    drawDate();
}
readSensors();
drawSensors();

```

У лістингу 3.8 представлено код для запуску датчиків та модуля реального часу з початковими параметрами, які задає користувач.

### Лістинг 3.9 – Код функції для зчитування показників датчиків

```

void readSensors() {
    bme.takeForcedMeasurement();
    dispTemp = bme.readTemperature();
    dispHum = bme.readHumidity();
    dispPres = (float)bme.readPressure() * 0.00750062;
#ifdef CO2_SENSOR == 1
    dispCO2 = mhz19.getPPM();
    if (dispCO2 < 800) setLED(2);
    else if (dispCO2 < 1200) setLED(3);
    else if (dispCO2 >= 1200) setLED(1);
#endif
}

```

### Лістинг 3.10 – Код функції для виведення даних з датчиків на дисплей

```

void drawSensors() {
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(String(dispTemp, 1));
    lcd.write(223);
}

```

```

    lcd.setCursor(6, 2);
    lcd.print(" " + String(dispHum) + "% ");
#if (CO2_SENSOR == 1)
    lcd.print(String(dispCO2) + " ppm");
    if (dispCO2 < 1000) lcd.print(" ");
#endif
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(String(dispPres) + " mm rain ");
    lcd.print(F("          "));
    lcd.setCursor(13, 3);
    lcd.print(String(dispRain) + "%");

```

У лістингу 3.9 представлено код функції, яка зчитує показники з датчиків та приводить їх у доступний для розуміння користувачем вигляд. У лістингу 3.10 наведено код функції, яка виводить дані з датчиків на дисплей після їх перетворення.

Принцип роботи програмного забезпечення для автоматизованої системи моніторингу мікроклімату полягає в наступному: після запуску програми на дисплей виводяться актуальні дата та час, і відразу починається процес калібрування датчиків. Після того як калібрування завершено (процес триває кілька секунд), система починає вимірювати значення температури, вологості та атмосферного тиску, конвертує ці дані у зрозумілий для користувача формат і відображає їх на дисплеї. Крім поточних показників, користувач також може переглядати графіки змін за останні години чи добу для більш детального аналізу тенденцій.

Програма також передбачає обробку можливих помилок: якщо показники з датчика некоректні або відсутні, чи якщо виникає інша системна помилка, користувач отримує відповідне повідомлення на екрані. Робота програми організована у вигляді нескінченного циклу, що дозволяє системі функціонувати безперервно до моменту, поки користувач не завершить її вручну або не вимкне енергоживлення.

## 4 ДОСЛІДНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА

У попередніх розділах було детально проаналізовано предметну область та теоретичні основи для створення автоматизованої системи. Було розглянуто методи і технології для моніторингу параметрів мікроклімату в приміщеннях, а також розроблено апаратну частину проекту та програмне забезпечення, яке забезпечує весь функціонал системи. Для перевірки надійності й ефективності роботи розробленої системи необхідно провести тестову експлуатацію прототипу. Це включає збір і запуск усіх апаратних компонентів системи, а також виконання програмного забезпечення в умовах, максимально наближених до реальних, де користувач зможе повноцінно оцінити роботу системи.

### 4.1 Опис макетного зразка та методики випробувань

Щоб змодельовати роботу прототипу системи, тестування потрібно проводити в умовах, максимально наближених до реальних, у яких планується використання системи. Це вимагає спершу зібрати апаратну частину, після чого запустити програмне забезпечення та розпочати тестування. Як зазначено у другому розділі, для реалізації апаратної складової доцільно застосувати готові технічні рішення, сумісні з платформою Arduino. У другому розділі також обґрунтовано вибір компонентів, що забезпечують роботу системи. Кожен з електронних компонентів під'єднується до плати Arduino за допомогою спеціальних дротів, а плата підключається до джерела живлення через USB-кабель.

Для спрощення складання апаратної частини та уникнення плутанини з дротами доцільно використовувати макетну плату ("breadboard"), яка дозволяє швидко під'єднувати компоненти та легко вносити зміни в підключення.

Також для захисту внутрішніх компонентів системи було розроблено 3D-модель корпусу та розпечатано на 3D-принтері. Зовнішній вигляд збірки системи моніторингу мікроклімату у приміщенні без корпусу та з корпусом представлено на рисунках 4.1 і 4.2 відповідно.

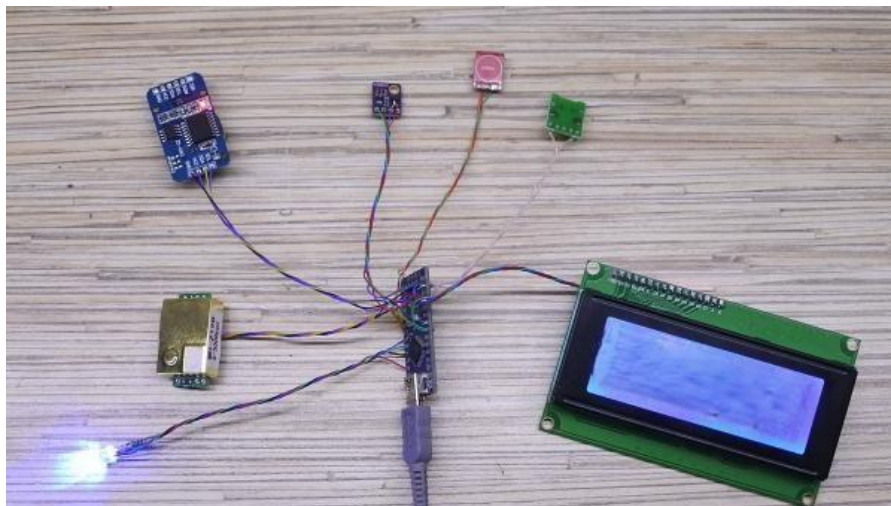


Рисунок 4.1 – Збірка системи без корпусу



Рисунок 4.2 – Збірка системи з корпусом

Після завершення реалізації апаратної частини системи необхідно запрограмувати мікроконтролер, записавши в нього програмне забезпечення. Далі потрібно провести тестування, що включає кілька послідовних етапів для перевірки функціональності та стабільності роботи системи, а саме:

1. Запуск системи;
2. Перевірка працездатності усіх компонентів;
3. Перевірка відображення інформації на дисплеї;
4. Перевірка роботи кожного датчика та відображення коректних даних на дисплеї;
5. Перевірка роботи модуля реального часу та відображення коректних дати та часу на дисплеї;
6. Перевірка роботи кнопки для перемикання «екранів» системи;
7. Перевірка коректної побудови графіків для різних показників;
8. Перевірка часу відгуку системи та таймаутів;
9. Перевірка відпрацювання нестандартних ситуацій, за яких виникають помилки у системі.

Результати тестування макетного зразка проектованої системи представлені у наступному підрозділі.

#### 4.2 Результати моделювання роботи тестового зразка

Першим ділом необхідно перевірити запуск системи та працездатність усіх компонентів, для цього у програмному забезпеченні передбачено перевірки для кожного компонента системи. Результат запуску та перевірки працездатності компонентів представлено на рисунку 4.3.

Після перевірки всіх компонентів, на дисплеї будуть відображатися поточні дата та час, а також інформація про стан мікроклімату, яка збирається з датчиків та перетворюється на зрозумілий користувачеві вигляд. Результат роботи системи представлено на рисунку 4.4.



Рисунок 4.3 – Перший запуск системи



Рисунок 4.4 – Результат роботи системи моніторингу мікроклімату у приміщенні

Наступним етапом є перевірка побудови графіків (гістограм) для різних показників за якийсь період часу. Результат цього етапу тестування представлено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Графік зміни концентрації CO<sub>2</sub> за годину

На основі отриманих результатів тестування системи можна зробити висновки, що система функціонує відповідно до програмного забезпечення. Всі етапи перевірки було успішно пройдено, підтверджено працездатність і ефективність роботи. Компоненти працюють коректно, а дані відображаються згідно з вимогами програмного забезпечення, без будь-яких збоїв. Час відгуку системи на команди користувача залишається в межах таймаутів, закладених у ПЗ, а інтерфейс правильно реагує на виникнення нештатних ситуацій, передбачених у кодї для обробки помилок. Враховуючи технічні характеристики прототипу, можна припустити, що продуктивність у реальних умовах може змінюватися. Під час тестування проблем у роботі системи не зафіксовано.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено автоматизовану систему моніторингу мікроклімату приміщення на основі мікроконтролера Arduino Nano та набору сенсорів для вимірювання параметрів навколишнього середовища, таких як температура, вологість, атмосферний тиск, вміст CO<sub>2</sub>, а також дати та часу. Використання датчиків BME280, MH-Z19, DS3231, LCD-дисплея та сенсорної кнопки TTP223 дозволило створити ефективний інструмент, що надає користувачу актуальну інформацію щодо мікроклімату в режимі реального часу.

Проект складається з декількох етапів, кожен з яких детально описано в окремих розділах роботи. У першому розділі було проведено аналіз факторів, що визначають мікроклімат приміщення, а також огляд існуючих систем регулювання. Другий розділ присвячений обґрунтуванню вибору технічних рішень для апаратної частини системи, що дало змогу створити надійну та оптимальну конфігурацію компонентів. У третьому розділі описано розробку програмного забезпечення, що охоплює всі аспекти функціонування системи, включаючи алгоритми зчитування та обробки даних від датчиків, відображення інформації на дисплеї та обробку команд від користувача. Останній розділ містить результати моделювання та тестування роботи макетного зразка системи. Результати випробувань підтвердили працездатність і ефективність системи, а також відповідність заданим вимогам до стабільності та надійності.

Розроблена система моніторингу мікроклімату забезпечує точність, зручність у користуванні та можливість подальшого розширення функціоналу. Вона може бути корисною як для домашнього використання, так і для застосування в офісах чи інших приміщеннях, де важливим є підтримання оптимальних умов мікроклімату.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мікроклімат [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроклімат>
2. Автоматизація процесів керування мікрокліматом житлових приміщень / Науковий журнал "Наукові праці Національного університету «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування". — Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2024. — Вип. 845. — С. 23–30. — DOI: 10.23939/auto2024.845.023.
3. Васильєв О. І., Петров М. С. Системи автоматичного регулювання мікроклімату у промислових і житлових приміщеннях: теорія і практика. — Харків: ХНУРЕ, 2022. — 312 с. — ISBN 978-966-659-903-2.
4. Півняк Г. Г., Бусигін Б. С., Дівізінюк М. М. Тлумачний словник з інформатики. — Д.: Національний гірничий університет, 2010. — 392 с. — ISBN 978-966-350-306-0.
5. Arduino Nano [Електронний ресурс] // Arduino: офіційний сайт. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>
6. BME280 [Електронний ресурс] // Офіційний сайт. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>
7. MH-Z19 [Електронний ресурс] // MH-Z19 NDIR CO<sub>2</sub> Module Datasheet. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://www.winsensor.com/d/files/PDF/Infrared%20Gas%20Sensor/NDIR%20CO2%20SENSOR/MH-Z19%20CO2%20Ver1.0.pdf>
8. DS3231 [Електронний ресурс] // Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated RTC/TCXO/Crystal Datasheet. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://www.analog.com/en/products/ds3231.html>

9. Рідкокристалічний дисплей [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Рідкокристалічний-дисплей>
10. Сенсорна кнопка [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Сенсорна-кнопка>
11. C++ Programming: Principles and Practice Using C++ / Bjarne Stroustrup. — Addison-Wesley Professional, 2014. — 1312 p. — ISBN 978-0321992789.
12. Elliot Williams. Make: AVR Programming: Learning to Write Software for Hardware. — Maker Media, Inc., 2014. — 472 p. — ISBN 978-1449355784.
13. Julien Bayle. C Programming for Arduino. — Packt Publishing, 2013. — 512 p. — ISBN 978-1849517584.
14. Simon Monk. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. — McGraw-Hill Education, 2016. — 192 p. — ISBN 978-1259641633.