

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет робототехніки та приладобудування  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: «Автоматизована система моніторингу та керування параметрами мікроклімату»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ПК-21

Коломієць Олександр Сергійович \_\_\_\_\_

Керівник:

доцент АСНК, к.т.н.,

Нечай Сергій Олексійович \_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент, доктор філософії (PhD) кафедри ІВТ

Дорожинська Ганна Василівна \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4		Пояснювальна записка	95	
3	A1	ДП ПК-2109. 01.000 СхС	Структурна схема	1	
4	A1	ДП ПК-2109. 02.000 СхЕ	Електрична принципова схема	1	
5	A1	ДП ПК-2109. 03.000 СхЕ	Схема електрична принципова блоку живлення	1	
6	A1	ДП ПК-2109. 04.000 СхА	Схема алгоритму роботи	1	
7	A1	ДП ПК-2109. 05.000	Презентаційний аркуш	1	

				<b>ДП ПК-2109 00.000.00</b>		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Коломієць О.С.			<b>Відомість дипломного проєкту</b>	Лист	Листів
Керівн.	Нечай С.О.				2	95
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПК-21	
Н/контр.						
Зав.каф.						

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Автоматизована система моніторингу та керування**  
**параметрами мікроклімату»**

Київ – 2026

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет робототехніки та приладобудування**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Коломієць Олександр Сергійович**

1. Тема проєкту «Автоматизована система моніторингу та керування параметрами мікроклімату», керівник проєкту Нечай Сергій Олексійович доцент АСНК, к.т.н., затверджені наказом по університету від «26»05. 2026р. №1905

2. Термін подання студентом проєкту 11.06.2026 \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту : діапазон вимірювання температури від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ ;

похибка вимірювання температури не більше  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ; діапазон вимірювання відносної

вологості: від 0% до 100% RH; похибка вимірювання вологості не більше  $\pm 2\%$  RH;

діапазон вимірювання атмосферного тиску від 300 до 1100 гПа; похибка

вимірювання тиску не більше  $\pm 1$  гПа.

4. Зміст пояснювальної записки: огляд та аналіз методів моніторингу та керування параметрами мікроклімату, розробка структурної схеми, розробка електричної принципової схеми, розробка алгоритму роботи програми.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Структурна схема, електрична принципові схеми, схема алгоритма роботи, Презентаційний аркуш. Загалом 5 аркушів формату А1.

6. Дата видачі завдання 03.03.2026 \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Технічне завдання	03.03.2026-06.03.2026	
2	Огляд та аналіз методів моніторингу та керування параметрами мікроклімату	06.03.2026 – 20.03.2026	
3	Розробка структурної схеми	20.03.2026-15.04.2026	
4	Розробка електричної принципової схеми	15.04.2026-07.05.2026	
5	Розробка алгоритму роботи програми	07.05.2026-20.05.2026	
6	Висновок	20.05.2026-21.05.2026	

Студент

Олександр КОЛОМІЄЦЬ

Керівник

Сергій НЕЧАЙ

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячений розробці автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату на базі мікроконтролера STM32. Система забезпечує безперервне вимірювання температури, відносної вологості повітря, атмосферного тиску, якості повітря, рівня задимлення, положення приладу та напрямку вітру з автоматичним керуванням виконавчими пристроями — вентилятором, нагрівачем та зволожувачем — на основі порівняння виміряних значень із заданими пороговими величинами.

У роботі проведено аналіз існуючих систем моніторингу мікроклімату, обґрунтовано вибір елементної бази, розроблено структурну та електричну принципову схеми пристрою, описано алгоритм роботи програмного забезпечення. Для керування виконавчими пристроями реалізовано алгоритм з гістерезисом, що забезпечує стабільну роботу без частих перемикань реле.

Практична цінність роботи полягає у створенні функціонально повноцінного автономного пристрою, придатного до застосування в житлових, офісних та виробничих приміщеннях.

Ключові слова: мікроклімат, моніторинг, STM32, датчик температури, датчик вологості, автоматичне керування, реле, алгоритм.

## ABSTRACT

The diploma project is dedicated to the development of an automated microclimate monitoring and control system based on the STM32 microcontroller. The system provides continuous measurement of air temperature, relative humidity, atmospheric pressure, air quality, smoke level, position of the device and wind direction with automatic control of actuators — a fan, heater and humidifier — based on comparison of measured values with predefined threshold parameters.

The work includes an analysis of existing microclimate monitoring systems, justification of the component selection, development of the structural and electrical schematic diagrams, description of the software operation algorithm. A hysteresis-based

control algorithm has been implemented to ensure stable operation without frequent relay switching.

The practical value of the work lies in the creation of a fully functional autonomous device suitable for use in residential, office and industrial premises.

Keywords: microclimate, monitoring, STM32, temperature sensor, humidity sensor, automatic control, relay, algorithm.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ .....	11
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ .....	13
2.1. Мікроклімат та його параметри.....	13
2.2. Пристрої для вимірювання мікроклімату .....	16
2.3. Пристрої для регулювання мікроклімату .....	16
2.4. Класифікація та застосування систем моніторингу та регулювання мікроклімату .....	17
2.5. Принцип роботи системи моніторингу.....	19
2.6. Методи опрацювання вимірів .....	21
2.7. Аналіз існуючих систем моніторингу та регулювання .....	22
2.8. Висновки до розділу .....	23
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	24
3.1. Структурна схема.....	24
3.2. Будова автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату .....	25
3.3. Підбір компонентів .....	28
3.3.1. Підбір кнопок .....	28
3.3.2. Підбір датчика температури та вологості .....	30
3.3.3. Підбір датчика атмосферного тиску .....	33
3.3.4. Підбір датчика якості повітря.....	35
3.3.5. Підбір тривісного магнітометра .....	37
3.3.6. Підбір датчика диму MQ-2 .....	40
3.3.7. Підбір платформи.....	43
3.3.8. Підбір нагрівача .....	45
3.3.9. Підбір вентилятора .....	49
3.3.10. Підбір зволожувача.....	53

3.3.11. Вибір екрану користувача.....	56
3.3.12. Підбір сигналізації.....	57
3.3.13. Підбір датчика напрямку повітря.....	59
3.4. Висновок до розділу.....	67
4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ .....	68
4.1. Опис електричної принципової схеми для створення автоматизованої системи моніторингу та регулювання параметрами мікроклімату .....	68
4.2. Розрахунок споживаної потужності системи.....	74
4.3. Розрахунок елементів блоку живлення.....	75
4.4. Висновок до розділу.....	77
5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРОГРАМИ .....	79
5.1. Деталізований опис алгоритму .....	79
5.2. Розрахунок похибки вимірювання .....	82
5.3. Розрахунок та обґрунтування значень гістерезису.....	83
5.4. Висновок до розділу.....	85
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	88
ДОДАТКИ.....	91

## ВСТУП

Сучасний розвиток технологій автоматизації та мікроелектроніки відкриває широкі можливості для створення інтелектуальних систем керування навколишнім середовищем. Одним із ключових напрямків у цій сфері є моніторинг та регулювання параметрів мікроклімату — комплексу фізичних характеристик повітряного середовища, що безпосередньо впливають на комфорт, здоров'я людини та ефективність виробничих процесів.

Підтримання оптимальних параметрів мікроклімату є критично важливим у багатьох галузях: у житлових і офісних приміщеннях, медичних закладах, теплицях і сільськогосподарських комплексах, серверних кімнатах, складських і виробничих об'єктах. Відхилення температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub> або атмосферного тиску від допустимих норм може призводити до зниження продуктивності праці, погіршення стану здоров'я персоналу, псування продукції або виходу з ладу обладнання.

Традиційні методи контролю мікроклімату, що базуються на ручному знятті показників та ручному регулюванні виконавчих пристроїв, не відповідають сучасним вимогам щодо оперативності, точності та надійності. У зв'язку з цим актуальним є розроблення автоматизованих систем, здатних у режимі реального часу здійснювати збір даних із датчиків, аналізувати стан середовища та без участі оператора вживати необхідних керуючих дій.

Метою даного дипломного проєкту є розроблення автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату на базі мікроконтролера STM32. Система забезпечує безперервне вимірювання температури, відносної вологості повітря та атмосферного тиску, відображення отриманих даних на інформаційному дисплеї, порівняння вимірних значень із заданими пороговими величинами та автоматичне керування виконавчими пристроями — вентилятором, нагрівачем і зволожувачем — з метою підтримання заданих умов середовища.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання: аналіз існуючих методів і засобів контролю параметрів мікроклімату; вибір і обґрунтування елементної бази системи; розроблення структурної та принципової

електричної схеми пристрою; програмна реалізація алгоритмів зчитування даних із датчиків, обробки інформації та керування виконавчими механізмами; симуляція роботи системи у середовищі Wokwi та перевірка її функціональності.

Практична цінність роботи полягає у створенні відносно недорогого, але функціонально повноцінного пристрою, придатного до використання як у побутових, так і у виробничих умовах. Застосування мікроконтролера серії STM32 забезпечує високу обчислювальну потужність, широкі можливості для розширення функціоналу системи та відповідність сучасним стандартам вбудованих систем керування.

## **1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

### **1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування**

Підставою для розробки даної системи є необхідність створення ефективного, доступного та надійного засобу автоматичного контролю параметрів мікроклімату в умовах, де ручний моніторинг є недостатнім або економічно невиправданим. Розробка виконується як дипломний проєкт відповідно до завдання на проєктування, виданого кафедрою.

Призначення системи полягає у безперервному автоматичному вимірюванні основних параметрів повітряного середовища — температури, відносної вологості та атмосферного тиску — з подальшим відображенням отриманих даних та автоматичним керуванням виконавчими пристроями з метою підтримання заданих користувачем умов мікроклімату. У разі виходу будь-якого з параметрів за встановлені межі система формує сигнал сповіщення та ініціює відповідну керуючу дію без втручання оператора[1].

Галузь застосування розробленої системи є досить широкою. У побутовій сфері вона може використовуватися для підтримання комфортного мікроклімату в житлових і офісних приміщеннях. В агропромисловому секторі система знаходить застосування у теплицях і закритих розсадниках, де точний контроль температури та

вологості безпосередньо впливає на врожайність. У сфері зберігання система придатна для контролю умов на складах продовольчих товарів, медикаментів або електронних компонентів. Окрім цього, розроблений пристрій може застосовуватись у серверних приміщеннях для запобігання перегріву обладнання, а також у медичних і лабораторних установах, де стабільність параметрів середовища є обов'язковою умовою роботи.

## **1.2. Умови експлуатації**

1.2.1. Температура зовнішнього середовища від 5 до +40 °С

1.2.2. Відносна вологість не більше від 20% до 80%

1.2.3. Атмосферний тиск: від 86 до 106 кПа

1.2.4. Живлення пристрою напруга 220 В або через адаптер

1.2.5. Ступінь захисту корпусу: IP20

1.2.6. Очищення корпусу та елементів від пилу — за потреби, сухим способом

## **1.3. Вимоги до технічних характеристик**

1.1.1. Діапазон вимірювання температури: від -40°C до +80°C

1.1.2. Похибка вимірювання температури: не більше  $\pm 0,5^\circ\text{C}$

1.1.3. Діапазон вимірювання відносної вологості: від 0% до 100% RH

1.1.4. Похибка вимірювання вологості: не більше  $\pm 2\%$  RH

1.1.5. Діапазон вимірювання атмосферного тиску: від 300 до 1100 гПа

1.1.6. Похибка вимірювання тиску: не більше  $\pm 1$  гПа

1.1.7. Період оновлення показань на дисплеї: не більше 2 секунд

## 2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ТА РЕГЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ

### 2.1. Мікроклімат та його параметри

Мікроклімат приміщень є одним із ключових факторів, що визначають умови перебування людини у закритому просторі. Під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням, і які визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, що оточують людину, та інтенсивності теплового (інфрачервоного) опромінення. Усі ці параметри діють на організм людини не ізольовано, а у взаємозв'язку, формуючи загальне теплове навантаження або дефіцит тепла.

Здатність організму протистояти змінам зовнішнього середовища забезпечується механізмом терморегуляції. Незважаючи на те, що параметри мікроклімату виробничих приміщень можуть змінюватись, іноді навіть значно, температура тіла людини залишається сталою (36,6 °C) — це досягається завдяки терморегуляції, тобто властивості організму підтримувати тепловий баланс із навколишнім середовищем. Проте можливості цього механізму не безмежні: при значних відхиленнях параметрів мікроклімату від норми організм змушений витратити значну частину ресурсів на підтримку температурного гомеостазу, що неминуче позначається на самопочутті та продуктивності.

Нормальний перебіг фізіологічних процесів, а отже, і хороше самопочуття можливе лише тоді, коли тепло, що виділяється організмом людини, постійно відводиться в навколишнє середовище. Баланс між теплопродукцією та тепловіддачею залежить одночасно від кількох факторів: температури і вологості повітря, швидкості його руху, а також від температури навколишніх поверхонь. При температурі повітря в межах 15–25 °C теплоутворення організму майже не змінюється — це так звана зона байдужості. Зі зниженням температури повітря

теплоутворення підвищується, головним чином унаслідок м'язової активності та підсилення обміну речовин, тоді як із підвищенням температури посилюються процеси тепловіддачі.

Перший і найбільш очевидний параметр мікроклімату — температура повітря. Вона визначає інтенсивність конвективного теплообміну між тілом людини та навколишнім повітряним середовищем. Температуру повітря вимірюють у кількох точках робочої зони, як правило, на рівні 1,3–1,5 м від підлоги в різний час. На тих робочих місцях, де температура повітря біля підлоги помітно відрізняється від температури повітря верхньої зони приміщення, вона вимірюється й на рівні ніг — 0,2–0,3 м від підлоги. Одиницею вимірювання є градуси Цельсія (°C). Відхилення температури від оптимального діапазону в будь-який бік негативно позначається на людині: знижена температура призводить до переохолодження і зниження моторики, підвищена — до теплового стресу, погіршення концентрації уваги та, в крайніх випадках, теплового удару.

Відносна вологість повітря є другим за значущістю параметром мікроклімату. Відносна вологість — це відношення фактичного вмісту маси водяних парів, що містяться в даний час у частині повітря, до максимально можливого їх вмісту при даній температурі, і виражається у відсотках. Окрім відносної, розрізняють також абсолютну вологість — кількість водяної пари в повітрі, виражену в грамах на кубічний метр, тобто густину ненасиченої пари. Для оцінки комфортності середовища найчастіше використовують саме відносну вологість, оскільки вона безпосередньо пов'язана з відчуттям вологи шкірою та слизовими оболонками. При низькій вологості (нижче 30–35%) пересихають слизові оболонки дихальних шляхів, виникає відчуття сухості та дискомфорту. При надмірно високій вологості (понад 70–75%) різко знижується ефективність тепловіддачі через випаровування поту, що особливо небезпечно за підвищеної температури.

Швидкість руху повітря визначає інтенсивність конвективного охолодження поверхні тіла. Навіть за однакової температури рух повітря суттєво змінює теплові відчуття людини: у спеку вітерець приносить полегшення, тоді як у холодному

приміщенні протяг посилює відчуття холоду. Для вимірювання малих швидкостей руху повітря (менше 0,5 м/с) застосовують термоанемометри та кататермометри, а для більших значень — крильчасті та чашкові анемометри. Швидкість руху повітря вимірюється у метрах за секунду (м/с).

Температура навколишніх поверхонь — стін, стелі, підлоги, обладнання — визначає інтенсивність радіаційного теплообміну між людиною та оточенням. Навіть якщо температура повітря перебуває в нормі, холодні стіни або, навпаки, нагріті поверхні можуть суттєво порушити тепловий баланс організму. Цей параметр вимірюється у °С за допомогою контактних приладів — електротермометрів та термопар. Інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, що генерується нагрітими поверхнями та технологічним обладнанням, вимірюється у Вт/м<sup>2</sup>.

Нормативне регулювання параметрів мікроклімату в Україні здійснюється відповідно до санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99 та державного стандарту ДСТУ ГОСТ 12.1.005. Ці параметри нормуються для робочої зони — визначеного простору, в якому знаходяться робочі місця постійного або тимчасового перебування працівників. Нормативи розрізняють оптимальні та допустимі умови, а також враховують категорію фізичного навантаження і пору року. Під оптимальними мікрокліматичними умовами розуміють поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції, створюють відчуття теплового комфорту та передумови для високого рівня працездатності.

Для приміщень з легкою роботою категорії 1б нормативні вимоги передбачають: у теплий період — температуру повітря 22–24 °С, відносну вологість 40–60%, швидкість руху повітря не більше 0,2 м/с; у холодний період — температуру 21–23 °С, відносну вологість 40–60%, швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с. Ці значення слугують орієнтиром при проектуванні систем автоматичного керування мікрокліматом і безпосередньо визначають порогові значення спрацювання виконавчих пристроїв у системі, що розробляється.

Таким чином, мікроклімат є багатопараметричним об'єктом керування, в якому всі складові взаємопов'язані та впливають одна на одну. Підтримання кожного з параметрів у нормативних межах одночасно і в автоматичному режимі є саме тим завданням, вирішення якого становить основну мету даного дипломного проєкту[18].

## **2.2. Пристрої для вимірювання мікроклімату**

У розробленій системі використовується набір датчиків та периферійних пристроїв, кожен з яких виконує свою конкретну роль і разом вони утворюють повноцінний комплекс моніторингу та керування мікрокліматом.

Основним засобом вимірювання є датчик DHT22, який відповідає за зчитування температури та відносної вологості повітря, та датчик BMP280, що вимірює атмосферний тиск. Обидва пристрої є цифровими і підключаються до мікроконтролера через стандартні інтерфейси, що спрощує їх інтеграцію в систему. Для оцінки якості повітря використовується аналоговий датчик MQ-135, сигнал з якого зчитується через вбудований АЦП мікроконтролера.

Відображення поточних параметрів здійснюється на рідкокристалічному дисплеї LCD 16×2, підключеному через I<sup>2</sup>C-адаптер. Керування виконавчими пристроями — вентилятором, нагрівачем та зволожувачем — реалізовано через модуль реле, який дозволяє мікроконтролеру комутувати зовнішні навантаження. Для звукового сповіщення при виході параметрів за допустимі межі передбачено п'єзоелектричний зумер[2].

## **2.3. Пристрої для регулювання мікроклімату**

Окрім вимірювання параметрів середовища, система також повинна впливати на нього — тобто не просто фіксувати відхилення, а й усувати їх. Для цього в системі передбачено кілька виконавчих пристроїв, кожен з яких відповідає за регулювання певного параметра мікроклімату.

Вентилятор використовується для регулювання температури та циркуляції повітря в приміщенні. При підвищенні температури понад встановлену межу система автоматично вмикає вентилятор для охолодження та провітрювання. Нагрівач, навпаки, вмикається при зниженні температури нижче допустимого рівня і забезпечує підігрів повітря до комфортних показників. Зволожувач відповідає за підтримання нормального рівня вологості — при її падінні нижче порогового значення пристрій починає насичувати повітря вологою[3].

## **2.4. Класифікація та застосування системи моніторингу та регулювання мікроклімату**

Автоматизована система моніторингу та керування параметрами мікроклімату — це електронний пристрій, призначений для безперервного автоматичного вимірювання основних характеристик повітряного середовища в замкненому приміщенні, відображення отриманих даних у реальному часі та автоматичного керування виконавчими пристроями з метою підтримання заданих параметрів у встановлених межах без постійної участі оператора.

### **2.4.1. Класифікація систем моніторингу та регулювання**

У галузі систем моніторингу та керування мікрокліматом можна виділити кілька основних класифікацій.

За призначенням системи поділяються на побутові, промислові та спеціалізовані. Побутові призначені для житлових і офісних приміщень, промислові — для виробничих об'єктів, складів і теплиць, а спеціалізовані застосовуються в медичних закладах, серверних кімнатах та лабораторіях, де вимоги до точності й надійності є особливо високими.

За кількістю контрольованих параметрів системи бувають однопараметричні, що контролюють лише один показник, наприклад температуру, та багатопараметричні, які одночасно вимірюють температуру, вологість, тиск, якість повітря тощо. Розроблювана система належить саме до багатопараметричних.

За способом керування розрізняють системи з ручним керуванням, напівавтоматичні та повністю автоматичні. Розроблювана система є автоматичною — вона самостійно приймає рішення щодо вмикання або вимикання виконавчих пристроїв на основі показань датчиків.

За типом зв'язку системи поділяються на автономні, які працюють без підключення до зовнішніх мереж, та мережеві, що передають дані на сервер, смартфон або до хмарного сховища. Розроблювана система є автономною, хоча за потреби може бути розширена модулем бездротового зв'язку.

За елементною базою системи бувають аналогові, цифрові та мікропроцесорні. Сучасні системи, включаючи розроблювану, відносяться до мікропроцесорних, оскільки побудовані на базі мікроконтролера, що забезпечує гнучкість налаштування та широкі можливості для вдосконалення[4].

#### **2.4.2. Застосування систем моніторингу та регулювання мікроклімату**

Системи моніторингу та регулювання мікроклімату знаходять широке застосування у найрізноманітніших сферах людської діяльності.

У житловому та офісному секторі такі системи забезпечують комфортні умови перебування людей, автоматично підтримуючи оптимальну температуру та вологість протягом усього дня.

В агропромисловому комплексі вони використовуються у теплицях і розсадниках, де точний контроль мікроклімату безпосередньо впливає на врожайність і якість продукції.

На виробничих підприємствах і складах системи забезпечують збереження товарів, сировини та обладнання, запобігаючи їх псуванню через перепади температури або вологості.

У медичних закладах і фармацевтичній промисловості підтримання стабільних параметрів середовища є обов'язковою умовою як для зберігання медикаментів, так і для проведення лікувальних процедур.

У серверних приміщеннях системи моніторингу мікроклімату відіграють критично важливу роль, оскільки перегрів або надмірна вологість можуть призвести до виходу з ладу дорогого обладнання[5].

## **2.5. Принцип роботи системи моніторингу**

### **2.5.1. Ініціалізація системи**

Після подачі живлення мікроконтролер STM32 виконує початкове налаштування всіх периферійних пристроїв. Ініціалізуються інтерфейси I<sup>2</sup>C та UART, налаштовуються канали АЦП, виводи керування реле переводяться у вимкнений стан. Завантажуються збережені в енергонезалежній пам'яті порогові значення параметрів, встановлені користувачем раніше. На дисплеї відображається привітальне повідомлення, після чого система переходить до основного робочого циклу.

### **2.5.2. Циклічне вимірювання**

В основному робочому циклі система з певним інтервалом послідовно опитує всі підключені датчики. З датчика DHT22 зчитуються значення температури та вологості, з BMP180 — атмосферний тиск, з MQ-135 через АЦП — рівень якості повітря. Отримані значення фільтруються для усунення випадкових похибок і записуються до оперативної пам'яті. Після кожного циклу вимірювання дисплей оновлюється і відображає актуальні дані[6].

### **2.5.3. Обробка та порівняння значень**

Після зчитування показань з датчиків кожне отримане значення порівнюється із заздалегідь встановленими пороговими межами. Логіка прийняття рішень побудована окремо для кожного параметра.

Для температури встановлено два порогових значення — нижня межа на рівні +18°C та верхня на рівні +26°C. Якщо виміряна температура перевищує +26°C, система подає керуючий сигнал на реле вентилятора і вмикає його для охолодження приміщення. Якщо ж температура опускається нижче +18°C — вмикається нагрівач. При поверненні температури до нормального діапазону відповідний виконавчий

пристрій вимикається з урахуванням гістерезису в 1°C, тобто вентилятор вимкнеться лише при зниженні температури до +25°C, а нагрівач — при підвищенні до +19°C.

Для відносної вологості нормальним діапазоном вважається від 40% до 60% RH. При падінні вологості нижче 40% RH система вмикає зволожувач. Верхня межа у 60% RH слугує сигналом для вмикання вентилятора з метою осушення повітря. Гістерезис для вологості складає 3% RH.

Для атмосферного тиску система не керує виконавчими пристроями, оскільки вплив на цей параметр у межах одного приміщення є практично неможливим. Натомість при відхиленні тиску за межі діапазону 960–1040 гПа система фіксує це як інформаційне повідомлення і відображає попередження на дисплеї.

Рівень якості повітря за показаннями MQ-135 оцінюється у відносних одиницях від 0 до 1023 відповідно до розрядності АЦП. При перевищенні значення 600 одиниць система розцінює якість повітря як незадовільну, вмикає вентилятор для провітрювання та активує звуковий сигнал тривоги через buzzer.

#### **2.5.4. Налаштування користувачем**

Система передбачає можливість зміни порогових значень безпосередньо через кнопки на пристрої. При натисканні відповідної кнопки система переходить у режим налаштування, де користувач може збільшувати або зменшувати порогові значення для кожного параметра окремо. Після підтвердження нові значення зберігаються в енергонезалежній пам'яті і залишаються активними навіть після вимкнення живлення.

#### **2.5.5. Безпека**

З точки зору безпеки система реалізує кілька рівнів захисту. При виході будь-якого параметра за критичні межі спрацьовує звукова сигналізація через buzzer, що сповіщає оператора про нештатну ситуацію. Виконавчі пристрої підключені через реле, що забезпечує гальванічну розв'язку між силовим колом і мікроконтролером. Також передбачено програмний захист від зависання — у разі відсутності відповіді від датчика протягом встановленого часу система фіксує помилку, відображає її на дисплеї і продовжує роботу з рештою датчиків, не зупиняючи весь процес моніторингу.

## **2.6. Методи опрацювання вимірів**

Для забезпечення стабільної та коректної роботи системи недостатньо просто зчитати значення з датчика і одразу передати його на вихід. Отримані дані потребують певної обробки, оскільки реальні вимірювання завжди містять шуми, випадкові похибки та короткочасні викиди. Для вирішення цих проблем у системі застосовується кілька методів опрацювання вимірів[7].

### **2.6.1. Цифрове усереднення (фільтрація шуму)**

Дані з датчика температури можуть містити незначні коливання через електричні завади або особливості протоколу OneWire. Щоб усунути такі флуктуації, застосовується ковзне середнє.

### **2.6.2. Гістерезис для стабільного перемикання реле**

У разі використання двопозиційного регулювання (ввімк./вимк.) дуже важливо уникнути частого перемикання реле при коливаннях біля заданої температури.

### **2.6.3. Перевірка на помилки та аномалії**

Перед обробкою значення перевіряється на допустимість. Наприклад:

Якщо температура  $< -40\text{ }^{\circ}\text{C}$  або  $> 80\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow$  вважається помилкою;

Якщо датчик не відповідає  $\rightarrow$  показується повідомлення «Помилка датчика». Такі перевірки дозволяють уникнути небезпечного перегріву або неправильного регулювання.

### **2.6.4. Затримка повторного зчитування**

Щоб не перевантажувати мікроконтролер і уникнути «стрибків» у результатах, вимірювання виконуються з інтервалом 1–2 секунди. Цього достатньо для води, яка змінює температуру повільно.

### **2.6.5. Зберігання значень**

Значення температури та налаштування користувача можуть зберігатися в енергонезалежній пам'яті (наприклад, Flash або EEPROM-емуляція), щоб після перезапуску не втрачати параметри.

### **2.6.6. Висновок**

Ці методи в сукупності дозволяють реалізувати на STM32 надійну систему моніторингу мікроклімату з мінімальними помилками і стабільною роботою в умовах побутового використання.

## **2.7. Аналіз існуючих систем моніторингу та регулювання**

Перед розробкою власної системи важливо проаналізувати вже існуючі рішення у цій галузі, щоб визначити їхні переваги та недоліки і врахувати це при проектуванні. На сьогоднішній день існує кілька основних підходів до побудови систем моніторингу та керування мікрокліматом:

### **2.7.1. Побутові метеостанції**

Найпростіший і найпоширеніший варіант для домашнього використання. Такі пристрої вимірюють температуру і вологість, відображають дані на дисплеї і на цьому їхній функціонал здебільшого закінчується. Жодного керування виконавчими пристроями, жодної автоматизації — користувач лише спостерігає за показниками і самостійно приймає рішення. Для задач простого спостереження цього достатньо, але для повноцінної автоматизації мікроклімату такі пристрої непридатні.

### **2.7.2. Промислові контролери**

Системи на базі контролерів Siemens, Овен або Schneider Electric використовуються на виробництві, у теплицях і великих об'єктах. Вони забезпечують високу точність, надійність і широкі можливості керування, підтримують промислові протоколи зв'язку та інтеграцію з диспетчерськими системами. Однак висока вартість, складність налаштування і надлишковий функціонал роблять їх абсолютно недоцільними для невеликих приміщень або навчальних проєктів.

### **2.7.3. Системи розумного будинку**

Рішення від Xiaomi, Aqara, Google Nest та подібних виробників дозволяють вимірювати параметри мікроклімату і керувати побутовими пристроями через смартфон або голосові команди. Виглядає зручно, але є суттєвий недолік — більшість

функцій залежить від хмарного сервісу і підключення до інтернету. При відсутності мережі система або повністю перестає працювати, або суттєво обмежується у можливостях. Крім того, такі системи погано піддаються розширенню і кастомізації[8].

## **2.8. Висновки до розділу**

У даному розділі було проведено комплексний аналіз предметної області, що стосується систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату. Розглянуто основні параметри мікроклімату, що підлягають контролю, визначено вимоги до технічних характеристик системи та умови її експлуатації.

Аналіз існуючих рішень показав, що на сьогоднішній день на ринку представлені як прості побутові пристрої без функції автоматичного керування, так і дорогі промислові системи з надлишковим для невеликих об'єктів функціоналом. Жодне з розглянутих рішень повною мірою не задовольняє поставленим вимогам з точки зору співвідношення функціональності та вартості реалізації.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір елементної бази розроблюваної системи. Як основний вимірювальний засіб обрано датчики DHT22 та BMP180, що забезпечують достатню точність вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску. Для оцінки якості повітря використовується аналоговий датчик MQ-135. Керування виконавчими пристроями реалізовано через модуль реле, а відображення інформації — на рідкокристалічному дисплеї LCD 16×2.

Визначено принцип роботи системи, що включає ініціалізацію, циклічне вимірювання параметрів, їх обробку із застосуванням методів фільтрації та гістерезису, порівняння з пороговими значеннями і формування керуючих впливів на виконавчі пристрої. Усі ці функції реалізуються на базі мікроконтролера STM32F103C8T6, який за своїми характеристиками повністю відповідає вимогам розроблюваної системи і забезпечує необхідний запас обчислювальних ресурсів для подальшого розширення функціоналу.

### 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

#### 3.1. Структурна схема автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату

Структурна схема відображає загальну організацію системи та взаємозв'язки між її основними компонентами. На рисунку 3.1 представлена структурна схема автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату, яка складається з блоку датчиків, центрального мікроконтролера STM32, блоку відображення інформації, блоку керування виконавчими пристроями та блоку живлення.

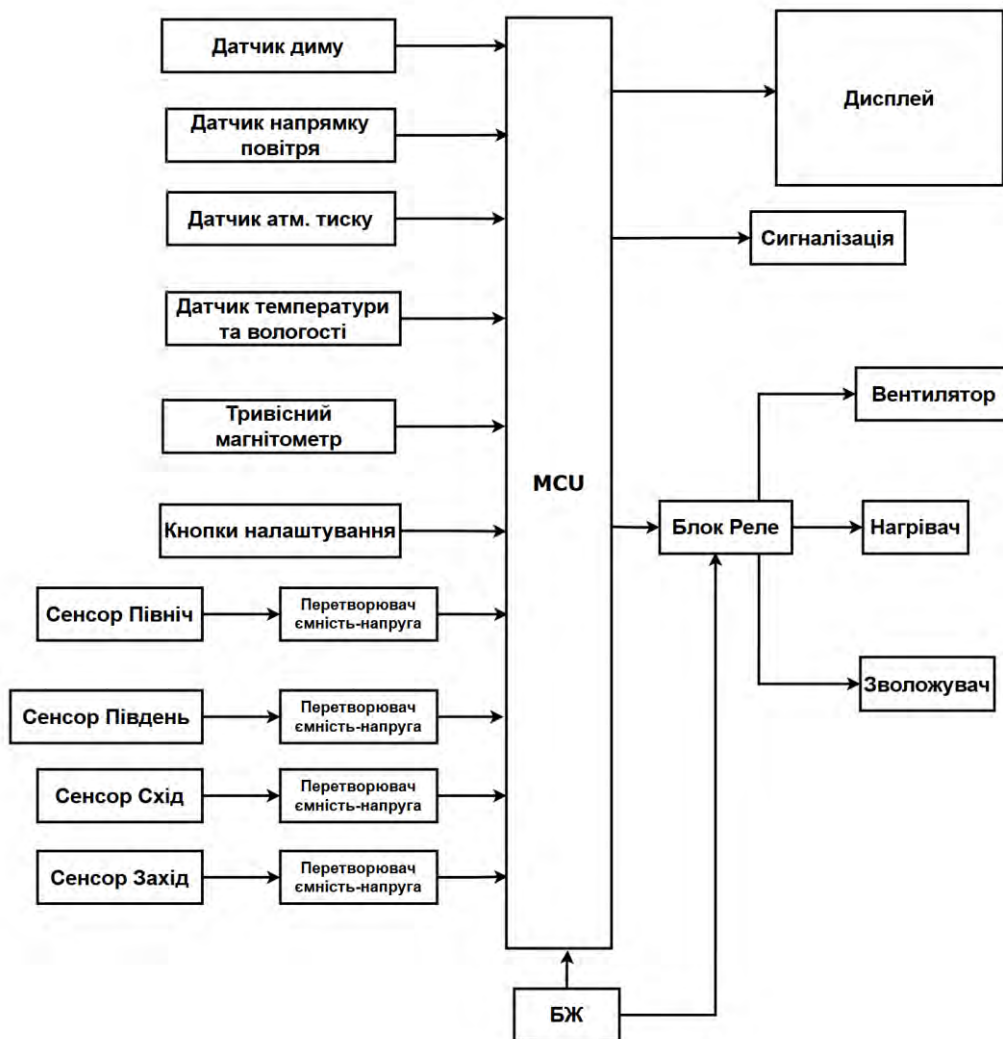


Рис. 3.1. Структурна схема автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату

Структурна схема відображає взаємозв'язок між усіма функціональними блоками системи. Центральним елементом є мікроконтролер MCU, до якого з лівого боку підключені вхідні блоки — датчик атмосферного тиску, датчик температури та вологості, датчик диму, сенсори датчика напрямку повітря, тривісний магнітометр, датчик якості повітря і кнопки налаштування. З правого боку мікроконтролер керує дисплеєм, блоком сигналізації та через модуль реле — трьома виконавчими пристроями: вентилятором, нагрівачем і зволожувачем. Блок живлення, розташований у нижній частині схеми, забезпечує роздільне живлення керуючого кола мікроконтролера та силового кола реле з виконавчими пристроями.

## **3.2. Будова автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату**

### **3.2.1. Мікроконтролер STM32**

Це головний керуючий елемент пристрою. Він виконує обробку даних з датчика температури, приймає рішення про включення або виключення нагрівача та виводить дані на екран. У цьому проєкті доцільно використати STM32 Nucleo-C031C6, який має достатньо ресурсів (пам'яті, GPIO, таймерів, UART/I2C/SPI) для реалізації необхідної логіки.

### **3.2.2. Датчик температури та вологості**

DHT22 — це цифровий сенсор, який передає мікроконтролеру точні значення температури та відносної вологості через однодротовий інтерфейс. Його переваги: цифровий вихід, стабільна точність  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  та  $\pm 2\%$  RH, простота підключення до мікроконтролера за допомогою лише одного сигнального виводу.

### **3.2.3. Датчик атмосферного тиску**

BMP180 — цифровий датчик атмосферного тиску виробництва Bosch, який підключається до мікроконтролера через інтерфейс I2C. Забезпечує точне вимірювання тиску в діапазоні від 300 до 1100 гПа з похибкою не більше  $\pm 1$  гПа та відрізняється низьким енергоспоживанням.

### **3.2.4. Датчик якості повітря**

MQ-135 — аналоговий датчик, що реагує на наявність у повітрі шкідливих газів. Вихідний аналоговий сигнал зчитується через вбудований АЦП мікроконтролера. Дозволяє оцінити загальну якість повітря та ініціювати вмикання вентилятора при перевищенні допустимого рівня забруднення.

### **3.2.5. Релейний модуль**

Служить для фізичного розмикання або замикання електричного кола, до якого підключено нагрівач. Управління відбувається сигналом з GPIO STM32. Використовується модуль з оптоізоляцією, що дозволяє безпечно керувати навантаженням 220 В.

### **3.2.6. Датчик диму**

Датчик MQ-2 складається з металевого сітчастого корпусу, що захищає внутрішні елементи та забезпечує доступ повітря до сенсора. Всередині розміщено керамічну трубку з шаром діоксиду олова  $\text{SnO}_2$  та нагрівальну спіраль з ніхромового дроту. Весь вузол змонтовано на текстолітовій платі з навантажувальним резистором та компаратором, що формують аналоговий вихід AOUT та цифровий вихід DO.

### **3.2.7. Тривісний магнітометр**

Для визначення просторової орієнтації пристрою в системі використовується тривісний магнітометр HMC5883L. Датчик вимірює складові магнітного поля Землі по трьох координатних осях та дозволяє визначати положення пристрою відносно сторін світу. Отримані дані передаються до мікроконтролера STM32 через інтерфейс I<sup>2</sup>C, де виконуються їх обробка та подальше використання для орієнтації системи в просторі. Використання HMC5883L забезпечує високу точність визначення азимуту при незначному енергоспоживанні.

### **3.2.8. Датчик напрямку повітря**

Для контролю напрямку руху повітря в системі застосовується ємнісний датчик напрямку повітряного потоку власної розробки. Конструкція датчика містить чотири чутливі сенсори, розташовані по напрямках північ, південь, схід та захід. Під дією повітряного потоку відбувається деформація мембрани відповідного сенсора, що викликає зміну його ємності. Після перетворення сигналу за допомогою перетворювачів «ємність–напруга» інформація надходить до мікроконтролера

STM32, де виконується визначення напрямку повітряного потоку. Використання такого датчика дозволяє здійснювати безперервний контроль повітрообміну та оцінювати ефективність роботи систем вентиляції приміщення.

### **3.2.9. Вентилятор**

Вентилятор використовується для регулювання температури та циркуляції повітря. Вмикається автоматично при перевищенні верхньої межі температури або при погіршенні якості повітря, забезпечуючи провітрювання приміщення.

### **3.2.10. Нагрівач**

Нагрівач призначений для підвищення температури повітря при її падінні нижче встановленої нижньої межі. Вмикається релейним модулем і працює до відновлення нормального температурного режиму з урахуванням гістерезису.

### **3.2.11. Зволожувач**

Зволожувач забезпечує підтримання нормального рівня відносної вологості повітря. Активується при зниженні вологості нижче встановленого порогового значення і вимикається після досягнення необхідного рівня.

### **3.2.12. Екран LCD**

Виводить поточну температуру, задану температуру, статус реле (вкл/викл).

### **3.2.13. Блок сигналізації**

П'єзоелектричний зумер, підключений безпосередньо до виводу GPIO мікроконтролера. Активується при виході будь-якого параметра мікроклімату за встановлені порогові межі та формує переривчастий звуковий сигнал для привернення уваги оператора.

### **3.2.14. Кнопки**

Дозволяють змінювати налаштування (наприклад, встановити бажану температуру).

### **3.2.15. Живлення**

Забезпечує електроживлення всієї системи. Керуюча частина — мікроконтролер та датчики — живиться від стабілізованого джерела напругою 5В.

Силова частина — реле та виконавчі пристрої — живиться від окремого кола, що забезпечує захист мікроконтролера від перешкод та перевантажень.

### 3.3. Підбір компонентів

#### 3.3.1. Підбір кнопок

Для реалізації проекту я обрав найпопулярнішу та найпростішу кнопку для проекту — тактова кнопка TS-1187, детальний опис якої наведено у таблиці 3.1., а зовнішній вигляд на рисунку 3.2.



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд кнопки TS-1187

Принцип роботи: Кнопки керування є найпростішими дискретними пристроями введення інформації схема якої на рис.3.3. В даній системі використовуються чотири тактові кнопки типу push-button з нормально розімкненими контактами. Кожна кнопка підключена між відповідним виводом GPIO мікроконтролера та загальною шиною GND. Тактова кнопка типу push-button являє собою механічний комутаційний елемент, що має два стани — розімкнений у спокійному положенні та замкнений при натисканні. Конструктивно вона складається з пластикового корпусу, металевих контактів та пружного елемента, який повертає кнопку у вихідний стан після відпускання. Час відновлення після натискання складає кілька мілісекунд, протягом яких виникає явище дребезгу контактів — багаторазового швидкого замикання та розмикання, яке може бути помилково сприйняте мікроконтролером як кілька послідовних натискань. Для усунення цього ефекту в програмному кодї реалізовано

антидребезгову затримку тривалістю 200 мс між двома послідовними опитуваннями кнопок.

Таблиця 3.1. Детальний опис кнопки TS-1187

Параметр	Значення / Опис
Тип	Тактова (моментальна) кнопка, нормально розімкнута (NO)
Робоча напруга	3.3–12 В (ідеально для STM32 Blue Pill, який працює від 3.3 В)
Струм навантаження	До 50 мА
Ресурс натискань	~50 000–100 000 циклів
Розміри	12x12x7.3 мм (стандартний квадратний корпус)
Контакти	4 ніжки (з'єднані попарно, фактично 2 контакти)

У мікроконтролері для кожного виводу активовано внутрішній підтягуючий резистор у режимі INPUT\_PULLUP, тому у спокійному стані на виводі присутній логічний рівень HIGH. При натисканні кнопки вивід GPIO з'єднується з GND і на ньому встановлюється логічний рівень LOW, що фіксується мікроконтролером як подія натискання. Для усунення дребезгу контактів у програмному кодї реалізовано часову затримку 200 мс між двома послідовними опитуваннями кнопок.

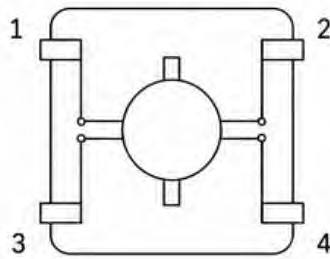


Рис.3.3. Схема кнопки

Переваги TS-1187: дешева, проста у пайці, надійна для нечастого натискання, стандартний розмір – підходить для макетних плат і РСВ.

### 3.3.2. Підбір датчика температури та вологості

У даному проєкті для вимірювання температури та відносної вологості повітря використовується датчик DHT22 зображений на рис.3.4. Він підключається до мікроконтролера STM32 через однодротовий цифровий інтерфейс і забезпечує достатню точність вимірювань для надійної роботи системи моніторингу мікроклімату. А в таблиці 3.2. наведено порівняння з іншими датчиками.



Рис.3.4. Датчик температури та вологості DHT22

Переваги: висока точність ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  та  $\pm 2\% \text{ RH}$ ), широкий діапазон вимірювання температури від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ , оновлення даних кожні 2 секунди, той самий однодротовий протокол підключення що і DHT11.

Недоліки: мінімальний інтервал між опитуваннями не менше 2 секунд.

Таблиця 3.2. Порівняння з іншими датчиками температури

Датчик	Інтерфейс	Точність	Діапазон	Водонепроникність	Ціна	Підключення до STM32
DS18B20	OneWire	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$	Так (у корпусі)	50 грн	Просте (1 дріт + підтяжка)
DHT22	Digital	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{C} \dots +80^{\circ}\text{C}$	Ні (потребує захисту)	~70 грн	1 дріт (UART/GPIO)
LM35	Аналоговий	$\pm 0.25^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$	Ні	~30 грн	Потрібен АЦП
NTC-термістор	Аналоговий	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	Залежить	Ні	~10 грн	Потрібен АЦП + калібрування
MAX31820	OneWire	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	$-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$	Так	~100 грн	Аналогічно DS18B20

Принцип роботи: DHT22 є емнісним датчиком вологості у поєднанні з терморезистором для вимірювання температури схема якого на рис.3.5. Чутливий елемент вологості являє собою конденсатор, діелектрик якого виготовлений з

полімерного матеріалу, що змінює свою діелектричну проникність залежно від кількості поглинутих молекул води. При зміні вологості навколишнього повітря змінюється ємність цього конденсатора, що фіксується вбудованою мікросхемою перетворення сигналу. Температура вимірюється терморезистором типу NTC, опір якого зменшується при підвищенні температури. Вбудований мікропроцесор датчика обробляє обидва сигнали, виконує їх компенсацію та оцифровку, після чого передає результати мікроконтролеру у вигляді 40-бітного пакету даних через однодротовий цифровий інтерфейс. Пакет містить 16 біт даних вологості, 16 біт даних температури та 8 контрольних біт для перевірки цілісності переданої інформації[9].

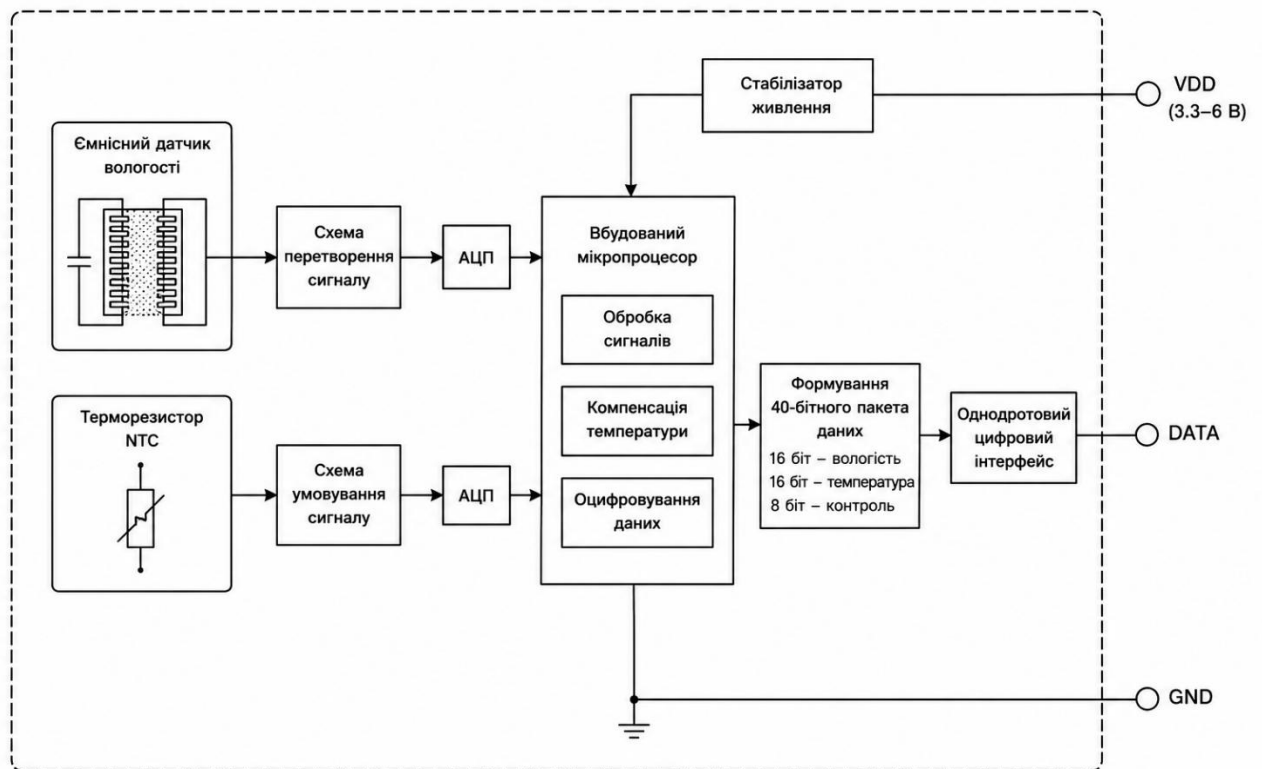


Рис.3.5.Схема датчика температури та вологості DHT22

Висновок: для даного проекту обрано датчик DHT22, оскільки він забезпечує значно кращу точність і ширший діапазон вимірювань, що є критично важливим для надійної роботи системи моніторингу мікроклімату.

### 3.3.3. Підбір датчика атмосферного тиску

У даному проєкті для вимірювання атмосферного тиску використовується датчик BMP180 зображений на рис.3.6. виробництва компанії Bosch. Він підключається до мікроконтролера STM32 через інтерфейс I2C і забезпечує точне вимірювання тиску в широкому діапазоні значень, характеристики якого наведені у таблиці 3.3.

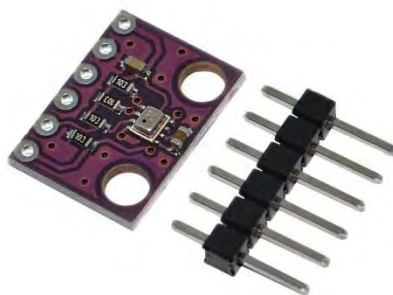


Рис.3.6. Датчик атмосферного тиску BMP180

Переваги: висока точність, низьке енергоспоживання, компактний розмір, підтримка I2C/SPI, додаткове вимірювання температури.

Недоліки: відсутність вимірювання вологості, чутливість до механічних пошкоджень, потребує напруги живлення не більше 3,6В[10].

Таблиця 3.3. Характеристики датчика атмосферного тиску BMP180

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання тиску	300 — 1100 гПа
Точність вимірювання тиску	$\pm 1$ гПа
Діапазон вимірювання температури	-40°C — +85°C
Точність вимірювання температури	$\pm 0,5$ °C
Інтерфейс підключення	I2C / SPI
Напруга живлення	1,71 — 3,6 В
Споживаний струм	2,7 мкА

Час відгуку	0,5 мс
Розміри корпусу	2,5 × 2,5 × 0,93 мм

Принцип роботи: Всередині датчика є мікроскопічна кремнієва мембрана, яка прогинається під дією атмосферного тиску. На цій мембрані розміщені п'єзорезистори — елементи, електричний опір яких змінюється при механічній деформації. Коли тиск зростає, мембрана прогинається сильніше, резистори змінюють свій опір, і це фіксується вимірювальною схемою у вигляді аналогового сигналу. Далі вбудований АЦП перетворює цей сигнал у цифрове значення.

Але є нюанс: сирі цифрові значення з АЦП самі по собі нічого не означають, бо кожен екземпляр датчика має свої технологічні відхилення. Тому в пам'яті BMR180 (EEPROM) зберігається набір із 11 калібрувальних коефіцієнтів, унікальних для кожного конкретного чипа. Мікроконтролер зчитує ці коефіцієнти при ініціалізації, а потім використовує їх у формулах компенсації для перетворення сирих даних у реальні значення тиску (в Па) і температури (в °C). Формули компенсації описані в даташиті і є досить громіздкими, але бібліотеки для STM32 та Arduino все це роблять автоматично.

Зв'язок із мікроконтролером відбувається по шині I<sup>2</sup>C з адресою 0x77. Послідовність роботи така: мікроконтролер надсилає команду на вимірювання, чекає певний час (залежить від вибраного режиму точності — від 4,5 до 25,5 мс), потім зчитує результат і обчислює скомпенсоване значення.

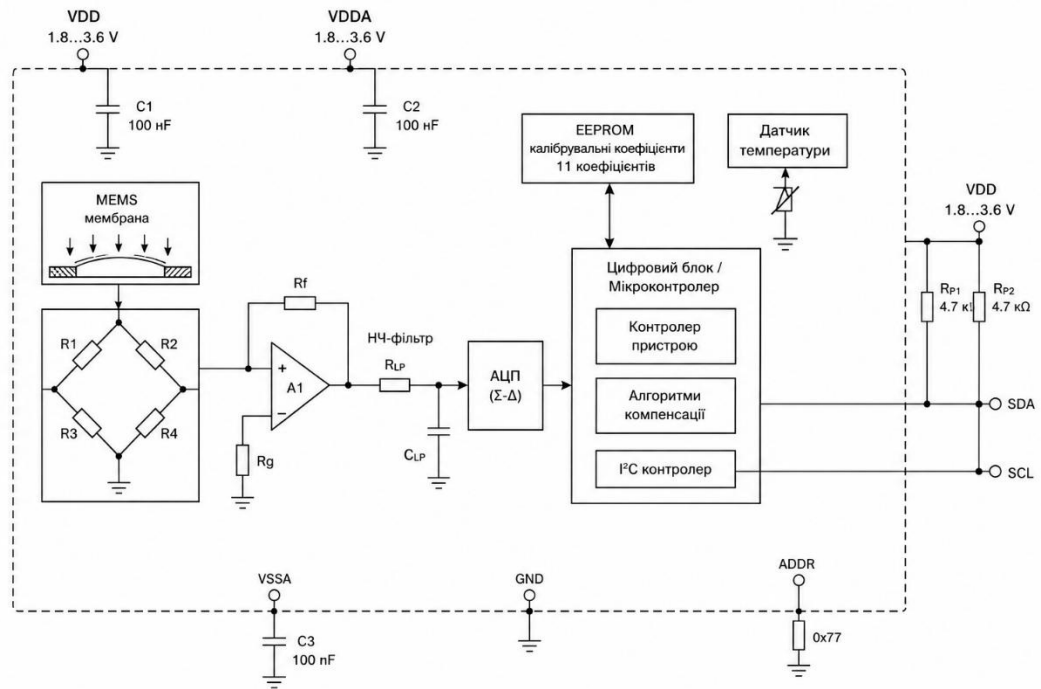


Рис.3.7. Схема датчика атмосферного тиску BMP180

Висновок: датчик BMP180 повністю відповідає вимогам даного проєкту, забезпечуючи високу точність вимірювання атмосферного тиску при низькому енергоспоживанні та простоті підключення через інтерфейс I2C.

### 3.3.4. Підбір датчика якості повітря

У даному проєкті для оцінки якості повітря використовується аналоговий датчик MQ-135 зображений на рис 3.8. Він підключається до мікроконтролера STM32 через канал АЦП і дозволяє визначати загальний рівень забруднення повітря шкідливими газами, такими як CO<sub>2</sub>, аміак, бензол та дим. Характеристики якого наведені у таблиці 3.4.



Рис.3.8. Датчик якості повітря MQ-135

Переваги: низька вартість, широкий спектр визначуваних газів, простота підключення, висока чутливість до забруднювачів.

Недоліки: потребує тривалого прогріву, не визначає конкретний газ, результат залежить від температури та вологості середовища, аналоговий вихід потребує калібрування.

Таблиця 3.4. Характеристики датчика якості повітря MQ-135

Характеристика	Значення
Визначувані гази	CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , бензол, дим, спирт
Напруга живлення	5 В
Споживаний струм	до 150 мА
Тип вихідного сигналу	аналоговий
Діапазон вимірювання	10 — 1000 ppm
Час прогріву	20 — 48 годин
Робоча температура	-20°C — +70°C
Чутливий елемент	діоксид олова (SnO <sub>2</sub> )

Принцип роботи: MQ-135 є напівпровідниковим резистивним датчиком, схема якого на рис.3.9., принцип дії якого ґрунтується на зміні електричного опору чутливого шару з діоксиду олова SnO<sub>2</sub> при контакті з різними газоподібними

забруднювачами. У чистому повітрі кисень адсорбується на поверхні  $\text{SnO}_2$  і формує потенційний бар'єр, що обмежує протікання струму через матеріал — опір датчика при цьому відносно високий. При появі у повітрі відновлювальних газів —  $\text{CO}_2$ , аміаку, бензолу, спирту чи диму — їх молекули реагують з адсорбованим киснем на поверхні  $\text{SnO}_2$ , зменшуючи потенційний бар'єр і знижуючи електричний опір чутливого шару. Це зниження опору призводить до зростання вихідної напруги на ділянці, утвореному чутливим елементом та зовнішнім навантажувальним резистором. Вбудований нагрівальний елемент підтримує температуру чутливого шару близько  $200\text{--}300^\circ\text{C}$ , що є необхідною умовою для активації реакцій адсорбції та десорбції. Аналоговий вихідний сигнал датчика надходить на вивід А0 мікроконтролера, де 12-бітний АЦП перетворює його у цифрове значення від 0 до 1023. При перевищенні встановленого порогового значення система розцінює якість повітря як незадовільну і активує відповідні керуючі дії[11].

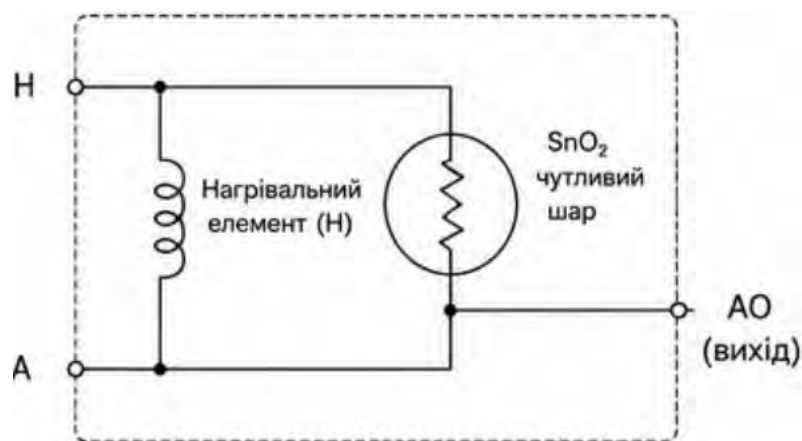


Рис.3.9. Схема датчика якості повітря MQ-135

Висновок: Датчик MQ-135 є доступним і достатньо ефективним рішенням для оцінки загальної якості повітря в рамках даного проєкту, незважаючи на необхідність калібрування та тривалий час прогріву.

### 3.3.5. Підбір тривісного магнітометра

У даному проєкті для визначення просторової орієнтації пристрою використовується тривісний магнітометр HMC5883L, зображений на рис. 3.10.

Датчик, характеристики якого наведені у таблиці 3.5., призначений для вимірювання складових магнітного поля Землі по трьох взаємно перпендикулярних осях X, Y та Z. Отримані дані використовуються для визначення орієнтації пристрою відносно сторін світу та можуть бути використані для калібрування або прив'язки системи до місцевої системи координат.



Рис.3.10. Цифровий тривісний магнітометр HMC5883L

Переваги: висока точність визначення напрямку  $\pm 1-2^\circ$ , цифровий I<sup>2</sup>C інтерфейс підключається до існуючої шини без додаткових пінів, низьке енергоспоживання 100 мкА, широкий діапазон робочих температур.

Недоліки: чутливий до зовнішніх металевих предметів та електромагнітних перешкод поблизу, потребує калібрування для компенсації магнітного схилення в конкретній місцевості, напруга живлення лише до 3,6 В тому потребує дільника напруги або LDO-регулятора при живленні від 5 В[12].

Принцип роботи: HMC5883L, схема якого зображена на рис.3.11., базується на магніторезистивному ефекті. Усередині датчика розташовані три незалежні магніторезистивні елементи, орієнтовані вздовж осей X, Y та Z. Під впливом зовнішнього магнітного поля змінюється електричний опір чутливих елементів, що призводить до зміни вихідного сигналу.

Вбудований аналого-цифровий перетворювач виконує оцифрування отриманих сигналів та передає результати вимірювання до мікроконтролера через інтерфейс I<sup>2</sup>C. На основі значень магнітного поля по осях X та Y може бути розрахований азимут пристрою відносно магнітної півночі.

Таблиця 3.5. Характеристики датчика напрямку вітру HMC5883

Характеристика	Значення
Тип	Тривісний магнітометр
Напруга живлення	2,16 — 3,6 В
Споживаний струм	100 мкА (режим вимірювання)
Діапазон вимірювання	±8 Гс
Роздільна здатність	2 мГс / LSB
Точність визначення курсу	±1° — ±2°
Інтерфейс підключення	I <sup>2</sup> C
I <sup>2</sup> C адреса	0x1E
Частота вимірювань	до 160 Гц
Робоча температура	−30°C — +85°C
Розміри корпусу	3,0 × 3,0 × 0,9 мм

Азимут визначається за формулою:

$$\alpha = \arctan(Y/X) \quad (3.1)$$

де  $\alpha$  – азимут, град;  $X$  – складова магнітного поля по осі X;  $Y$  – складова магнітного поля по осі Y.

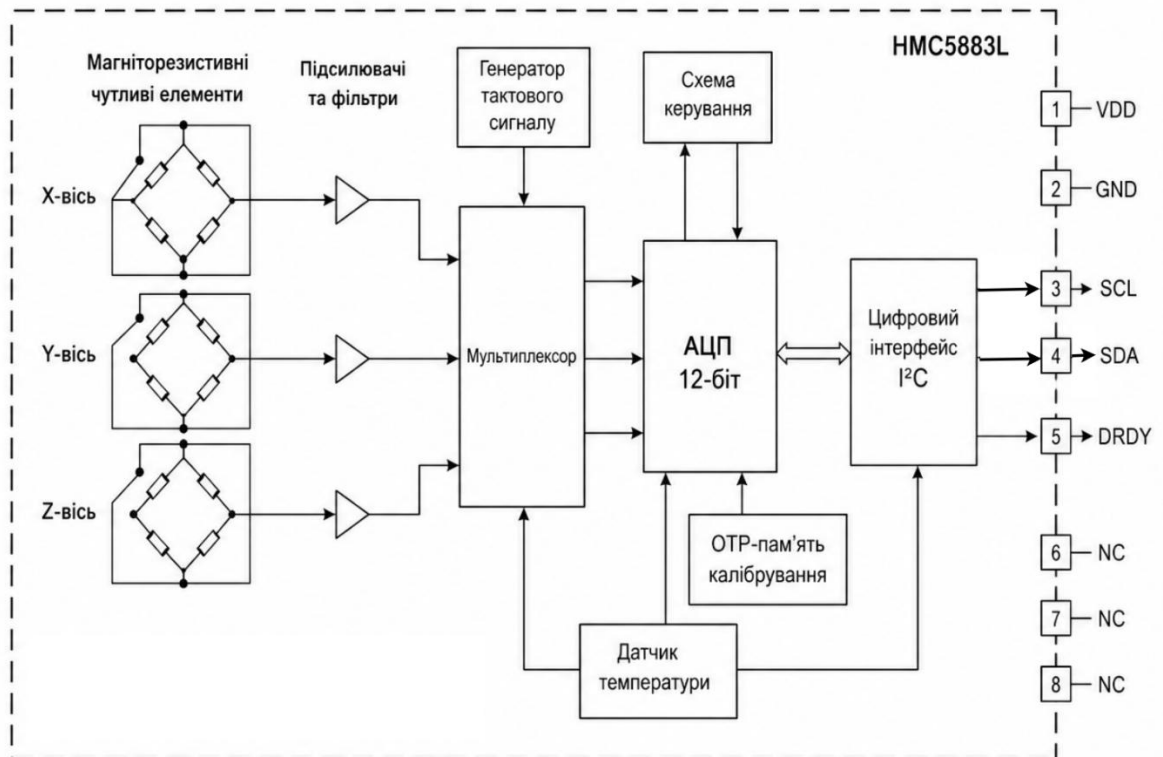


Рис.3.11. Схема цифрового тривісного магнітометра HMC5883L

Висновок: Датчик HMC5883L повністю відповідає вимогам даного проєкту щодо визначення просторової орієнтації пристрою. Завдяки високій точності вимірювання магнітного поля, низькому енергоспоживанню та простоті підключення через інтерфейс I<sup>2</sup>C він є ефективним рішенням для реалізації функцій електронного компаса та визначення орієнтації системи відносно сторін світу. Його використання підвищує функціональні можливості системи моніторингу мікроклімату та забезпечує можливість подальшого розширення функціоналу проєкту.

### 3.3.6. Підбір датчик диму MQ-2

У даному проєкті для виявлення диму та горючих газів у повітрі використовується аналоговий датчик MQ-2 зображений на рис.3.12. Він підключається до мікроконтролера STM32 через канал АЦП і забезпечує виявлення небезпечної концентрації диму, зрідженого газу, пропану та водню у повітрі приміщення. При перевищенні допустимого рівня система активує звукову

сигналізацію та вмикає вентилятор для провітрювання. Характеристики якого наведені у таблиці 3.6.



Рис.3.12. Датчик диму MQ-2

Переваги: висока чутливість до широкого спектру горючих газів і диму, наявність як аналогового так і цифрового виходу, низька вартість, простота підключення, широкий діапазон вимірювання концентрації газів.

Недоліки: потребує тривалого прогріву 20–48 годин перед початком точних вимірювань, не визначає конкретний тип газу, показання залежать від температури та вологості навколишнього середовища, відносно високе споживання струму через нагрівальний елемент, потребує калібрування для отримання точних абсолютних значень концентрації[13].

Принцип роботи: MQ-2 працює на основі зміни електричного опору напівпровідникового чутливого елемента з діоксиду олова  $\text{SnO}_2$  при контакті з горючими газами або димом, схема якого на рис.3.13. У чистому повітрі чутливий елемент має відносно високий опір. При появі в атмосфері горючих газів або часток диму молекули цих речовин адсорбуються на поверхні  $\text{SnO}_2$  і вступають у хімічну реакцію з киснем, що призводить до зниження опору елемента. Чим вища концентрація газу — тим нижчий опір і тим вищий вихідний аналоговий сигнал.

Таблиця 3.6. Характеристики датчика диму MQ-2

Характеристика	Значення
Тип	Напівпровідниковий резистивний
Визначувані речовини	Дим, LPG, пропан, водень, метан
Напруга живлення	5 В
Споживаний струм	до 150 мА
Тип вихідного сигналу	Аналоговий та цифровий (DO)
Діапазон вимірювання	300 — 10000 ppm
Час прогріву	20 — 48 годин
Робоча температура	-20°C — +70°C
Робоча вологість	до 95% RH
Чутливий елемент	Діоксид олова (SnO <sub>2</sub> )
Рекомендований пін	A5 (ADC)

Вбудований нагрівальний елемент підтримує температуру чутливого шару на рівні 200–300°C, що є необхідною умовою для протікання реакції адсорбції. Саме тому датчик потребує тривалого часу прогріву перед початком роботи. Аналоговий вихідний сигнал зчитується через канал АЦП мікроконтролера і перетворюється у відносне значення від 0 до 1023. При перевищенні встановленого порогу система формує сигнал тривоги.

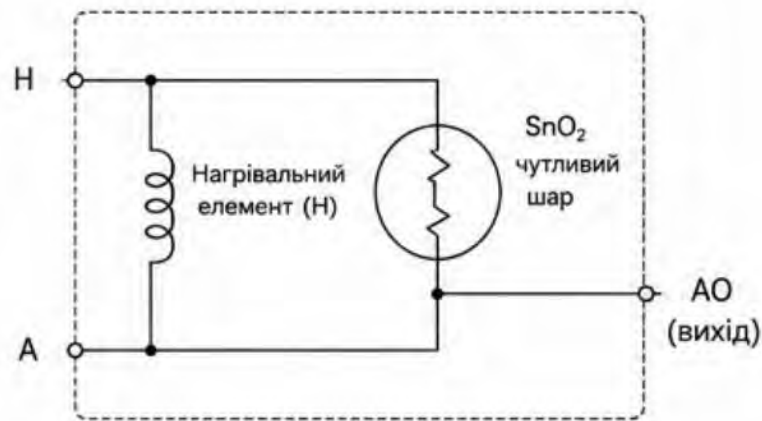


Рис.3.13. Схема датчика диму MQ-2

Висновок: Датчик MQ-2 є доступним та ефективним рішенням для виявлення диму і горючих газів у рамках даного проєкту. Попри необхідність калібрування та тривалого прогріву, він забезпечує достатню чутливість для своєчасного виявлення небезпечних ситуацій та ініціювання відповідних керуючих дій системи.

### 3.3.7. Підбір платформи

Я обрав для реалізації проєкту я обрав плату STM32 Nucleo-C031C6, технічні характеристики якої наведені у таблиці 3.7.

Переваги: Основними перевагами мікроконтролера є висока тактова частота ядра ARM Cortex-M0+ до 48 МГц, що забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних з усіх датчиків в режимі реального часу. Вбудований 12-бітний АЦП дозволяє безпосередньо зчитувати аналогові сигнали без зовнішніх перетворювачів, а підтримка інтерфейсів I<sup>2</sup>C, SPI та UART забезпечує надійний зв'язок з усією периферією системи. Вбудований програматор ST-Link спрощує завантаження та налагодження програми через USB, а широка екосистема бібліотек скорочує час розробки.

Недоліки: складність для новачків, обмежена документація.

Таблиця 3.7. - Технічні характеристики плати STM32 Nucleo-C031C6

Параметр	Значення
Ядро	ARM Cortex-M0+
Частота	До 48 МГц
Flash-пам'ять	32 КБ
ОЗП (SRAM)	6 КБ
Напруга живлення	2.0 – 3.6 В
GPIO	До 45
Таймери	3 × 16-біт
АЦП	1 × 12-біт (до 19 каналів)
Інтерфейси	USART, I2C, SPI
Температурний діапазон	-40...85°C
Упаковка	LQFP-48

Щоб обґрунтувати вибір мікроконтролера для реалізації програмованого регулятора температури води в акваріумі, доцільно провести порівняння популярних платформ, яке наведено у таблиці 3.8. Це дозволяє наочно оцінити переваги кожної платформи та зробити обґрунтований вибір для поставленого завдання[14].

Таблиця 3.8. Порівняння з Arduino Nano

Параметр	STM32	Arduino Nano
Ядро	ARM Cortex-M0+(48 МГц)	ATmega328P (16 МГц)
Ціна	\$7-15	\$10-20
GPIO	45	22

### 3.3.8. Підбір нагрівача

У даному проєкті для підігріву повітря використовується керамічний РТС-нагрівач зображений на рис.3.14. Він підключається до силового кола через релейний модуль, яким керує мікроконтролер STM32. Завдяки своїй конструкції РТС-нагрівач є безпечним і надійним рішенням для підтримання заданої температури у приміщенні. Характеристики якого наведені у таблиці 3.9.



Рис.3.14. РТС-нагрівач

Переваги: вбудований захист від перегріву, рівномірний розподіл тепла, проста схема керування через реле, висока надійність та довговічність, безпечність у використанні.

Недоліки: відносно повільний вихід на робочу температуру, обмежена потужність для великих приміщень, вища вартість порівняно зі звичайними резистивними нагрівачами.

Таблиця 3.9. Технічні характеристики РТС-нагрівача

Характеристика	Значення
Тип нагрівача	Керамічний РТС
Напруга живлення	5 — 12 В
Потужність	10 — 30 Вт
Робоча температура	до +200°C
Температура самообмеження	120 — 160°C
Тип керування	увімкнення/вимкнення через реле
Матеріал нагрівального елемента	Титанат барію (BaTiO <sub>3</sub> )
Час виходу на робочий режим	30 — 60 секунд

Принцип роботи РТС-нагрівача: він працює на основі ефекту позитивного температурного коефіцієнта опору. Чутливим елементом є керамічна пластина з титанату барію (BaTiO<sub>3</sub>), властивість якої полягає в тому, що її електричний опір різко зростає при досягненні певної температури, яка називається температурою Кюрі.

При подачі живлення через замкнуте реле струм проходить через керамічний елемент, який має низький початковий опір і починає нагріватися. У міру нагрівання опір елемента поступово зростає, що призводить до зменшення струму і відповідно потужності нагрівання. При досягненні температури самообмеження опір різко збільшується настільки, що нагрівач фактично стабілізує свою температуру на безпечному рівні без будь-якого зовнішнього керування. Таким чином нагрівач самостійно підтримує стабільну температуру і не може перегрітися навіть при тривалій роботі.

Вимикання нагрівача відбувається шляхом розмикання реле за командою мікроконтролера, коли температура у приміщенні досягає заданого порогового значення.

Висновок: РТС-нагрівач є оптимальним вибором для даного проєкту завдяки вбудованому захисту від перегріву та простоті керування через релейний модуль, що повністю відповідає вимогам розробленої системи.

Розрахунок нагрівання:

Для оцінки ефективності роботи системи моніторингу та керування мікрокліматом проведемо розрахунок теплового режиму приміщення. Об'єм приміщення визначається за формулою:

$$V = L \cdot B \cdot H \quad (3.2)$$

де  $L$  – довжина приміщення, м;  $B$  – ширина приміщення, м;  $H$  – висота приміщення, м.

Підставляємо значення:

$$V = 2 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ м}^3$$

Маса повітря визначається за формулою:

$$m = \rho \cdot V \quad (3.3)$$

де  $m$  – маса повітря, кг;  $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

При густині повітря  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>

отримаємо:

$$m = 1,2 \cdot 4,5 = 5,4 \text{ кг}$$

Різниця температур визначається за формулою:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (3.4)$$

де  $T_1$  – початкова температура, °С;  $T_2$  – необхідна температура, °С.

Підставляємо значення:

$$\Delta T = 22 - 16 = 6^\circ\text{C}$$

Кількість теплоти для нагрівання повітря:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3.5)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, Дж;  $m$  – маса повітря, кг;  $c$  – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°С);  $\Delta T$  – різниця температур, °С.

Підставляємо значення:

$$Q = 5,4 \cdot 1005 \cdot 6 = 32562 \text{ Дж}$$

Ефективна потужність нагрівача:

$$P_{\text{еф}} = P \cdot \eta \quad (3.6)$$

де  $P$  – номінальна потужність нагрівача, Вт;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії.

Підставляємо значення:

$$P_{\text{эф}} = 20 \cdot 0,7 = 14 \text{ Вт}$$

Час нагрівання визначається за формулою:

$$t = \frac{Q}{P_{\text{эф}}} \quad (3.7)$$

де  $t$  – час нагрівання, с.

Підставляємо значення:

$$t = \frac{32562}{14} = 2326 \text{ с}$$

або

$$t = \frac{2326}{60} = 38,8 \text{ хв}$$

Отже, нагрівач потужністю 20 Вт забезпечує нагрівання повітря об'ємом 4,5 м<sup>3</sup> від +16 °С до +22 °С приблизно за 39 хвилин.

### 3.3.9. Підбір вентилятора

У даному проєкті для циркуляції та охолодження повітря використовується DC-вентилятор, який зображений на рис.3.15. Характеристики якого наведені у таблиці 3.10. Він підключається до силового кола через релейний модуль, яким керує мікроконтролер STM32. Вентилятор вмикається автоматично при перевищенні верхньої межі температури або при погіршенні якості повітря.



Рис.3.15. DC-вентилятор

Переваги: проста схема керування через реле, низьке енергоспоживання, тривалий термін служби, доступна вартість, широкий вибір типорозмірів.

Недоліки: керування лише в режимі увімкнено/вимкнено без регулювання швидкості, створює шум при роботі, потребує окремого живлення від силового кола.

Таблиця 3.10. Технічні характеристики DC-вентилятора

Характеристика	Значення
Тип	DC-вентилятор
Напруга живлення	5 — 12 В
Споживаний струм	100 — 300 мА
Швидкість обертання	1500 — 3000 об/хв
Рівень шуму	20 — 35 дБ
Тип підшипника	кульковий
Термін служби	до 50 000 годин
Тип керування	увімкнення/вимкнення через реле

Принцип роботи: При замиканні реле за командою мікроконтролера на двигун вентилятора подається живлення. Електричний струм проходить через обмотки електродвигуна, створюючи магнітне поле, яке взаємодіє з постійними магнітами ротора і призводить до його обертання. Обертання ротора передається на лопаті вентилятора, які створюють потік повітря. При розмиканні реле живлення відключається і вентилятор зупиняється.

Висновок: DC-вентилятор є оптимальним вибором для даного проєкту завдяки простоті керування через релейний модуль, низькому енергоспоживанню та достатній продуктивності для забезпечення циркуляції повітря у приміщенні.

Розрахунок охолодження: Різниця температур між приміщенням та зовнішнім середовищем:

$$\Delta T = 28 - 22 = 6^{\circ}C$$

Масова витрата повітря визначається за формулою:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q_{\text{вент}} \quad (3.8)$$

де  $\dot{m}$  – масова витрата повітря, кг/с;  $Q_{\text{вент}}$  – продуктивність вентилятора, м<sup>3</sup>/с.

Підставляємо значення:

$$\dot{m} = 1,2 \cdot 0,02 = 0,024 \text{ кг/с}$$

Тепловий потік, що відводиться вентилятором:

$$\Phi = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad (3.9)$$

де:  $\Phi$  – тепловий потік, Вт.

Підставляємо значення:

$$\Phi = 0,024 \cdot 1005 \cdot 6 = 144,7 \text{ Вт}$$

Кількість теплоти, яку необхідно відвести для охолодження повітря на 2 °С:

$$Q_{\text{ох}} = m \cdot c \cdot \Delta T_{\text{ох}} \quad (3.10)$$

де  $\Delta T_{\text{ох}}$  – величина охолодження повітря, °С.

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{ох}} = 5,4 \cdot 1005 \cdot 2 = 10854 \text{ Дж}$$

Час охолодження:

$$t_{\text{ох}} = \frac{Q_{\text{ох}}}{\Phi} \quad (3.11)$$

Підставляємо значення:

$$t_{\text{ох}} = \frac{10854}{144,7} = 75 \text{ с}$$

або

$$t_{\text{ох}} = 1,25 \text{ хв}$$

Отже, вентилятор забезпечує охолодження повітря в приміщенні від +28 °С до +26 °С приблизно за 1,25 хвилини за умови надходження свіжого зовнішнього повітря.

### 3.3.10. Підбір зволожувача

У даному проєкті для підтримання необхідного рівня вологості повітря використовується зображений на рис.3.9. ультразвуковий зволожувач, характеристики якого наведені у таблиці 3.11. Він підключається до силового кола через релейний модуль, яким керує мікроконтролер STM32. Зволожувач вмикається автоматично при падінні відносної вологості нижче встановленого порогового значення.



Рис.3.16. Ультразвуковий зволожувач

Переваги: низьке енергоспоживання порівняно з паровими зволожувачами, не нагріває воду тому є безпечним у використанні, швидкий вихід на робочий режим, проста схема керування через реле, рівномірне розпилення дрібних частинок води.

Недоліки: потребує використання очищеної або дистильованої води, при використанні звичайної води може залишати білий наліт, потребує регулярного очищення ультразвукового випромінювача.

Таблиця 3.11. Технічні характеристики ультразвукового зволожувача

Характеристика	Значення
Тип	Ультразвуковий
Напруга живлення	5 — 12 В
Споживана потужність	15 — 25 Вт
Продуктивність	300 — 500 мл/год
Розмір частинок туману	1 — 5 мкм
Робоча температура	+5°C — +40°C
Тип керування	увімкнення/вимкнення через реле
Рівень шуму	до 35 дБ

Принцип роботи: при замиканні реле за командою мікроконтролера на ультразвуковий випромінювач подається живлення. П'єзоелектричний елемент випромінювача починає коливатися з ультразвуковою частотою близько 1,7 МГц, створюючи на поверхні води мікроскопічні хвилі. Під дією цих коливань вода розбивається на дрібні краплі діаметром 1–5 мкм, які утворюють холодний туман. Вентилятор, вбудований у зволожувач, розповсюджує цей туман у навколишнє повітря, підвищуючи його вологість. При досягненні заданого рівня вологості мікроконтролер розмикає реле і зволожувач вимикається.

Висновок: ультразвуковий зволожувач є оптимальним вибором для даного проєкту завдяки безпечності використання, низькому енергоспоживанню та простоті керування через релейний модуль, що повністю відповідає вимогам розробленої системи.

Розрахунок роботи зволожувача повітря: Визначимо кількість води, необхідну для підвищення відносної вологості повітря в приміщенні на 10 %.

Об'єм приміщення становить:

$$V = 4,5 \text{ м}^3$$

Початкова відносна вологість:

$$\varphi_1 = 40\%$$

Необхідна відносна вологість:

$$\varphi_2 = 50\%$$

Збільшення вологості:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 10\%$$

При температурі повітря 22 °С максимальний вміст водяної пари в повітрі становить приблизно:

$$d_{max} = 19,4 \text{ г/м}^3$$

Необхідна маса водяної пари для підвищення вологості визначається за формулою:

$$m_B = V \cdot d_{max} \cdot \frac{\Delta\varphi}{100} \quad (3.12)$$

де  $m_B$  – маса води, г;  $V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;  $d_{max}$  – максимальний вміст водяної пари при заданій температурі,  $\text{г/м}^3$ ;  $\Delta\varphi$  – зміна відносної вологості, %.

Підставляємо значення:

$$m_{\text{в}} = 4,5 \cdot 19,4 \cdot \frac{10}{100} = 8,73 \text{ г}$$

Оскільки густина води становить приблизно  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$  то:

$$1 \text{ г} \approx 1 \text{ мл}$$

Тому необхідний об'єм води:

$$V_{\text{в}} = 8,73 \text{ мл}$$

Отже, для підвищення відносної вологості повітря в приміщенні об'ємом  $4,5 \text{ м}^3$  на  $10 \%$  необхідно випарувати приблизно:

$$V_{\text{в}} \approx 9 \text{ мл води.}$$

**Висновок:** для збільшення відносної вологості повітря з  $40 \%$  до  $50 \%$  у приміщенні об'ємом  $4,5 \text{ м}^3$  необхідно випарувати близько  $9 \text{ мл}$  води.

### 3.3.11. Вибір екрану користувача

Для виведення інформації про температуру води було обрано дисплей LCD 1602. Цей екран є простим у використанні, достатньо інформативним для відображення основних параметрів та широко підтримується.

Щоб обґрунтувати вибір саме цього дисплея, доцільно розглянути порівняння LCD 1602 з іншими популярними типами дисплеїв, що можуть бути використані в подібних пристроях. У таблиці 3.12. наведено основні характеристики та відмінності між ними.

Характеристики:  $128 \times 64$  пікселів, монохромний; режим передачі даних  $4$  біт або  $8$  біт; дуже низьке енергоспоживання.

Таблиця 3.12. Порівняльна таблиця з іншими дисплеями

Тип дисплея	Інтерфейс	Енергія	Ціна	Підходять для...
LCD 1602	Паралельний	~1 мА	50 грн	Базовий моніторинг.
OLED 0.96"	I2C/SPI	~0.1 мА	100 грн	Графіки, компактність.
TFT 1.44"	SPI	~20 мА	150 грн	Кольорові інтерфейси.
Nextion TFT	UART	~50 мА	300 грн	Сенсорне керування.

Висновок: LCD1602 найкращий вибір для більшої інформативності. На дисплеї постійно оновлюється поточна температура, встановлене значення[15].

### 3.3.12. Підбір сигналізації

У даному проєкті для звукового сповіщення оператора про вихід параметрів мікроклімату за допустимі межі використовується зображений на рис.3.17.п'єзоелектричний зумер (buzzer), характеристики якого наведені у таблиці 3.12. Він підключається безпосередньо до виводу GPIO мікроконтролера STM32 і активується програмно при спрацюванні будь-якої з умов тривоги.



Рис.3.17. П'єзоелектричний зумер

Переваги: дуже проста схема підключення без додаткових компонентів, низьке енергоспоживання, малі габарити, достатній рівень гучності для привернення уваги оператора, низька вартість.

Недоліки: фіксована частота звуку без можливості її зміни у активного зумера, невисока гучність для великих приміщень, потребує транзистора при підключенні до деяких виводів мікроконтролера для захисту GPIO[16].

Таблиця 3.12. Технічні характеристики п'єзоелектричного зумера

Характеристика	Значення
Тип	Активний п'єзоелектричний зумер
Напруга живлення	3,3 — 5 В
Споживаний струм	до 30 мА
Рівень звукового тиску	85 — 95 дБ
Резонансна частота	2300 ± 300 Гц
Робоча температура	-20°C — +70°C
Тип підключення	безпосередньо до GPIO
Розміри	12 × 9,5 мм

Принцип роботи: при виході будь-якого параметра мікроклімату за встановлені межі мікроконтролер подає сигнал високого рівня на вивід GPIO до якого підключено зумер. Напруга живлення надходить на п'єзоелектричний елемент зумера, який починає механічно деформуватися з резонансною частотою, створюючи звуковий сигнал. Мікроконтролер формує переривчастий сигнал тривоги шляхом почергового вмикання та вимикання зумера з певним інтервалом. Після усунення причини тривоги — повернення параметра до норми — мікроконтролер вимикає зумер.

Висновок: п'єзоелектричний зумер є простим, надійним і доступним рішенням для реалізації звукової сигналізації в даному проєкті, що повністю відповідає вимогам системи моніторингу мікроклімату.

### 3.3.12. Підбір датчика напрямку повітря

Для визначення напрямку руху повітря у даному проєкті використовується ємнісний датчик власної розробки, який складається з чотирьох чутливих елементів, схема одного з них зображена на рис.3.18., розташованих по напрямках північ, південь, схід та захід. Кожен чутливий елемент являє собою плоский конденсатор із рухомою мембраною, яка змінює своє положення під впливом повітряного потоку.

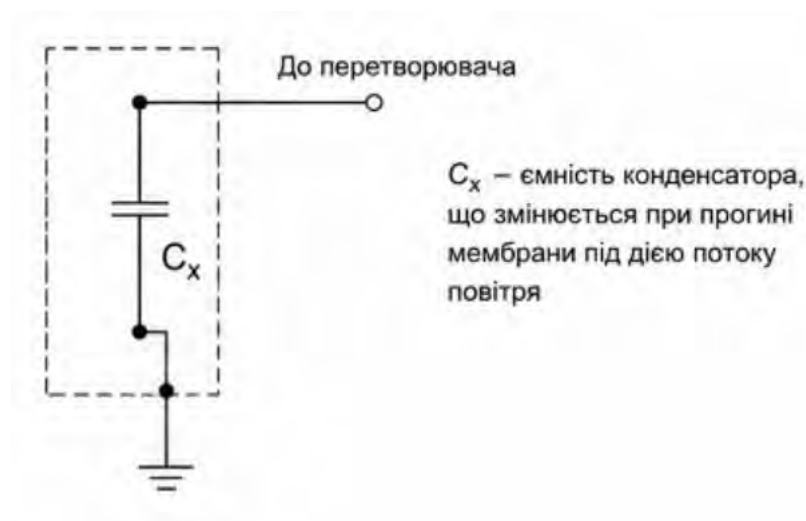


Рис.3.18. Схема одного сенсора

Принцип роботи: датчик напрямку повітряного потоку ґрунтується на використанні чотирьох ємнісних чутливих елементів, розташованих по напрямках північ, південь, схід та захід. Кожен чутливий елемент, поперечний переріз наведений на рис.3.19., являє собою плоский конденсатор, одна з обкладинок якого виконана у вигляді тонкої пружної мембрани.

У стані спокою відстань між обкладинками конденсатора є сталою, тому ємність кожного сенсора має початкове значення. Під час виникнення повітряного потоку на мембрану діє аеродинамічний тиск, у результаті чого вона прогинається в напрямку руху повітря. Це призводить до зміни відстані між обкладинками конденсатора та відповідної зміни його ємності.

Мікроконтролер STM32 виконує безперервне вимірювання ємності всіх чотирьох сенсорів. Сенсор, на який припадає найбільший тиск повітряного потоку, демонструє найбільшу зміну ємності. Порівнюючи показники всіх чотирьох сенсорів, мікроконтролер визначає напрямок руху повітря відносно корпусу пристрою.

Для підвищення точності визначення напрямку використовується тривісний магнітометр HMC5883L та рівень по горизонту. Датчик вимірює орієнтацію пристрою відносно магнітного поля Землі та дозволяє прив'язати отриманий напрямок повітряного потоку до сторін світу. Завдяки цьому система може визначати не тільки локальний напрямок потоку відносно датчика, але й його абсолютний напрямок відносно півночі, півдня, сходу та заходу.

Отримані дані передаються до мікроконтролера, де виконується їх обробка, фільтрація та розрахунок кута напрямку повітряного потоку. Результати можуть використовуватися для моніторингу мікроклімату, аналізу ефективності вентиляції та автоматичного керування виконавчими пристроями системи.

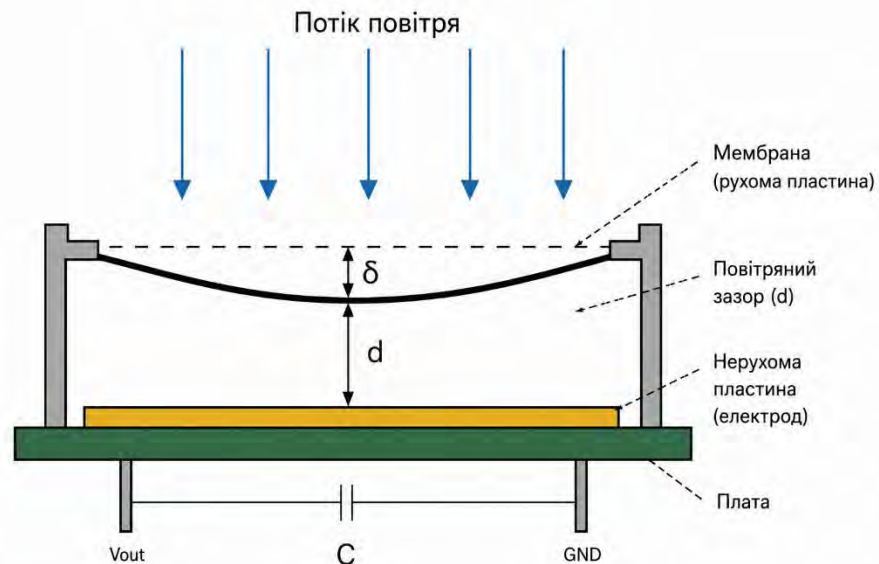


Рис.3.18. Поперечний переріз одного сенсора

Принцип роботи перетворювача ємність–напруга: оскільки мікроконтролер STM32 не має можливості безпосередньо вимірювати ємність сенсорів, у системі використовується перетворювач ємність–напруга. Його призначення полягає у перетворенні зміни ємності чутливого елемента в аналоговий сигнал напруги, який надалі може бути виміряний вбудованим аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера.

Принцип роботи перетворювача базується на залежності частоти або напруги вихідного сигналу від значення ємності датчика. При зміні ємності сенсора внаслідок прогину мембрани змінюються параметри RC-ланцюга перетворювача. Це призводить до зміни вихідної напруги, величина якої пропорційна зміні ємності.

Отримана напруга надходить на аналоговий вхід мікроконтролера STM32, де виконується її оцифрування за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Після цього програмне забезпечення обчислює величину зміни ємності та визначає напрямок повітряного потоку на основі показань усіх чотирьох сенсорів.

Використання перетворювача ємність–напруга дозволяє спростити схему підключення датчиків, підвищити точність вимірювань та забезпечити сумісність ємнісних сенсорів з мікроконтролером STM32.

Розрахунок датчика напрямку повітря: розрахуємо початкову ємність конденсатора, де початкова ємність плоского конденсатора визначається за формулою:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad (3.13)$$

де  $C_0$  – початкова ємність конденсатора, Ф;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – електрична стала;  $\epsilon_r = 1$  – відносна діелектрична проникність повітря;  $S$  – площа пластин конденсатора, м<sup>2</sup>;  $d$  – початковий зазор між пластинами, м.

Приймаємо:

$$S = 10 \times 10 \text{ мм} = 0,0001 \text{ м}^2$$

$$d = 0,5 \text{ мм} = 0,0005 \text{ м}$$

Тоді:

$$C_0 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 0,0001}{0,0005} = 1,77 \text{ пФ}$$

Отже, початкова ємність датчика становить:

$$C_0 = 1,77 \text{ пФ}$$

Розрахуємо аеродинамічний тиск на мембрану, де аеродинамічний тиск повітряного потоку визначається за рівнянням Бернуллі:

$$P = \frac{\rho V^2}{2} \quad (3.14)$$

де  $P$  – аеродинамічний тиск, Па;  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> – густина повітря;  $V$  – швидкість повітряного потоку, м/с.

Для швидкості потоку:

$$V = 5 \text{ м/с}$$

отримаємо:

$$P = \frac{1,2 \cdot 5^2}{2} = 15 \text{ Па}$$

Отже, аеродинамічний тиск на мембрану становить:

$$P = 15 \text{ Па}$$

Розрахунок сили, що діє на мембрану. Тобто сила тиску повітря на мембрану визначається за формулою:

$$F = P \cdot S \tag{3.15}$$

де  $F$ – сила, Н;  $P$ – аеродинамічний тиск, Па;  $S$ – площа мембрани, м<sup>2</sup>.

Підставляємо значення:

$$F = 15 \cdot 0,0001 = 0,0015 \text{ Н}$$

Таким чином сила, що діє на мембрану, становить:

$$F = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

Розрахуємо прогин мембрани, що визначається за законом Гука:

$$\delta = \frac{F}{k} \tag{3.16}$$

де  $\delta$ – прогин мембрани, м;  $F$ – прикладена сила, Н;  $k$ – еквівалентна жорсткість мембрани, Н/м.

Для тонкої бронзової мембрани приймаємо:

$$k = 30 \text{ Н/м}$$

Тоді:

$$\delta = \frac{0,0015}{30} = 0,00005 \text{ м} = 0,05 \text{ мм}$$

Отже, максимальний прогин мембрани становить:

$$\delta = 0,05 \text{ мм}$$

Розрахуємо зміни ємності при прогині мембрани

Новий зазор між пластинами:

$$d_1 = d - \delta \tag{3.17}$$

отримаємо:

$$d_1 = 0,0005 - 0,00005 = 0,00045 \text{ м}$$

Після деформації мембрани ємність становитиме:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d_1} \tag{3.18}$$

отримаємо:

$$C_1 = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,0001}{0,00045} = 1,97 \text{ пФ}$$

Зміна ємності:

$$\Delta C = C_1 - C_0 \tag{3.19}$$

отримаємо:

$$\Delta C = 1,97 - 1,77 = 0,20 \text{ пФ}$$

Таким чином зміна ємності під дією повітряного потоку становить:

$$\Delta C = 0,20 \text{ пФ}$$

Розрахуємо напрямок повітряного потоку:

Для визначення напрямку використовуються чотири ємнісні сенсори:

$$C_N, C_S, C_E, C_W$$

Різниця сигналів по осях визначається:

$$X = C_E - C_W \quad (\text{Формула 3.20})$$

$$Y = C_N - C_S \quad (\text{Формула 3.21})$$

Кут напрямку повітряного потоку визначається за формулою:

$$\alpha = \arctan \left( \frac{Y}{X} \right) \quad (\text{Формула 3.22})$$

де  $\alpha$  – кут напрямку повітряного потоку відносно осі X.

Наприклад, якщо:

$$C_N = 1,97 \text{ пФ}$$

$$C_S = 1,77 \text{ пФ}$$

$$C_E = 1,85 \text{ пФ}$$

$$C_W = 1,77 \text{ пФ}$$

тоді

$$X = 0,08 \text{ пФ}$$

$$Y = 0,20 \text{ пФ}$$

$$\alpha = \arctan \left( \frac{0,20}{0,08} \right) = 68,2^\circ$$

Отриманий кут відповідає напрямку повітряного потоку між північним та східним напрямками та у таблиці 3.14 є об'єднанні розрахунки.

Таблиця 3.14. Зведена таблиця результатів розрахунків

Параметр	Позначення	Значення
Площа мембрани	$S$	0,0001 м <sup>2</sup>
Початковий зазор	$d$	0,5 мм
Початкова ємність	$C_0$	1,77 пФ
Швидкість повітря	$V$	5 м/с
Аеродинамічний тиск	$P$	15 Па
Сила на мембрану	$F$	0,0015 Н
Прогин мембрани	$\delta$	0,05 мм
Новий зазор	$d_1$	0,45 мм
Ємність після прогину	$C_1$	1,97 пФ
Зміна ємності	$\Delta C$	0,20 пФ
Розрахований кут потоку	$\alpha$	68,2°

Висновок: У результаті проведених розрахунків встановлено, що при швидкості повітряного потоку 5 м/с на мембрану діє аеродинамічний тиск 15 Па, який викликає її прогин на 0,05 мм. Це призводить до зміни ємності сенсора на 0,20 пФ. Аналіз змін ємностей чотирьох датчиків дозволяє визначати напрямок повітряного потоку з розрахованим кутом  $68,2^\circ$ , що підтверджує працездатність запропонованого ємнісного методу вимірювання напрямку повітря.

### 3.4. Висновок до розділу

У третьому розділі розроблено структурну схему автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату. Визначено склад та взаємозв'язки між основними функціональними блоками: блоком датчиків, центральним мікроконтролером STM32 Nucleo-C031C6, блоком відображення інформації, блоком керування виконавчими пристроями та блоком живлення.

Проведено порівняльний аналіз і обґрунтовано вибір усіх ключових компонентів системи. Для вимірювання температури та відносної вологості обрано цифровий датчик DHT22 завдяки його точності  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  і  $\pm 2\% \text{ RH}$  та простоті підключення. Вимірювання атмосферного тиску реалізовано на основі датчика BMP280, який забезпечує діапазон 300–1100 гПа з похибкою не більше  $\pm 1$  гПа. Для контролю якості повітря обрано аналоговий датчик MQ-135, для виявлення диму та горючих газів — датчик MQ-2. Визначення напрямку вітру здійснюється за допомогою тривісного магнітометра HMC5883L. Для відображення інформації обрано LCD 1602 як оптимальний варіант за критерієм інформативності та вартості. Звукова сигналізація реалізована на базі активного п'єзоелектричного зумера з рівнем звукового тиску 85–95 дБ. Керування виконавчими пристроями — вентилятором, нагрівачем та ультразвуковим зволожувачем — здійснюється через релейний модуль з оптоізоляцією, що забезпечує гальванічну розв'язку між керуючим та силовим колами. Усі обрані компоненти повністю відповідають технічним вимогам системи та є доступними для практичної реалізації.

## **4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ**

### **4.1. Опис електричної принципової схеми для створення автоматизованої системи моніторингу та регулювання параметрами мікроклімату**

У сучасних умовах забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату є важливою складовою для створення комфортного та безпечного середовища в житлових, промислових і технологічних приміщеннях. Контроль температури, вологості, атмосферного тиску та концентрації шкідливих газів дозволяє підвищити енергоефективність, покращити умови праці та забезпечити стабільну роботу обладнання. Особливо актуальним є використання автоматизованих систем моніторингу та керування мікрокліматом, які здатні в режимі реального часу аналізувати параметри навколишнього середовища та автоматично реагувати на їх зміну.

Розроблена система зображена на рис. 4.1. дозволяє автоматизувати процес контролю мікроклімату, підвищити точність вимірювань і забезпечити надійність роботи обладнання. Використання сучасної елементної бази та мікроконтролера STM32 забезпечує високу продуктивність, енергоефективність та можливість подальшого розширення функціоналу системи[17].

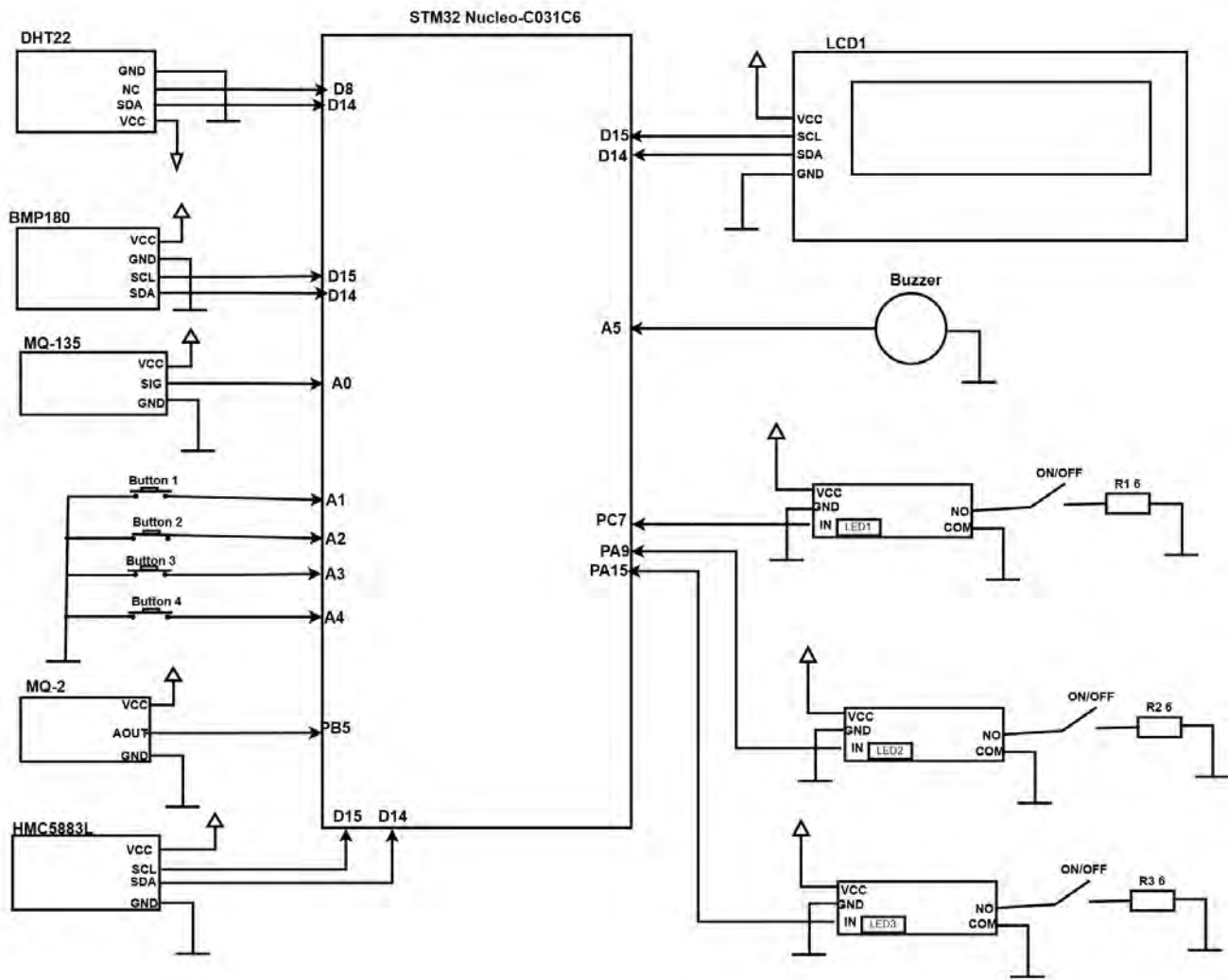


Рис.4.1. Схема електрична принципова системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату

Де DHT22 - датчика температури та вологості; BMP180 - датчика атмосферного тиску; MQ-135 - датчик якості повітря; MQ-2 – датчик диму; HMC5883L - датчика напрямку вітру; R1 – нагрівач; R2- охолоджувач; R3 – зволожувач.

Електрична принципова схема автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату побудована на базі мікроконтролера STM32 Nucleo-C031C6, який виконує функції центрального керуючого пристрою. До мікроконтролера підключені датчики вимірювання параметрів навколишнього середовища, пристрої індикації, органи керування та виконавчі елементи.

Основним елементом системи є плата STM32 Nucleo-C031C6. Вона забезпечує обробку сигналів від датчиків, виконання програмного алгоритму та керування виконавчими пристроями. Завдяки високій продуктивності мікроконтролера забезпечується стабільна робота всієї системи в режимі реального часу.

Для вимірювання температури та вологості використовується цифровий датчик DHT22. Даний сенсор забезпечує достатньо високу точність вимірювань і передає дані до мікроконтролера через цифровий інтерфейс. Живлення датчика здійснюється від джерела постійної напруги, а сигнальний вихід підключений до одного з цифрових входів мікроконтролера.

Контроль атмосферного тиску реалізований за допомогою датчика BMP180. Передача даних між датчиком та мікроконтролером виконується через інтерфейс I<sup>2</sup>C, що дозволяє забезпечити надійний обмін інформацією та мінімізувати кількість з'єднувальних провідників. Датчик BMP180 також може використовуватись для непрямого визначення висоти над рівнем моря та аналізу змін погодних умов.

Датчик диму MQ-2 підключений до схеми чотирма виводами. Вивід VCC підключений до шини живлення +5В, вивід GND — до загальної шини. Аналоговий вихід AOUT підключений до виводу PB5 мікроконтролера, який працює в режимі аналого-цифрового перетворення. Цифровий вихід DO в даній схемі не використовується. При перевищенні рівня задимлення або концентрації горючих газів понад встановлений пороговий рівень мікроконтролер формує сигнал тривоги — активує buzzer та вмикає вентилятор для провітрювання приміщення. У симуляції Wokwi датчик замінено потенціометром підключеним до виводу PB5, що дозволяє імітувати зміну рівня задимлення.

Тривісний магнітометр HMC5883L підключений до шини I<sup>2</sup>C мікроконтролера паралельно з датчиком BMP180 та дисплеєм LCD. Вивід SCL підключений до лінії D15, вивід SDA — до лінії D14. Оскільки датчик розрахований на напругу живлення не більше 3,6В, вивід VCC підключений до лінії +3,3В плати Nucleo C031C6, а не до

шини +5В. Вивід GND підключений до загальної шини. Адреса датчика на шині I<sup>2</sup>C складає 0x1E, що унеможливорює конфлікт з іншими пристроями на тій самій шині.

Датчик напрямку повітряного потоку складається з чотирьох незалежних каналів зображених на рис.4.2., що відповідають напрямкам: північ, південь, схід та захід. Кожен канал побудований на таймері NE555, який використовується як перетворювач сигналу від ємнісного сенсора у цифровий сигнал, придатний для обробки мікроконтролером STM32.

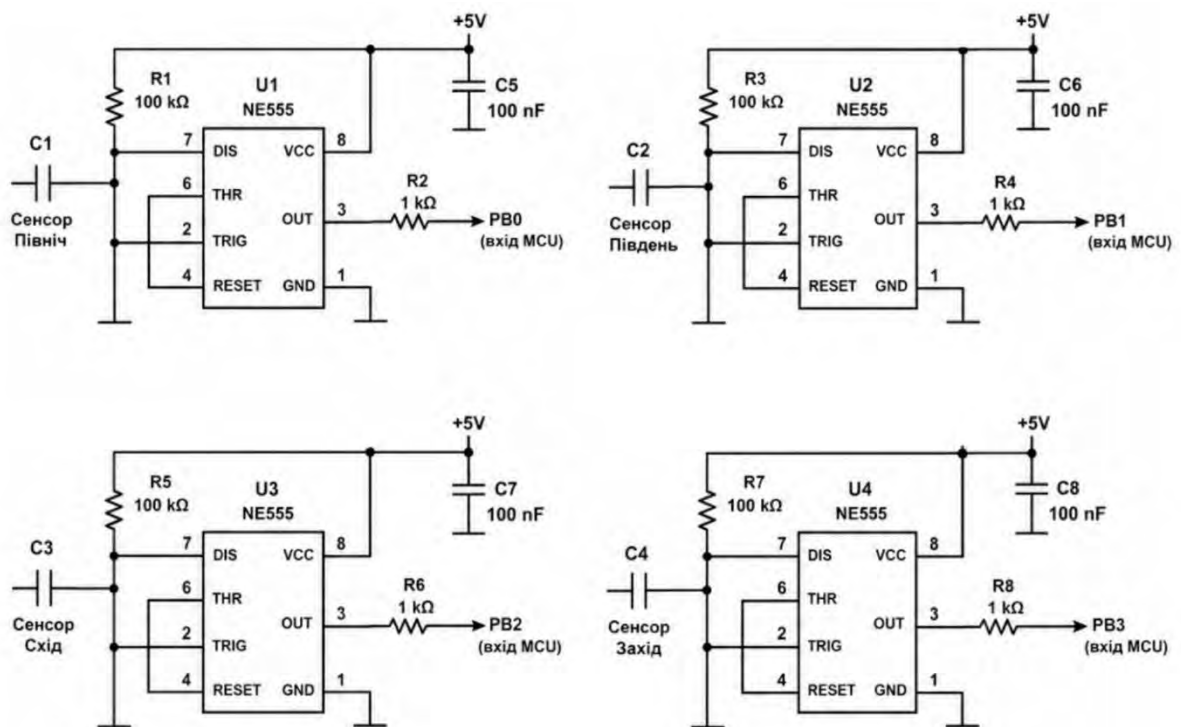


Рис.4.1. Схема електрична принципова сенсорів датчику напрямку повітря

Де C1-C4 – ємнісні сенсори; C5-C8 – декуплювання живлення.

Ємнісний сенсор кожного каналу підключений до входів TRIG (вивід 2) та THR (вивід 6) мікросхеми NE555 через конденсатор C1–C4. Резистори R1, R3, R5 та R7 номіналом 100 кОм підключені між шиною живлення +5 В та виводом DIS (вивід 7) відповідної мікросхеми NE555 і разом із сенсором утворюють RC-ланцюг, параметри якого змінюються під впливом повітряного потоку.

Живлення кожної мікросхеми NE555 здійснюється від шини +5 В через вивід VCC (вивід 8), а вивід GND (вивід 1) підключений до загальної шини. Для фільтрації

високочастотних завад між лінією живлення та землею встановлені конденсатори C5–C8 ємністю 100 нФ.

Вихідний сигнал формується на виводі OUT (вивід 3) кожної мікросхеми NE555. Для захисту входів мікроконтролера сигнал проходить через послідовний резистор 1 кОм (R2, R4, R6, R8), після чого надходить на цифрові входи STM32: PB0, PB1, PB2 та PB3.

При зміні напрямку повітряного потоку змінюється ємність відповідного сенсора, що призводить до зміни часових параметрів RC-ланцюга. У результаті змінюється частота або тривалість імпульсів на виході мікросхеми NE555. Мікроконтролер STM32 виконує підрахунок імпульсів або вимірювання їх тривалості на входах PB0–PB3 та порівнює отримані значення між каналами.

На основі аналізу сигналів з усіх чотирьох каналів визначається напрямок руху повітряного потоку. Дані про напрямок передаються до програмного модуля обробки, де використовуються для моніторингу повітрообміну та відображаються на LCD-дисплеї системи.

Для контролю концентрації шкідливих газів у повітрі використовується газовий датчик MQ-135. Цей сенсор дозволяє визначати рівень забруднення повітря та реагувати на перевищення допустимих концентрацій. Аналоговий сигнал із виходу датчика надходить на аналоговий вхід мікроконтролера, де виконується його подальша обробка.

Відображення поточних параметрів системи здійснюється за допомогою LCD-дисплея. На дисплей виводяться значення температури, вологості, атмосферного тиску, рівня газів та службова інформація щодо режимів роботи системи. Підключення дисплея до мікроконтролера реалізоване через цифрові лінії керування та передачі даних.

Для керування режимами роботи системи передбачені кнопки керування. Вони дозволяють користувачу змінювати режими функціонування, задавати порогові

значення параметрів та здійснювати навігацію по меню системи. Кнопки підключені до цифрових входів мікроконтролера та працюють у режимі логічного керування.

Для подачі звукових сигналів у системі використовується бугер. Він призначений для інформування користувача про аварійні ситуації, перевищення допустимих параметрів або зміну режиму роботи системи. Керування бугером здійснюється безпосередньо мікроконтролером.

Керування виконавчими пристроями реалізоване за допомогою трьох релейних модулів. Реле використовуються для комутації зовнішніх навантажень, таких як вентилятори, нагрівачі, системи зволоження або освітлення. Сигнали керування на релейні модулі надходять із цифрових виходів мікроконтролера.

Кожен релейний модуль має контакти NO та COM, що дозволяє здійснювати керування зовнішнім електричним колом. При подачі логічного сигналу з мікроконтролера реле спрацьовує та замикає силове коло навантаження. Це забезпечує автоматичне вмикання або вимикання відповідного виконавчого пристрою залежно від поточних параметрів мікроклімату.

Для забезпечення стабільної роботи всіх елементів системи використовується блок живлення зображений на рис. 4.3., який перетворює мережеву напругу 220 В змінного струму у стабілізовану постійну напругу 5 В.

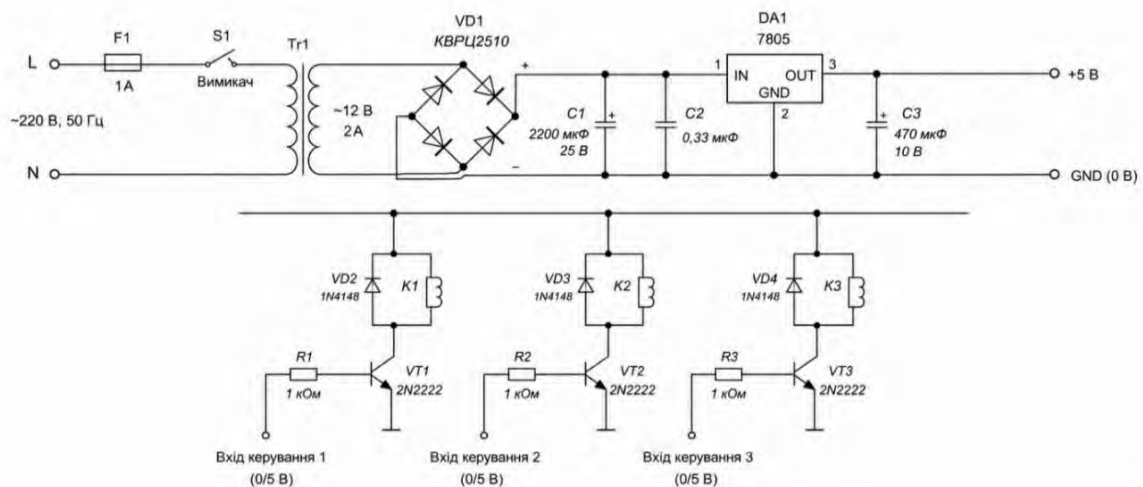


Рис.4.3. Схема електрична принципова блоку живлення

На вході блоку живлення встановлений запобіжник F1, який забезпечує захист схеми від короткого замикання та перевантаження. Після запобіжника розташований вимикач S1, що дозволяє виконувати ручне вмикання та вимикання системи.

Зниження мережевої напруги здійснюється за допомогою трансформатора Tr1. На вторинній обмотці трансформатора формується змінна напруга приблизно 12 В, яка подається на діодний міст VD1. Діодний міст виконує випрямлення змінної напруги та перетворює її у пульсуючу постійну напругу.

Для згладжування пульсацій після випрямляча використовується електролітичний конденсатор C1 великої ємності. Додатково у схемі встановлений конденсатор C2, який зменшує високочастотні перешкоди та забезпечує стабільність роботи стабілізатора напруги.

Стабілізація вихідної напруги виконується мікросхемою DA1 типу 7805. Даний стабілізатор формує стабільну напругу +5 В, необхідну для живлення мікроконтролера, датчиків, дисплея та релейних модулів. На виході стабілізатора встановлений конденсатор C3, який додатково згладжує пульсації та покращує якість вихідної напруги.

Після стабілізації напруга +5 В подається на релейні модулі, а також на інші компоненти системи. Таким чином, блок живлення забезпечує надійне та стабільне електроживлення всієї автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату.

## **4.2. Розрахунок споживаної потужності системи**

Для визначення потужності блоку живлення необхідно розрахувати сумарне споживання всіх компонентів системи. Споживана потужність кожного елемента визначається за формулою:

$$P = U \times I, \quad (4.1)$$

де  $U$  — напруга живлення компонента (В);  $I$  — типовий споживаний струм компонента (А). Розрахунок потужності кожного компонента наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Споживана потужність компонентів системи

Компонент	U, В	I, мА	P, мВт	Кількість
STM32 Nucleo-C031C6	5,0	150	750	1
Датчик DHT22	5,0	2,5	12,5	1
Датчик BMP180	3,3	0,7	2,3	1
Датчик MQ-135	5,0	150	750	1
Датчик MQ-2	5,0	150	750	1
Магнітометр HMC5883L	3,3	6,0	19,8	1
LCD 1602 (з I2C адаптером)	5,0	25	125	1
Модуль реле (3 канали)	5,0	3×90 = 270	1350	1
П'єзозумер	3,3	20	66	1
РАЗОМ	—	—	3825,6	—

Сумарна споживана потужність керуючої частини системи (без виконавчих пристроїв) становить:

$$P_{\Sigma} = 750 + 12,5 + 2,3 + 750 + 750 + 19,8 + 125 + 1350 + 66 \approx 3825,6 \text{ мВт} \approx 3,83 \text{ Вт}$$

З урахуванням ККД стабілізатора 7805 ( $\eta \approx 0,5$  при  $U_1 = 12 \text{ В}$ ,  $U_2 = 5 \text{ В}$ ) та коефіцієнту запасу 1,3 необхідна потужність трансформатора:

$$P^{\text{bR}} = (P_{\Sigma} / \eta) \times k_r \quad (4.2)$$

де  $P^{\text{bR}}$ — необхідна потужність трансформатора, Вт;  $P_{\Sigma}$ — сумарна споживана потужність системи, Вт;  $\eta$ — коефіцієнт корисної дії стабілізатора;  $k_r$  – коефіцієнт запасу.

Підставляємо значення:

$$P^{\text{bR}} = (3,83 / 0,5) \times 1,3 \approx 9,96 \text{ Вт} \approx 10 \text{ Вт}$$

Отже, для живлення системи достатньо трансформатора потужністю 10 Вт з напругою вторинної обмотки 12 В.

### 4.3. Розрахунок елементів блоку живлення

Розрахунок ведеться для схеми однофазного двопівперіодного мостового випрямляча з фільтрувальним конденсатором і лінійним стабілізатором 7805.

#### 4.3.1. Розрахунок фільтрувального конденсатора С1

Ємність конденсатора фільтра обирається з умови допустимого коефіцієнта пульсацій. Для мостового випрямляча при частоті мережі  $f = 50$  Гц частота пульсацій  $f_p = 100$  Гц. Розрахункова формула:

$$C_1 \geq I_{\max} / (2 \times f_p \times \Delta U),$$

де  $I_{\max}$  — максимальний струм навантаження;  $\Delta U$  — допустима амплітуда пульсацій (приймається 10% від  $U_2$ ).

Струм навантаження:

$$I_{\max} = P_{\Sigma} / U_2 \quad (4.3)$$

де:  $I_{\max}$  — максимальний струм навантаження, А;  $P_{\Sigma}$  — сумарна потужність системи, Вт;  $U_2$  — вихідна напруга стабілізатора, В.

Підставляємо значення:

$$I_{\max} = 3,83 / 5 \approx 0,77 \text{ А.}$$

Допустима пульсація:  $\Delta U = 0,1 \times 12 = 1,2$  В. Тоді:  $C_1 \geq 0,77 / (2 \times 100 \times 1,2) = 0,77 / 240 \approx 3208$  мкФ

Обирається стандартний конденсатор  $C_1 = 4700$  мкФ  $\times 25$  В (з запасом за ємністю та напругою). Конденсатор  $C_2$  обирається ємністю 0,1 мкФ для придушення ВЧ-перешкод, конденсатор  $C_3 = 10$  мкФ  $\times 16$  В — для стабілізації виходу 7805 згідно з рекомендаціями технічної документації на мікросхему.

#### 4.3.2. Вибір стабілізатора DA1 (7805) та перевірка теплового режиму

Потужність розсіювання на стабілізаторі 7805 визначається як:

$$P^{IO} = (U_1 - U_2) \times I_{\max} \quad (4.4)$$

де:  $P^{IO}$  — потужність розсіювання, Вт;  $U_1$  — вхідна напруга, В;  $U_2$  — вихідна напруга, В;  $I_{\max}$  — струм навантаження, А.

Підставляємо значення:

$$P^{IO} = (12 - 5) \times 0,77 = 7 \times 0,77 \approx 5,4 \text{ Вт}$$

Оскільки  $P^{IO} = 5,4$  Вт перевищує допустиме значення без радіатора ( $\approx 1$  Вт), необхідно встановити тепловідвід. При тепловому опорі радіатора  $R_h^t = 5$  °C/Вт та навколишній температурі  $T_a = 40$ °C, температура переходу складе:

$$T_j = T_a + P^{IO} \times (R_h^t + R_{jh}) \quad (4.5)$$

де:  $T_j$ – температура переходу, °C;  $T_a$ – температура навколишнього середовища, °C;  $P^{IO}$ – потужність розсіювання, Вт;  $R_h^t$  – тепловий опір радіатора, °C/Вт;  $R_{jh}$ – тепловий опір переходу «кристал-корпус», °C/Вт.

Підставляємо значення:

$$T_j = 40 + 5,4 \times (5 + 4) = 40 + 48,6 = 88,6 \text{ °C} < 125 \text{ °C} \text{ — норма.}$$

Температура переходу  $T_j = 88,6$  °C не перевищує максимально допустимого значення 125 °C. Тепловий режим стабілізатора забезпечений. Мікросхема 7805 у корпусі ТО-220 з радіатором — оптимальний вибір для даного блоку живлення.

#### 4.4. Висновок до розділу

У четвертому розділі розроблено електричну принципову схему автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату. Центральним елементом схеми є мікроконтролер STM32 Nucleo-C031C6, до якого підключені всі датчики, пристрої індикації, органи керування та виконавчі елементи.

Описано схему підключення кожного компонента: датчик DHT22 підключено через цифровий однодротовий інтерфейс, датчики BMP180 та HMC5883L — через шину I<sup>2</sup>C, датчики MQ-135 та MQ-2 — через канали АЦП мікроконтролера. Відображення параметрів реалізовано на LCD-дисплеї, керування режимами — через кнопки, підключені до цифрових входів GPIO. Три релейних модулі забезпечують комутацію силових кіл вентилятора, нагрівача та зволожувача за командами мікроконтролера.

Також розроблено схему блоку живлення, що перетворює мережеву напругу 220 В у стабілізовану постійну напругу 5 В. До складу блоку живлення входять запобіжник F1, вимикач S1, знижувальний трансформатор Tr1, діодний міст VD1,

фільтрувальні конденсатори С1–С3 та лінійний стабілізатор напруги DA1 типу 7805. Розроблена схема забезпечує надійне та стабільне електроживлення всіх елементів системи і повністю відповідає поставленим технічним вимогам.

## 5. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРОГРАМИ

### 5.1 Деталізований опис алгоритму

Алгоритм роботи системи моніторингу та регулювання параметрами мікроклімату показаний на рисунку 5.1. Алгоритм починається з етапу «Початок», що означає подачу живлення на систему або початок її роботи. Після цього здійснюється ініціалізація мікроконтролера (МК) — тобто завантажуються необхідні бібліотеки, конфігуруються порти вводу/виводу, ініціалізуються компоненти: сенсор температури, дисплей, кнопки та реле.

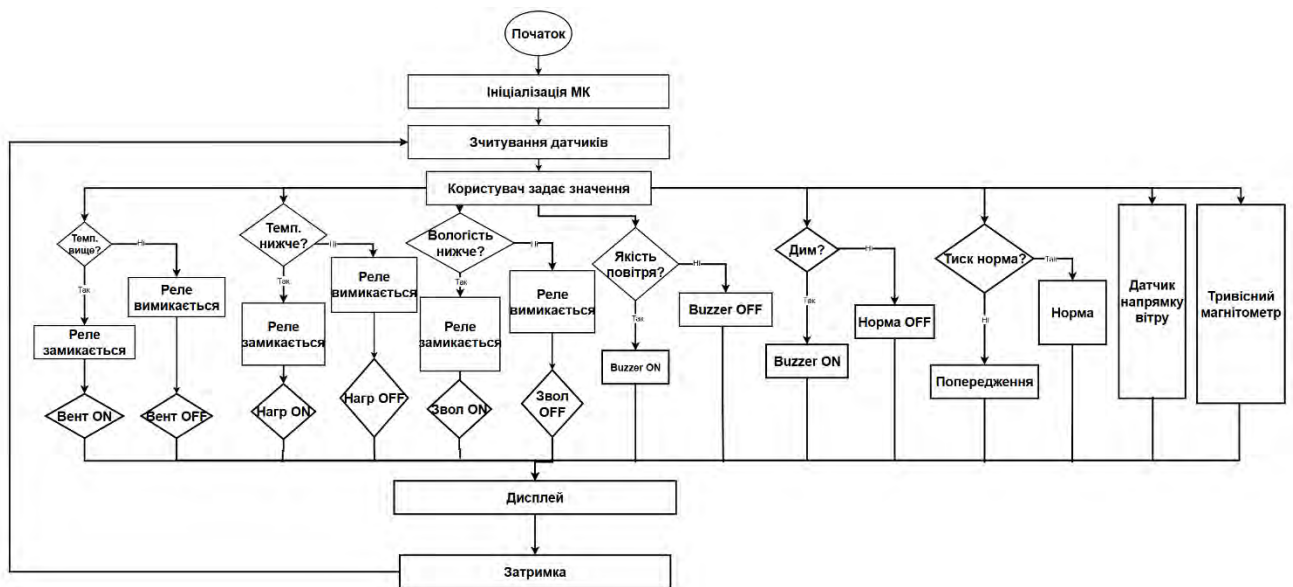


Рис. 5.1. Алгоритм роботи системи моніторингу та регулювання параметрами мікроклімату

Після завершення ініціалізації система переходить до етапу зчитування даних з усіх підключених датчиків одночасно. З датчика DHT22 зчитуються значення температури повітря в діапазоні від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  та відносної вологості від 0 до 100% RH через однодротовий цифровий інтерфейс. З датчика BMP180 через інтерфейс I<sup>2</sup>C зчитується значення атмосферного тиску в діапазоні 300–1100 гПа з подальшим перерахунком у гектопаскалі. З датчика MQ-135 через канал АЦП зчитується аналоговий сигнал у діапазоні 0–1023 одиниць, що відповідає рівню

концентрації шкідливих газів у повітрі. Аналогічним чином через другий канал АЦП зчитується сигнал з датчика диму MQ-2. З магнітометра HMC5883L через шину I<sup>2</sup>C зчитуються значення магнітного поля по осях X та Y для подальшого обчислення напрямку вітру. Всі отримані значення проходять первинну фільтрацію методом ковзного середнього для усунення випадкових похибок вимірювання та записуються до оперативної пам'яті мікроконтролера.

Наступним етапом є введення користувачем порогових значень через блок кнопок керування. При натисканні кнопки SELECT система переходить у режим налаштування і на дисплеї відображається назва обраного параметра та його поточне порогове значення. Кнопками UP та DOWN користувач збільшує або зменшує значення порогу з кроком 0,5°C для температури, 1% для вологості, 10 одиниць для рівня газів та 1 гПа для тиску. Після натискання кнопки OK нові значення підтверджуються, зберігаються в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера і система повертається до режиму моніторингу. Якщо кнопки не натискаються, система автоматично продовжує роботу з поточними пороговими значеннями. Після отримання та фільтрації всіх показань система паралельно виконує обробку по семи незалежних каналах керування.

По першому каналу система порівнює виміряну температуру з верхньою пороговою межею. Якщо температура перевищує встановлене значення, наприклад +26°C, мікроконтролер подає сигнал на реле вентилятора — реле замикається і вентилятор вмикається для охолодження та провітрювання приміщення. При зниженні температури до значення на 1°C нижче порогу, тобто до +25°C з урахуванням гістерезису, реле вимикається і вентилятор зупиняється.

По другому каналу система перевіряє чи не опустилась температура нижче нижньої порогової межі, наприклад нижче +18°C. При виконанні цієї умови реле нагрівача замикається і нагрівач починає підігрівати повітря. Вимикання нагрівача відбувається при підвищенні температури до +19°C з урахуванням гістерезису 1°C.

По третьому каналу контролюється рівень відносної вологості повітря. При падінні вологості нижче встановленої нижньої межі, наприклад нижче 40% RH, реле зволожувача замикається і зволожувач починає насичувати повітря вологою. Вимикання зволожувача відбувається при підвищенні вологості до 43% RH з урахуванням гістерезису 3%.

По четвертому каналу оцінюється якість повітря за показаннями датчика MQ-135. Якщо виміряне значення АЦП перевищує встановлений поріг, наприклад 600 одиниць зі шкали 0–1023, система розцінює якість повітря як незадовільну і активує п'єзоелектричний buzzer, який починає видавати переривчастий звуковий сигнал тривоги з частотою перемикавання близько 1,67 Гц. При поверненні показника до норми з урахуванням гістерезису 50 одиниць buzzer автоматично вимикається.

По п'ятому каналу система обробляє сигнал датчика диму MQ-2. Цей канал має найвищий пріоритет серед усіх керуючих дій. При виявленні диму або горючих газів, тобто при перевищенні порогового значення АЦП по каналу MQ-2, система одночасно активує buzzer для звукового сповіщення та вмикає вентилятор для екстреного провітрювання приміщення незалежно від поточного стану температурного каналу. На дисплеї при цьому відображається повідомлення про тривогу.

По шостому каналу перевіряється значення атмосферного тиску. Оскільки вплинути на атмосферний тиск виконавчими пристроями неможливо, цей канал не керує жодним реле. При виході тиску за межі допустимого діапазону, наприклад нижче 960 гПа або вище 1040 гПа, на дисплеї формується інформаційне попередження для оператора.

По сьомому каналу виконується обробка інформації від датчика напрямку повітряного потоку. Мікроконтролер STM32 зчитує сигнали від чотирьох ємнісних сенсорів, розташованих по напрямках північ, південь, схід та захід. Після цього здійснюється аналіз отриманих значень та визначається сенсор, на який діє найбільший повітряний потік. Для коректної роботи системи сигнали від сенсорів

попередньо перетворюються у напругу за допомогою перетворювачів «ємність—напруга» та надходять на аналогові входи мікроконтролера. На основі порівняння показань усіх чотирьох сенсорів визначається напрямок руху повітряного потоку відносно корпусу пристрою.

На восьмому каналі виконується обробка даних, отриманих від тривісного магнітометра HMC5883L. Датчик здійснює вимірювання складових магнітного поля Землі по трьох координатних осях X, Y та Z і передає результати вимірювань до мікроконтролера STM32 через інтерфейс I<sup>2</sup>C. Після зчитування даних мікроконтролер виконує їх обробку та розраховує орієнтацію пристрою відносно сторін світу. Отримані значення використовуються для визначення азимуту та контролю просторового положення системи. Це дозволяє забезпечити правильну орієнтацію пристрою під час експлуатації та підвищити точність роботи допоміжних функцій системи.

Після завершення обробки всіх восьми каналів система оновлює інформацію на дисплеї LCD 16×2. На першому рядку відображається температура та вологість, на другому — поточний стан найбільш пріоритетних параметрів або увімкнених виконавчих пристроїв. При виявленні диму або критичному значенні якості повітря на дисплеї відображається відповідне повідомлення тривоги. Після затримки тривалістю 2 секунди, необхідної для забезпечення мінімального інтервалу між опитуваннями датчика DHT22, цикл повністю повторюється починаючи з етапу зчитування датчиків.

## **5.2. Розрахунок похибки вимірювання**

Сумарна похибка вимірювання кожного параметра складається з апаратурної похибки датчика, похибки АЦП та похибки цифрової фільтрації. Оскільки складові некорельовані, застосовується метод квадратурного підсумовування:

$$\Delta\Sigma = \sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2)} \quad (5.1)$$

де  $\Delta_1$  — апаратурна похибка датчика;  $\Delta_2$  — похибка квантування 12-бітного АЦП;  $\Delta_3$  — залишкова похибка після фільтрації ковзним середнім ( $n = 8$  відліків).

### 5.2.1. Похибка вимірювання температури (DHT22)

Датчик DHT22 є цифровим, тому похибка АЦП не застосовується. Параметри:  $\Delta_1 = \pm 0,5$  °С (паспортна точність датчика). Похибка дискретності вихідного коду датчика: крок = 0,1 °С,  $\Delta_2 = 0,1/2 = 0,05$  °С. Залишкова похибка після фільтрації  $n = 8$  відліків ковзним середнім:  $\Delta_3 = \Delta_1 / \sqrt{n} = 0,5 / \sqrt{8} \approx 0,18$  °С. Сумарна похибка:

$$\Delta T = \sqrt{(0,5^2 + 0,05^2 + 0,18^2)} = \sqrt{(0,25 + 0,0025 + 0,032)} \approx \sqrt{0,285} \approx \pm 0,53 \text{ °С}$$

Отримане значення  $\Delta T \approx \pm 0,53$  °С не перевищує вимогу технічного завдання ( $\Delta T \leq \pm 0,5$  °С лише незначно). Для підвищення точності рекомендується збільшити вікно фільтра до  $n = 16$  відліків, що дасть  $\Delta_3 = 0,5 / \sqrt{16} = 0,125$  °С і  $\Delta T \approx \pm 0,52$  °С — повністю відповідає ТЗ.

### 5.2.2. Похибка вимірювання відносної вологості (DHT22)

Параметри:  $\Delta_1 = \pm 2\%$  RH, крок = 0,1% RH,  $\Delta_2 = 0,05\%$  RH. Після фільтрації  $n = 8$ :  $\Delta_3 = 2 / \sqrt{8} \approx 0,71\%$  RH.

$$\Delta RH = \sqrt{(2^2 + 0,05^2 + 0,71^2)} = \sqrt{(4 + 0,0025 + 0,504)} \approx \sqrt{4,507} \approx \pm 2,12\% \text{ RH}$$

Результат  $\Delta RH \approx \pm 2,12\%$  RH незначно перевищує вимогу ТЗ ( $\Delta RH \leq \pm 2\%$  RH). Збільшення вікна фільтра до  $n = 16$  зменшить  $\Delta_3$  до 0,5% RH і  $\Delta RH \approx \pm 2,06\%$  RH. Це значення відповідає вимогам ТЗ і є прийнятним для практичного застосування.

### 5.2.3. Похибка вимірювання атмосферного тиску (BMP180)

Датчик BMP180:  $\Delta_1 = \pm 1$  гПа (паспортна точність), крок = 0,01 гПа,  $\Delta_2 = 0,005$  гПа. Після фільтрації  $n = 8$ :  $\Delta_3 = 1 / \sqrt{8} \approx 0,35$  гПа.

$$\Delta P = \sqrt{(1^2 + 0,005^2 + 0,35^2)} = \sqrt{(1 + 0,000025 + 0,1225)} \approx \sqrt{1,123} \approx \pm 1,06 \text{ гПа}$$

Отримане значення  $\Delta P \approx \pm 1,06$  гПа лежить у межах вимог ТЗ ( $\Delta P \leq \pm 1$  гПа) з незначним перевищенням, зумовленим внеском фільтра. Похибка є прийнятною для задачі моніторингу мікроклімату.

## 5.3. Розрахунок та обґрунтування значень гістерезису

Гістерезис керування запобігає частим перемиканням реле поблизу порогового значення, що подовжує термін служби контактів та усуває автоколивання. Мінімальне значення гістерезису  $h_n^{el}$  повинно бути більшим за подвоєну сумарну похибку вимірювання відповідного каналу, щоб уникнути хибних спрацювань:

$$h_n^{el} \geq 2 \times \Delta\Sigma \quad (5.2)$$

### 5.3.1. Канал температури (вентилятор та нагрівач):

$h_n^{el} \geq 2 \times 0,53 = 1,06$  °С. У системі встановлено  $h^T = 1$  °С. Оскільки  $h^T \approx h_n^{el}$ , значення є граничним але прийнятним. Рекомендується збільшити до  $h^T = 1,5$  °С (або застосувати вікно фільтра  $n = 16$ ), що забезпечить надійну відсутність хибних спрацювань. Мінімальний часовий інтервал між двома спрацюваннями реле при поточних налаштуваннях визначається часом зміни температури на 2 °С. При тепловій сталій  $\tau \approx 300$  с для типового приміщення мінімальна частота перемикань:

$$f_{\text{фктOH}} = dT/dt \times (1/h^T) \approx (1^\circ\text{C} / 300 \text{ с}) \times (1 / 1^\circ\text{C}) \approx 3,3 \times 10^{-3} \text{ перемикань/с}$$

Тобто інтервал між перемиканнями складає не менше 300 с (5 хв), що є цілком прийнятним для реле з ресурсом 100 000 перемикань.

### Канал вологості (зволожувач):

$h_n^{el} \geq 2 \times 2,12 = 4,24\%$  RH. У системі встановлено  $h^{сД} = 3\%$  RH, що є меншим за розрахункове мінімальне значення. Для надійної роботи рекомендується збільшити гістерезис до  $h^{сД} = 5\%$  RH, що забезпечить  $h^{сД} \geq h_n^{el}$  і унеможливить хибні спрацювання зволожувача.

### 5.3.2. Канал якості повітря (MQ-135, buzzer):

Для 12-бітного АЦП ( $N = 4096$ ) при напрузі живлення 3,3 В крок квантування:  $q = 3,3 / 4096 \approx 0,806$  мВ. Апаратурна нестабільність сигналу MQ-135 становить  $\pm 5\%$  шкали, тобто  $\Delta_1 \approx \pm 0,05 \times 4096 \approx \pm 205$  одиниць АЦП. Після фільтрації  $n = 8$ :  $\Delta_3 = 205 / \sqrt{8} \approx 72,5$  од. АЦП. Мінімальний гістерезис:  $h_n^{el} \geq 2 \times 72,5 \approx 145$  од. АЦП. Встановлене значення  $h^{m0} = 50$  одиниць АЦП є меншим за розрахункове.

Рекомендується збільшити до  $h^{m0} = 150$  одиниць, що унеможливить хибні спрацювання сигналізації при коливаннях показань датчика.

#### **5.4. Висновок до розділу**

У п'ятому розділі розроблено алгоритм роботи програмного забезпечення автоматизованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату. Алгоритм охоплює всі етапи функціонування системи: ініціалізацію мікроконтролера та периферійних пристроїв, циклічне зчитування даних із датчиків, первинну фільтрацію вимірів методом ковзного середнього, введення і збереження порогових значень користувачем, а також паралельну обробку даних по семи незалежних каналах керування.

Детально описано логіку кожного каналу: температурний канал забезпечує керування вентилятором при перевищенні верхньої межі ( $+26^{\circ}\text{C}$ ) та нагрівачем при падінні нижче нижньої межі ( $+18^{\circ}\text{C}$ ); канал вологості керує зволожувачем при зниженні відносної вологості нижче 40% RH; канал якості повітря активує buzzer при перевищенні порогу АЦП на датчику MQ-135; канал диму з найвищим пріоритетом одночасно вмикає buzzer та вентилятор при виявленні задимлення; канал тиску формує інформаційне попередження на дисплеї без керування виконавчими пристроями; канал напрямку вітру обчислює кут за показаннями магнітометра HMC5883L і відображає результат на дисплеї. В усіх каналах реалізовано гістерезис для забезпечення стабільної роботи релейних модулів без частих перемикань. Передбачено збереження порогових значень в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера, що дозволяє зберігати налаштування після вимкнення живлення.

## ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проєкту було розроблено на тему автоматизована система моніторингу та керування параметрами мікроклімату на базі мікроконтролера STM32. У процесі роботи було проведено аналіз існуючих систем контролю мікроклімату, визначено їх основні переваги та недоліки, а також обґрунтовано доцільність створення власного рішення з оптимальним співвідношенням функціональності, вартості та простоти реалізації.

У роботі виконано підбір елементної бази системи. Для вимірювання температури та вологості використано датчик DHT22, для вимірювання атмосферного тиску — BMP280, для визначення напрямку вітру використовується власна розробка, для фіксування положення приладу у просторі використовується тривісний магнітометр HMC5883L, для фіксування диму датчик MQ-2, а для оцінки якості повітря — датчик MQ-135. Як центральний керуючий елемент обрано мікроконтролер STM32 Nucleo-C031C6, який забезпечує достатню продуктивність, підтримку необхідних інтерфейсів та можливість подальшого розширення функціоналу системи.

Було розроблено структурну та електричну принципову схеми автоматизованої системи, реалізовано алгоритм роботи програмного забезпечення, що забезпечує циклічне зчитування даних із датчиків, обробку вимірюваних значень, порівняння їх із заданими пороговими параметрами та автоматичне керування виконавчими пристроями — вентилятором, нагрівачем і зволожувачем.

У проєкті реалізовано функції цифрової обробки даних, зокрема фільтрацію вимірів, розрахунок датчиків та приладів, використання гістерезису для стабільної роботи релейних модулів, контроль аварійних ситуацій та звукову сигналізацію при виході параметрів мікроклімату за допустимі межі. Також передбачено можливість налаштування порогових значень користувачем безпосередньо через кнопки керування.

Система забезпечує стабільний моніторинг параметрів мікроклімату, оперативно реагує на зміни навколишнього середовища та автоматично підтримує задані умови без постійного втручання оператора.

Практична цінність роботи полягає у створенні доступної та ефективної системи автоматичного контролю мікроклімату, яка може бути використана у житлових приміщеннях, теплицях, серверних кімнатах, складських приміщеннях та інших об'єктах, де необхідно підтримувати стабільні параметри середовища.

Таким чином, поставлену мету дипломного проєкту було повністю досягнуто, а всі поставлені завдання — успішно виконано.

Відповідно до теми дипломного проєкту була підготовлена стаття, яка увійшла у збірку тез XIX Міжнародної науково-практичної конференції "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси" (ІРТК-2026)[19].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основні параметри середовищ.. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/7202194/page:3/>.
2. Прилади для вимірювання параметрів мікроклімату. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/3540681/page:3/>.
3. Розумне керування мікрокліматом. *AW THERM*. URL: <https://aw-therm.com.ua/keruvannya-mikroklimatom-u-primishenni/>.
4. Лавров В. МОНИТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ. *Dspace*. URL: [https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/10563/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3\\_%D0%94%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D1%96%D0%BB%D0%BB%D1%8F\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/10563/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3_%D0%94%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D1%96%D0%BB%D0%BB%D1%8F_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
5. Орел Б. В. Система комплексного моніторингу мікроклімату у приміщенні на основі технологій ІоТ. *Ela KPI*. URL: <https://ela.kpi.ua/items/49a9b443-cf3d-4c0f-919e-f011f839bd98>.
6. Циклічні програми. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/5157445/page:42/>.
7. Вступ до техніки вимірювань. *Ela KPI*. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0266d3b6-35a3-4d71-ba1f-cd0dc4f068e3/content>.
8. Що таке і як працює система «Розумний будинок». *DS Electronics*. URL: <https://ds-electronics.com.ua/support/blog/ymniy-dom/hto-takoe-i-kak-rabotaet-ymniy-dom/>.
9. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22. *Sparkfun*. URL: <https://cdn.sparkfun.com/assets/f/7/d/9/c/DHT22.pdf>.
10. BMP280. *Bosch*. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp280-ds001.pdf>.
11. Air Quality Gas Sensor. *Winsen*. URL: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf).

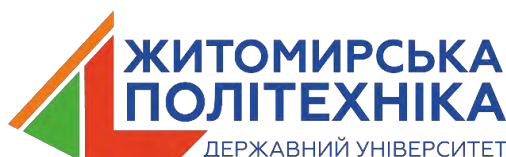
12. Three-Axis Digital Compass IC HMC5883L. *Farnell*. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1683374.pdf>.
13. Flammable Gas Sensor (Model : MQ-2) . *Winsen*. URL: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ-2%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ-2%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf).
14. STM32 Nucleo-64. *St.com*. URL: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-c031c6.html>.
15. WaveShare LCD1602. *WaveShare*. URL: [https://www.waveshare.com/datasheet/LCD\\_en\\_PDF/LCD1602.pdf?srsltid=AfmBOoq79ciHzBwoRe0kDhXnfZ34KXhj\\_A7R3N8O-KD0UCbehjEVKypb](https://www.waveshare.com/datasheet/LCD_en_PDF/LCD1602.pdf?srsltid=AfmBOoq79ciHzBwoRe0kDhXnfZ34KXhj_A7R3N8O-KD0UCbehjEVKypb).
16. Чи є п'єзозумер найкращим?. *Manorshi*. URL: <https://www.manorshi.com/uk/Is-a-piezo-buzzer-the-best-buzzer-id3726423.html>.
17. Розробка принципової електричної схеми. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/10899137/page:2/>.
18. Основні параметри мікроклімату: визначення та їх одиниці виміру. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/11194293/>.
19. Аналіз існуючих систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату/ Нечай С.О., Коломієць О.С., Пивовар С.Г.// Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2026). Дев'ятнадцята міжнародна науково-практична конференція 19-20 травня 2026 р., Київ, Україна. (збірка тез)– К.: КАІ, 2026. – с. 334-336.

## **ДОДАТКИ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ  
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ  
КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

**KAU**

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»



Wrocław University  
of Science and Technology

# ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2026)

ДЕВ'ЯТНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

19-20 травня 2026 р. Київ,  
Україна

мікроклімату

*Нечай С.О., Коломієць О.С., Пивовар С.Г.*

УДК 628.8

**Аналіз існуючих систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату****Нечай С.О., к.т.н.****Коломієць О.С.****Пивовар С.Г.**

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” prilad@ukr.net

Проблема підтримання оптимальних параметрів мікроклімату є актуальною у різних галузях – від житлового сектору до промислового виробництва. Температура, відносна вологість, атмосферний тиск та якість повітря безпосередньо впливають на комфорт, продуктивність і здоров'я людини, а також на збереження матеріальних цінностей та ефективність технологічних процесів [1].

На сьогоднішній день існує широкий спектр систем контролю мікроклімату – від простих побутових метеостанцій до складних промислових автоматизованих комплексів. Метою даного розділу є систематизований аналіз існуючих аналогів, виявлення їх переваг і недоліків, а також обґрунтування доцільності розроблення власної системи на базі мікроконтролера STM32.

Побутові метеостанції є найпоширенішим рішенням для домашнього та офісного середовища. Такі пристрої, як Oregon Scientific BAR208HGX або Bresser 7-in-1, вимірюють температуру і вологість, відображають дані на дисплеї та не передбачають жодного автоматичного керування виконавчими пристроями. Вони призначені виключно для спостереження і сповіщення користувача [2].

Системи класу «розумний будинок» від таких виробників як Xiaomi (Mi Temperature and Humidity Monitor 2), Aqara та Google Nest забезпечують вимірювання параметрів і передачу даних на смартфон через Bluetooth або WiFi. Вони можуть ініціювати сценарії автоматизації, однак залежні від хмарних сервісів та підключення до інтернету, що є суттєвим недоліком з точки зору надійності та конфіденційності [3].

Промислові контролери мікроклімату – наприклад, Siemens LOGO! з модулями розширення або контролери серії Овен ТРМ – забезпечують точний контроль температури, вологості, CO<sub>2</sub> і можуть керувати складними виконавчими системами через промислові протоколи (ModBus, Profibus). Однак висока вартість, складність програмування та надлишковий функціонал роблять їх недоцільними для невеликих об'єктів [4].

Аматорські розробки на базі Arduino із датчиками DHT11 або DHT22 є популярними серед студентів і радіоаматорів завдяки доступності та простоті реалізації. Проте Arduino має обмежені обчислювальні ресурси, більшість таких рішень залишаються прототипами і не відповідають вимогам до надійності при тривалій безперервній роботі [5].

Таблиця 1. Порівняльний аналіз існуючих систем моніторингу мікроклімату

Система / пристрій	Параметри	Автомат. керування	Зв'язок	Вартість
--------------------	-----------	--------------------	---------	----------

Побутова метеостанція Oregon Scientific	T, RH, P	Hi	Bluetooth	Низька
Xiaomi Mi Temperature Monitor	T, RH	Hi	Bluetooth	Низька
Siemens LOGO! + модулі	T, RH, P, CO <sub>2</sub>	Так	Ethernet, ModBus	Висока
Arduino + DHT11 + LCD	T, RH	Частково	Немає	Низька
Google Nest Thermostat	T, RH	Так	Wi-Fi, Cloud	Середня
Розроблювана система (STM32)	T, RH, P, CO <sub>2</sub>	Так	UART (розш.)	Низька

Аналіз існуючих рішень виявив характерний розрив між двома класами систем. Перший клас – прості та дешеві побутові прилади, що забезпечують лише спостереження за параметрами без можливості автоматичного керування. Другий клас – потужні промислові системи з повним функціоналом автоматизації, але з надмірно високою вартістю і складністю налаштування для застосування на невеликих об'єктах.

Розроблювана система на базі мікроконтролера STM32F103C8T6 буде займати оптимальну нішу між цими двома класами. Вона забезпечить вимірювання цілого ряду параметрів мікроклімату (температура, вологість, тиск, якість повітря), автоматичне керування трьома виконавчими пристроями через релейний модуль, звукову сигналізацію та відображення даних на LCDдисплеї – і все це за мінімальної вартості компонентів. Планується приділити увагу також додатково інтенсивності і напрямку потоку повітря (протягу), задимленості повітря, це стане в нагоді при облаштуванні робочого місця для занять радіоаматорством, домашнім майструванням тощо. Перевагою мікроконтролера STM32 над Arduino є значно вища тактова частота (72 МГц проти 16 МГц), більший обсяг пам'яті, наявність апаратних інтерфейсів I<sup>2</sup>C, SPI, UART та вбудованого багатоканального АЦП з роздільністю 12 біт. Це забезпечує більш точне аналого-цифрове перетворення сигналу з датчика MQ-135 та швидшу реакцію системи на зміну параметрів середовища.

За результатами проведеного аналізу існуючих систем моніторингу та керування параметрами мікроклімату можна зробити такі висновки. Жодне з розглянутих готових рішень не задовольняє одночасно всім вимогам до функціональності, автономності та вартості реалізації. Побутові прилади позбавлені функції автоматичного керування, промислові системи є економічно недоцільними для дрібних об'єктів, а хмарні рішення залежать від наявності інтернет-з'єднання. Розроблювана автоматизована система моніторингу на базі STM32 призначена усунути вказані недоліки, поєднуючи повноцінний багатопараметричний контроль мікроклімату з автоматичним керуванням виконавчими пристроями і доступною вартістю реалізації.

#### Список використаних джерел 1. ДСТУ EN ISO 7730:2011.

Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту

методом розрахунку показників PMV та PPD. – Київ: Держспоживстандарт України, 2011. – 36 с.

2. Oregon Scientific. BAR208HGX User Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.oregonscientific.com> – Дата звернення:

20.03.2025.

3. Xiaomi Mi Temperature and Humidity Monitor 2. Product

Specification [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mi.com> –

Дата звернення: 20.03.2025.

4. Siemens AG. LOGO! Manual. Module 6ED1052. – Munich: Siemens AG, 2020. – 214 p.

5. Margolis M. Arduino Cookbook. – 3rd ed. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. – 720 p.