

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

САФРОНОВ Святослав Едуардович

**Інтелектуальна мікроконтролерна система вимірювання
та аналізу метеорологічних параметрів/ Intelligent
microcontroller system for measurement and analysis of
meteorological parameters**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ - 42
С.Е. Сафонов

Науковий керівник
к.т.н., доцент І.Р.Пітух

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«_____» _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 151 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
САФРОНОВ Святослав Едуардович

_____ (прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

_____ Інтелектуальна мікроконтролерна система вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів/ Intelligent microcontroller system for measurement and analysis of meteorological parameters. _____

_____ керівник роботи _____ к.т.н., доцент І.Р. Пітух _____

_____ затверджені наказом по університету від 01 грудня 2025 р. № 894 _____

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

_____ 1. Сфери застосування систем локального моніторингу навколишнього середовища. _____

_____ 2. Методи та технічні засоби вимірювання метеопараметрів. _____

_____ 3. Підходи до побудови інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища. _____

4. Основні питання, які потрібно розробити

_____ 1. Аналіз методів та засобів моніторингу метеорологічних параметрів. _____

_____ 2. Проєктування інтелектуальної мікроконтролерної системи вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів. _____

_____ 3. Реалізація інтелектуальної мікроконтролерної системи вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів. _____

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

_____ 1. Архітектура проєктованої системи. _____

_____ 2. Схема мікроконтролерного блоку на базі ATmega328P. _____

_____ 3. Принципова схема інтелектуальної МКС моніторингу МП. _____

_____ 4. Алгоритм роботи системи. _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Проведення аналізу методів та засобів моніторингу метеорологічних параметрів	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	
2	Проектування інтелектуальної мікроконтролерної системи вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	
3	Реалізація інтелектуальної мікроконтролерної системи вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	01.05. 2026р. – 25.05.2026р.	

Студент

(підпис)

С.Е. Сафронов

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент І.Р. Пітух

АНОТАЦІЯ

Сафронов С.Е. Интеллектуальная микроконтроллерная система измерения и анализа метеорологических параметров. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У роботі досліджено методи та засоби вимірювання метеорологічних параметрів. Проаналізовано принципи побудови мікроконтролерних систем локального моніторингу навколишнього середовища. Розроблено архітектуру, структурну та функціональну схеми інтелектуальної системи вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів. Обґрунтовано вибір елементної бази проектованої системи. Реалізовано алгоритмічне та програмне забезпечення мікроконтролерного керування, створено експериментальний прототип системи та проведено перевірку його працездатності.

ANNOTATION

Safronov, S.E. Intelligent microcontroller system for measurement and analysis of meteorological parameters. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Bachelor'» with the title 151 Automation and Computer-Integrated Technologies. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The work investigates methods and means of measuring meteorological parameters. The principles of constructing microcontroller-based systems for local environmental monitoring are analyzed. The architecture, structural and functional schemes of an intelligent system for measuring and analyzing meteorological parameters are developed. The choice of hardware components for the designed system is substantiated. Algorithmic and software support for microcontroller-based control is implemented, an experimental prototype of the system is created, and its operability is verified.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	9
1.1 Сфери застосування прогнозування погоди та значення локального моніторингу.....	9
1.2 Методи та технічні засоби вимірювання метеорологічних параметрів	13
1.2.1 Вимірювання температури повітря.....	15
1.2.2 Вимірювання атмосферного тиску.....	16
1.2.3 Вимірювання відносної вологості повітря.....	18
1.2.4 Комплексні метеорологічні вимірювальні системи.....	19
1.3 Сучасні підходи до побудови інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища.....	20
2. ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	25
2.1 Вимоги до проєктованої системи.....	25
2.2 Розробка архітектури проєктованої системи.....	27
2.3 Обґрунтування вибору компонентів для реалізації системи.....	29
2.4 2.4 Розробка принципової схеми проєктованої системи.....	38
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	44
3.1 Розробка друкованої плати.....	44

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сафронов С.Е.			Інтелектуальна мікроконтролерна система вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів/ Intelligent microcontroller system for measurement and analysis of meteorological parameters	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Пітух І.Р.					4	56
Консульт.		Пітух І.Р.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-42		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

3.2 Розробка алгоритму функціонування системи.....	46
3.3 Розробка програмного забезпечення системи.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТОК А Лістинг програмного забезпечення проєктованої системи...	57

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІВС - інформаційно-вимірювальна система;

МП - метеорологічний параметр;

ІСМ - інтелектуальна система моніторингу;

МКС - мікроконтролерних систем;

ІоТ - Інтернет речей;

БСМ - безпроводна сенсорна мережа;

ПЗ - програмне забезпечення;

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Питання моніторингу та прогнозування погодних умов завжди займало важливе місце в житті людства. В умовах глобальних кліматичних змін та зростання вимог до екологічного контролю, можливість постійного вимірювання та точні оцінки параметрів навколишнього середовища набуває актуальності не лише для комфорту, а й для забезпечення безпеки життєдіяльності.

Розвиток інформаційних технологій, мікроелектроніки та вбудованих систем суттєво змінює підходи до збору, обробки та аналізу параметрів навколишнього середовища. Традиційні методи прогнозування, що базуються на даних великих метеоцентрів, часто мають узагальнений характер і не враховують локальні особливості мікроклімату конкретної місцевості. Сучасні мікроконтролери дозволяють інтегрувати декілька сенсорів у єдину інтелектуальну систему, що створює передумови для реалізації багатопараметричного моніторингу з високою точністю та низьким енергоспоживанням.

Використання сучасних технологій забезпечує перехід від класичних вимірювальних приладів до компактних цифрових систем, здатних не лише оперативно збирати дані, а й здійснювати їх первинний аналіз, архівування, дистанційну передачу та формування попереджувальних сигналів у реальному часі. Тому, розробка автономних інтелектуальних систем метеорологічного аналізу є актуальним завданням, що відповідає сучасним тенденціям автоматизації та цифровізації.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка системи для моніторингу метеорологічних параметрів, яка забезпечує високу точність вимірювання, можливість первинного аналізу отриманих даних та оперативне оповіщення користувача про стан навколишнього середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

– провести аналіз існуючих методів та засобів вимірювання метеорологічних параметрів;

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- дослідити підходи до побудови систем моніторингу навколишнього середовища;
- обґрунтувати вибір елементної бази для реалізації проєктованої системи;
- розробити структурну та функціональну схему системи;
- розробити алгоритмічне та програмне забезпечення для мікроконтролерного керування та обробки даних;
- реалізувати прототип системи та провести тестування його працездатності.

Об’єкт дослідження - процеси автоматизованого збору, обробки та аналізу метеорологічних показників.

Предмет дослідження - інтелектуальної системи вимірювання метеопараметрів на базі сучасної елементної бази та цифрових сенсорів.

Методи дослідження: аналізу науково-технічної літератури, порівняльного аналізу, структурного синтезу, алгоритмізації, програмного моделювання, експериментального дослідження.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці автономної мікроконтролерної системи, яка може бути використана як основа для побудови локальної мережі екологічного моніторингу, системи «розумний будинок» або комплексу автоматизації мікроклімату в житлових та виробничих приміщеннях.

Публікації. Сафонов С.Е., Дорошенко О.В., Пітух І.Р. Мікроконтролерна система локального моніторингу метеорологічних параметрів // Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

1.1 Сфери застосування прогнозування погоди та значення локального моніторингу

Метеорологічна інформація належить до числа критично важливих даних, які використовуються у багатьох сферах діяльності людини. Температура повітря, атмосферний тиск, відносна вологість, швидкість повітряних потоків, концентрація окремих газів у повітрі та інші параметри атмосфери безпосередньо впливають на функціонування технічних систем, виробничих процесів, екологічний стан територій, безпеку людей та економічну ефективність окремих галузей господарства [1-3].

На рисунку 1.1 наведено основні напрями використання моніторингу метеорологічних параметрів (МП) у сучасних інформаційно-вимірювальних системах (ІВС).

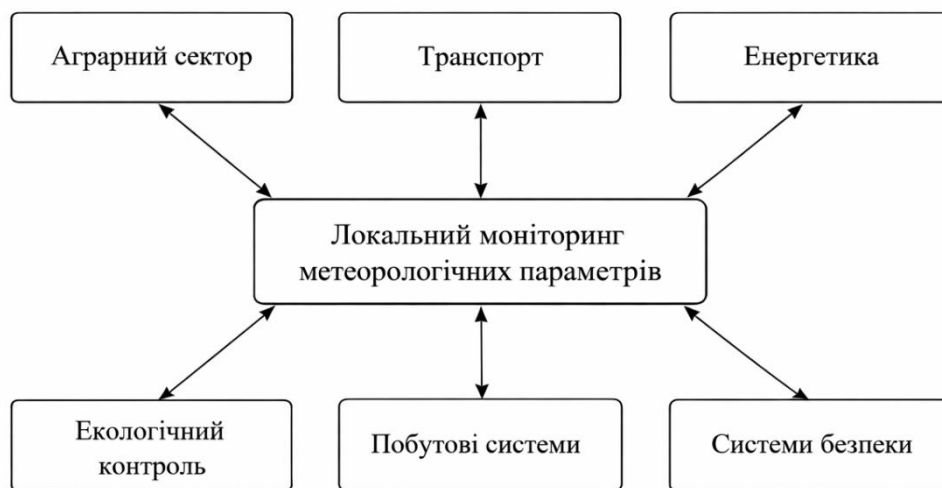


Рисунок 1.1 – Основні сфери застосування моніторингу метеорологічних параметрів

Особливого значення метеорологічні дані набувають у сільському господарстві, де погодні умови визначають строки посівних робіт, режим зрошення, ефективність внесення добрив, прогнозування ризиків заморозків,

посухи або надмірної вологості ґрунту. Сучасні агротехнології активно використовують аналіз локальних МП для точного землеробства, оскільки навіть незначні зміни температури або вологості в межах окремої ділянки можуть суттєво впливати на врожайність культур [4-6].

У транспортній галузі метеорологічний моніторинг використовується для забезпечення безпеки дорожнього руху, авіації, залізничних перевезень та морської навігації. Атмосферний тиск, температура, видимість, вологість та наявність опадів визначають режими експлуатації транспортної інфраструктури, впливають на технічний стан транспортних засобів і прийняття оперативних рішень диспетчерськими службами [7, 8].

Значну роль метеорологічний контроль відіграє у будівельній галузі. Температурно-вологісний режим безпосередньо впливає на технологічні процеси бетонування, сушіння будівельних матеріалів, теплоізоляційні характеристики конструкцій та енергоефективність будівель. Для сучасних інтелектуальних будівель застосовуються системи локального моніторингу мікроклімату, що інтегруються із системами вентиляції, опалення та кондиціонування [9-11].

В енергетичному секторі погодні параметри використовуються для прогнозування навантаження на енергосистеми, оптимізації роботи сонячних та вітрових електростанцій, контролю теплових режимів обладнання, а також для оцінки ризиків аварійних ситуацій. Особливо актуальним є моніторинг температури та вологості для електротехнічних об'єктів, де перевищення допустимих режимів може спричинити зниження надійності обладнання [12-15].

У побутовому секторі локальний моніторинг параметрів середовища набуває все більшого поширення завдяки розвитку компактних електронних пристроїв та мікроконтролерних платформ. Користувачі отримують можливість контролювати температуру, вологість, атмосферний тиск і якість повітря безпосередньо в житлових приміщеннях, що дозволяє підвищувати комфорт проживання, оптимізувати енергоспоживання та своєчасно виявляти небезпечні фактори [2, 16].

Особливо важливим є локальний контроль МП, зокрема повітря у

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

контексті безпеки людини. Підвищення концентрації чадного газу, зниження вентиляції приміщень, критичні температурні відхилення або надмірна вологість можуть створювати небезпечні умови експлуатації житлових і виробничих об'єктів. У таких випадках локальні ІВС забезпечують оперативне виявлення небезпечних станів та формування сигналів попередження.

Розвиток цифрових технологій, сенсорних систем і мікроконтролерної електроніки сприяє переходу від традиційних вимірювальних приладів та ІВС до багатофункціональних інтелектуальних систем моніторингу (ІСМ), які не лише виконують вимірювання, а й забезпечують аналіз даних, архівування результатів, передачу інформації та інтеграцію в автоматизовані системи керування [17-19].

Незважаючи на високу ефективність глобальних метеорологічних служб, вони оперують даними з масштабною сіткою, де відстань між точками замірів може становити десятки кілометрів. Це призводить до виникнення похибок у прогнозах для конкретних об'єктів через ефект «мікроклімату» (рисунок 1.2). На стан МП в конкретній точці також можуть впливати щільність забудови, наявність водойм, гірських чи лісових масивів або промислових об'єктів.

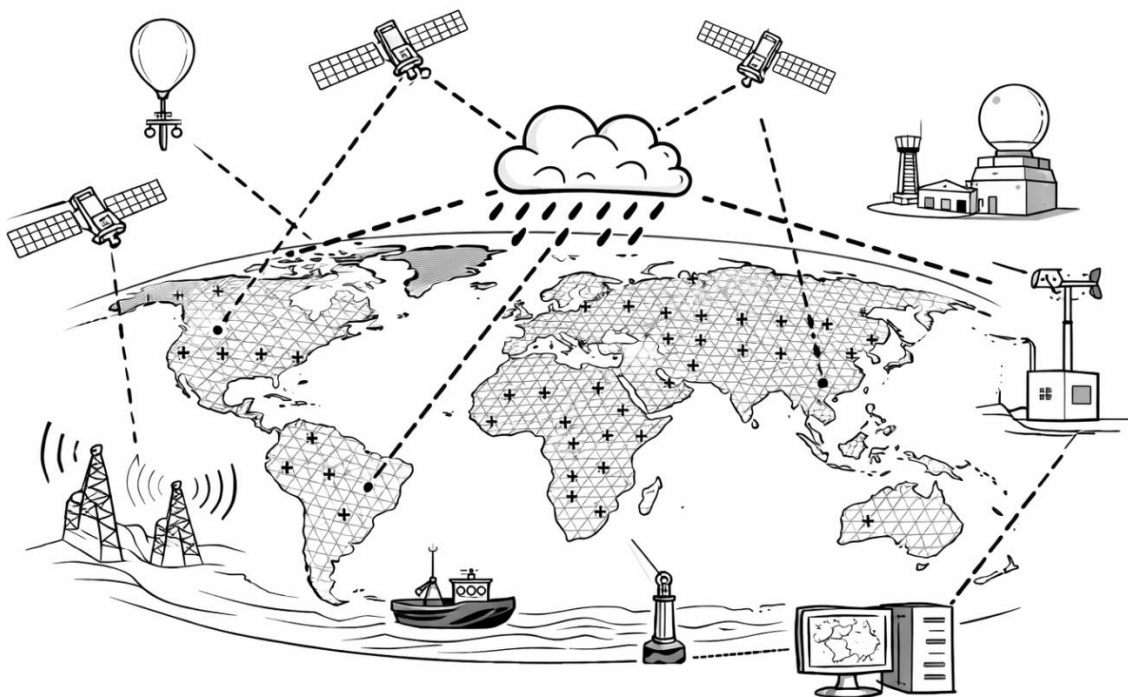


Рисунок 1.2 – Глобальна система метеорологічного спостереження

На відміну від глобальних метеорологічних сервісів, локальний моніторинг має суттєву перевагу оскільки забезпечує можливість отримання даних безпосередньо в конкретній точці вимірювання. Це особливо важливо в умовах складної міської забудови, локальних мікрокліматичних зон, виробничих приміщень або територій зі специфічними природними умовами, де загальнодоступні прогнози не забезпечують необхідної точності.

Сучасні тенденції розвитку інформаційних та технічних систем [14, 17, 19] підтверджують, що локальний моніторинг МП є важливим елементом інформаційного забезпечення як у промислових, так і в побутових застосуваннях, а створення інтелектуальних мікроконтролерних систем (МКС) у цій сфері є актуальним напрямом розвитку сучасної електроніки та автоматизації (рисунок 1.3).

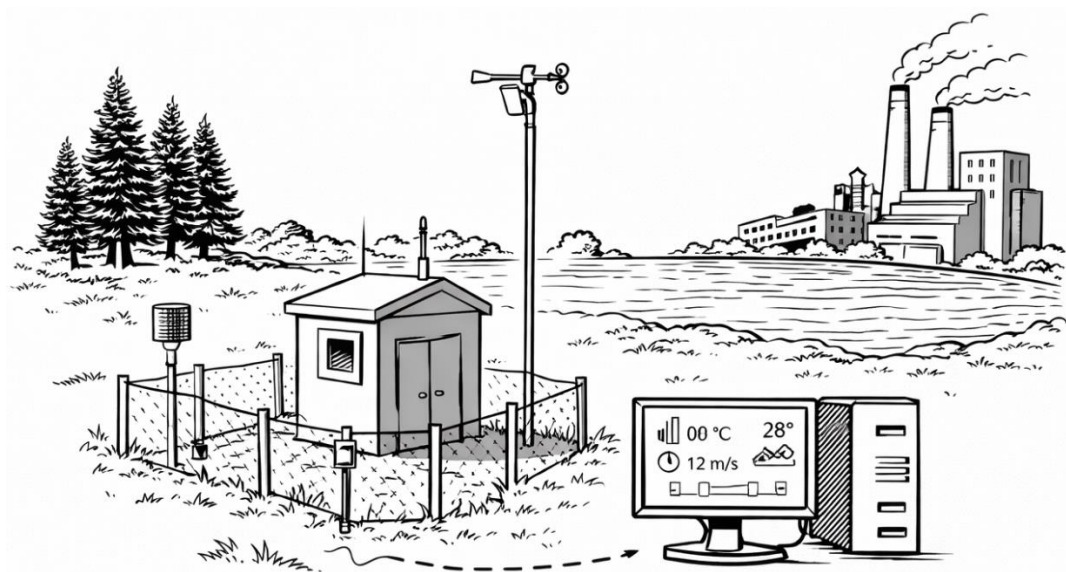


Рисунок 1.3 – Локальна станція контролю параметрів

Саме тому локальний моніторинг набуває стратегічного значення. Використання МКС вимірювання дозволяє отримувати дані безпосередньо на місці знаходження об'єкта в режимі реального часу. На відміну від загальних прогнозів, локальні системи забезпечують:

- високу дискретність даних - отримання показників кожну секунду або хвилину;

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

- автономність - незалежність від централізованих мереж зв'язку метеослужб;
- спеціалізацію - можливість відстеження специфічних параметрів, таких як концентрація шкідливих газів або рівень вологості в обмеженому просторі.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що інтелектуалізація засобів вимірювання МП та перехід до побудови локальних МКС моніторингу є необхідним кроком для підвищення ефективності прийняття рішень у сучасному технологічному суспільстві.

1.2 Методи та технічні засоби вимірювання метеорологічних параметрів

Метеопараметри характеризують фізичний стан атмосфери й середовища та використовуються для аналізу погодних умов, прогнозування кліматичних змін і контролю параметрів мікроклімату. Методи їх вимірювання відрізняються за способом контакту із середовищем, фізичним принципом дії, конструкцією чутливих елементів принципом отримання інформації та перетворення фізичних величин у вимірювальний сигнал.

На рисунку 1.4 наведено класифікацію методів їх вимірювання. Вибір методу визначається необхідною точністю вимірювання, умовами експлуатації, швидкодією системи та масштабом території спостереження.

Загалом методи вимірювання МП можна умовно поділити на:

- класичні механічні, що базуються на зміні геометричних параметрів або механічному переміщенні елементів під дією середовища (наприклад, розширення рідини у термометрі, деформація анероїдної коробки барометра або зміна довжини людської волосини у гігromетрі);
- електричні - засновані на зміні електричного опору (терморезистори), ємності (конденсаторні датчики вологості) або генерації ЕРС під впливом метеорологічних чинників;
- електронні (цифрові) сенсорні - передбачають інтеграцію первинного вимірювального перетворювача та схеми обробки сигналу (АЦП,

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

логічний контролер) в одному корпусі, що дозволяє передавати дані у цифровому форматі (I2C, SPI, UART), що виключає вплив завад на аналогову лінію зв'язку.

Перші використовуються у традиційних метеорологічних приладах, тоді як сучасні системи моніторингу здебільшого застосовують цифрові сенсори та мікроконтролерні вимірювальні модулі, що забезпечують високу точність і можливість автоматичного збору даних.

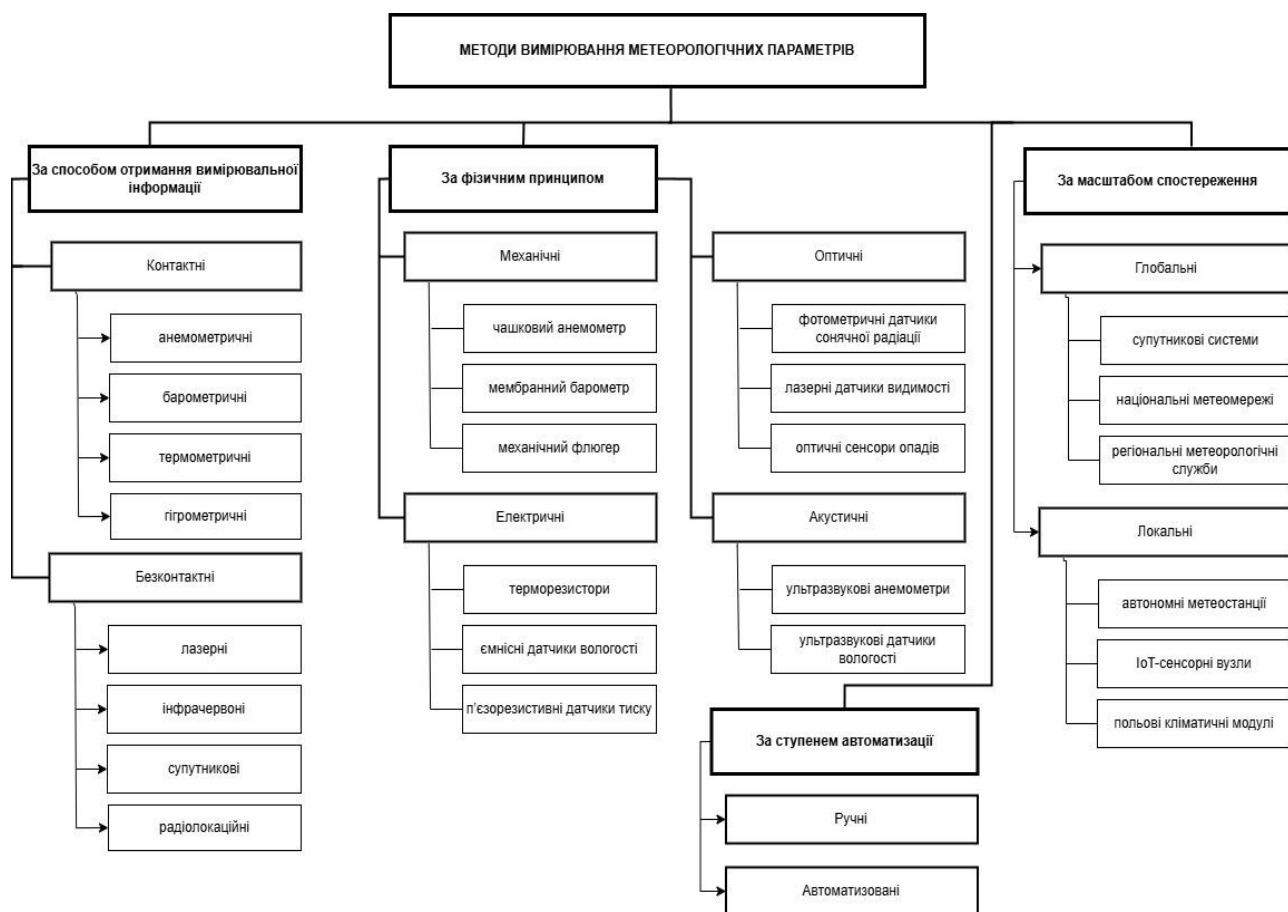


Рисунок 1.4 – Класифікація методів вимірювання

До основних метеорологічних величин належать:

- температура повітря;
- атмосферний тиск;
- відносна вологість;
- швидкість і напрям вітру;
- кількість опадів;
- інтенсивність сонячної радіації.

Для їх визначення застосовуються спеціалізовані вимірювальні прилади, що входять до складу метеорологічних станцій або автоматизованих систем моніторингу середовища.

1.2.1 Вимірювання температури повітря

Температура є одним із основних параметрів атмосфери, що характеризує тепловий стан повітряного середовища. Класичним приладом для вимірювання температури є термометр, який може працювати на різних фізичних принципах: тепловому розширенні рідин, зміні електричного опору металів або термоелектричному ефекті [20-22] (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Основні типи термометрів

Принцип роботи рідинних термометрів базується на явищі теплового розширення рідини при нагріванні. У ртутних термометрах забезпечується висока точність вимірювання, тоді як спиртові є безпечнішими у використанні та придатні для роботи при низьких температурах. До основних переваг рідинних термометрів належать простота конструкції та надійність, однак їхніми недоліками є крихкість, а також небезпека використання ртуті.

Біметалічні термометри працюють за принципом деформації пластини, виготовленої з двох різнорідних металів, при зміні температури. Вони характеризуються довговічністю та не потребують джерел живлення, проте мають нижчу точність порівняно з рідинними термометрами.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Електронні (цифрові) термометри використовують чутливі елементи, зокрема терморезистори або термопари, що забезпечують швидке вимірювання температури з високою точністю та відображення результатів на зручному дисплеї. Водночас такі прилади потребують електроживлення та є чутливими до впливу вологи.

Також застосовуються безконтактні інфрачервоні термометри, які визначають температуру за інтенсивністю інфрачервоного випромінювання об'єкта або повітря, забезпечуючи миттєвий результат. До їх недоліків належать залежність точності вимірювання від умов навколишнього середовища та відносно висока вартість.

Максимально-мінімальні термометри призначені для фіксації найвищих і найнижчих значень температури за певний проміжок часу. Вони широко використовуються у метеорології та кліматичних спостереженнях.

Найбільш поширеними є рідинні та електронні термометри, тоді як інфрачервоні та максимально-мінімальні застосовуються переважно для спеціалізованих задач залежно від умов експлуатації та вимог до вимірювання температури. У сучасних електронних системах широко використовуються резистивні температурні сенсори, термістори або напівпровідникові датчики, принцип роботи яких базується на зміні електричного опору матеріалу залежно від температури. Такі сенсори дозволяють виконувати високоточні вимірювання з автоматичною передачею даних до систем обробки інформації.

1.2.2 Вимірювання атмосферного тиску

Атмосферний тиск є важливою характеристикою стану атмосфери, яка використовується для прогнозування погодних змін. Основним приладом для його вимірювання є барометр [21-23] (рисунок 1.6).

У класичних метеорологічних станціях використовувалися ртутні барометри, принцип роботи яких базується на врівноваженні атмосферного тиску стовпом ртуті в скляній трубці. Такі прилади є еталонними та мають високу точність вимірювання. Проте є громіздкими та містять небезпечну рідину.

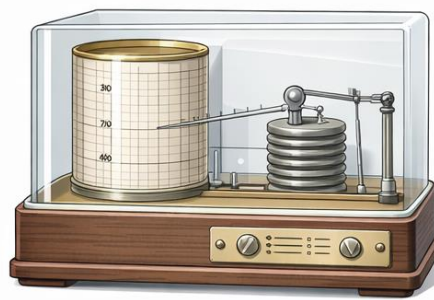
					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16



Ртутний
барометр



Анероїдний
барометр



Барограф



Електронний
барометр

Рисунок 1.6 – Прилади для вимірювання атмосферного тиску

Анероїдний барометр використовується металева герметична коробка (анероїд), яка деформується під дією тиску. Прилад є більш компактним та безпечним але характеризується меншою точністю вимірювання у порівнянні з ртутним.

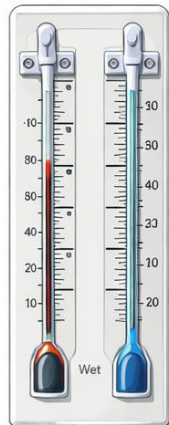
Принцип роботи електронного барометра базується на використанні датчиків тиску, наприклад тензорезистивних, ємнісних тощо, з цифровим відображенням результатів. Пристрої мають високу швидкість вимірювання, компактність, можливість інтеграції в системи, зокрема метеостанції, чи смартфони але потребують постійного живлення та чутливі до умов середовища.

Для точних вимірювань у наукових дослідженнях використовують ртутні барометри, тоді як у побуті та технічних системах частіше застосовуються анероїдні та електронні прилади. Барографи є незамінними для аналізу змін атмосферного тиску в часі.

У сучасних ІСМ застосовуються анероїдні барометри та цифрові барометричні сенсори, у яких вимірювання здійснюється на основі деформації чутливого елемента під дією атмосферного тиску. Отримані дані перетворюються у електричний сигнал, який обробляється мікроконтролером або іншою обчислювальною системою.

1.2.3 Вимірювання відносної вологості повітря

Вологість повітря характеризує вміст водяної пари в атмосфері і є важливим параметром для оцінки мікроклімату. Для її вимірювання застосовується спеціальний прилад гігрометр [21-23]. Існують різні типи гігрометрів, до основних належать психрометри, механічні гігрометри, цифрові вологоміри та електронні комбіновані сенсори. (рисунок 1.7).



Психрометр



Вологомір



Гігрометр



Електронний
гігрометр

Рисунок 1.7 – Типи гігрометрів

Психрометр є одним із класичних засобів вимірювання вологості і складається з двох термометрів - сухого та змоченого, за різницею показів яких визначають відносну вологість повітря за психрометричними таблицями. Такий метод характеризується достатньою точністю, проте потребує ручного обчислення результатів і стабільних умов вимірювання.

Механічні гігрометри працюють на основі зміни фізичних властивостей чутливого елемента під дією вологи, найчастіше за рахунок деформації волосини, органічної мембрани або іншого гігроскопічного матеріалу. Перевагою таких приладів є автономність роботи та простота конструкції, однак їх точність поступається сучасним електронним засобам контролю.

Цифрові вологоміри та електронні гігрометри забезпечують автоматичне вимірювання вологості шляхом аналізу зміни електричних параметрів сенсорного елемента - ємності, опору або напруги. Такі прилади часто мають

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

вбудований температурний сенсор, що дозволяє одночасно контролювати два основні метеорологічні параметри. Саме електронні сенсори є найбільш придатними для використання в автономних мікроконтролерних системах моніторингу завдяки компактності, низькому енергоспоживанню, швидкодії та можливості цифрової передачі даних.

У сучасних ІСМ застосовуються комбіновані цифрові сенсори, які можуть одночасно вимірювати температуру і відносну вологість.

1.2.4 Комплексні метеорологічні вимірювальні системи

На практиці окремі МП рідко вимірюються ізольовано. Зазвичай для моніторингу стану атмосфери використовуються метеорологічні станції, що являють собою комплекс вимірювальних приладів [22-24] для одночасного контролю та моніторингу за декількома параметрами середовища (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Узагальнена структура метеорологічної вимірювальної станції

До складу таких систем можуть входити:

- термометри для вимірювання температури;
- барометри для визначення атмосферного тиску;
- гігрометри для контролю вологості;
- анемометри для визначення швидкості вітру;

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

- флюгери для визначення напрямку вітру;
- опадоміри для вимірювання кількості опадів.

Сучасні автоматизовані метеостанції використовують електронні сенсори, що підключаються до мікроконтролерів або обчислювальних модулів. Це дозволяє реалізувати безперервний збір даних, їх збереження, передачу до мережесистем та подальший аналіз. Вимірювання МП здійснюється за допомогою різноманітних фізичних методів та вимірювальних приладів, що базуються на різних принципах перетворення фізичних величин у вимірювані сигнали. Розвиток електронних сенсорів та мікроконтролерних технологій сприяє створенню компактних ІСМ, які здатні забезпечувати високоточні вимірювання, обробку та передачу метеорологічної інформації в реальному часі.

1.3 Сучасні підходи до побудови інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища

Сучасний етап розвитку вимірювальної техніки характеризується активним впровадженням ІСМ, які базуються на принципах цифрової обробки сигналів та мікроконтролерному керуванні [17-19].

На відміну від традиційних станцій, такі системи поєднують у собі функції збору, аналізу та оперативного реагування на зміну параметрів середовища. ІСМ забезпечують отримання оперативної інформації про стан атмосферних параметрів, що мають важливе значення для екологічної безпеки, сільського господарства, промисловості та міської інфраструктури [25-27].

Основними концептуальними підходами до побудови ІСМ сьогодні є:

- Модульність та масштабованість. Використання відкритих мікроконтролерних платформ (наприклад, архітектури AVR, на якій базується Arduino) дозволяє створювати гнучкі системи. Це дає змогу легко інтегрувати різнотипні сенсори - від простих терморезисторів до складних цифрових барометричних та газоаналітичних модулів - без докорінної зміни архітектури пристрою.
- Інтелектуалізація обробки даних. Сучасна система не просто фіксує

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

фізичну величину, а виконує її первинну обробку: фільтрацію шумів, температурну компенсацію та порівняння з гранично допустимими значеннями. Наприклад, використання спеціалізованих бібліотек для датчиків тиску та вологості дозволяє отримувати вже скориговані дані, готові для використання в алгоритмах прийняття рішень.

– Багатопараметричність. Актуальним підходом є створення комплексних систем, що контролюють не лише стандартні метеопараметри (температуру, вологість, тиск), а й показники екологічної безпеки. Інтеграція напівпровідникових газових сенсорів у локальну метеостанцію дозволяє перетворити її на повноцінну систему контролю якості повітря, здатну виявляти чадний газ або інші летючі домішки.

– Енергоефективність та автономність. Завдяки використанню енергозберігаючих режимів роботи мікроконтролерів та сенсорів з низьким енергоспоживанням, системи стають придатними для тривалого моніторингу без частого обслуговування.

На рисунку 1.9 наведено узагальнену архітектуру навколишнього середовища, що передбачає послідовну організацію функціональних рівнів, кожен з яких виконує окрему задачу в процесі збору, передавання, обробки та аналізу інформації. Такий підхід забезпечує масштабованість системи, гнучкість інтеграції нових сенсорних вузлів та можливість реалізації інтелектуальних алгоритмів аналізу екологічних даних.

Первинний рівень формують сенсорні модулі, що забезпечують безперервне вимірювання фізичних параметрів середовища. Зібрані дані передаються до мікроконтролерного вузла, де здійснюється попередня обробка, після чого через комунікаційний модуль інформація надходить до бази даних або хмарної платформи. На аналітичному рівні виконуються фільтрація, агрегування та прогнозування параметрів, а інтелектуальний рівень реалізує алгоритми машинного навчання для виявлення аномалій, оцінювання тенденцій та формування рекомендацій.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

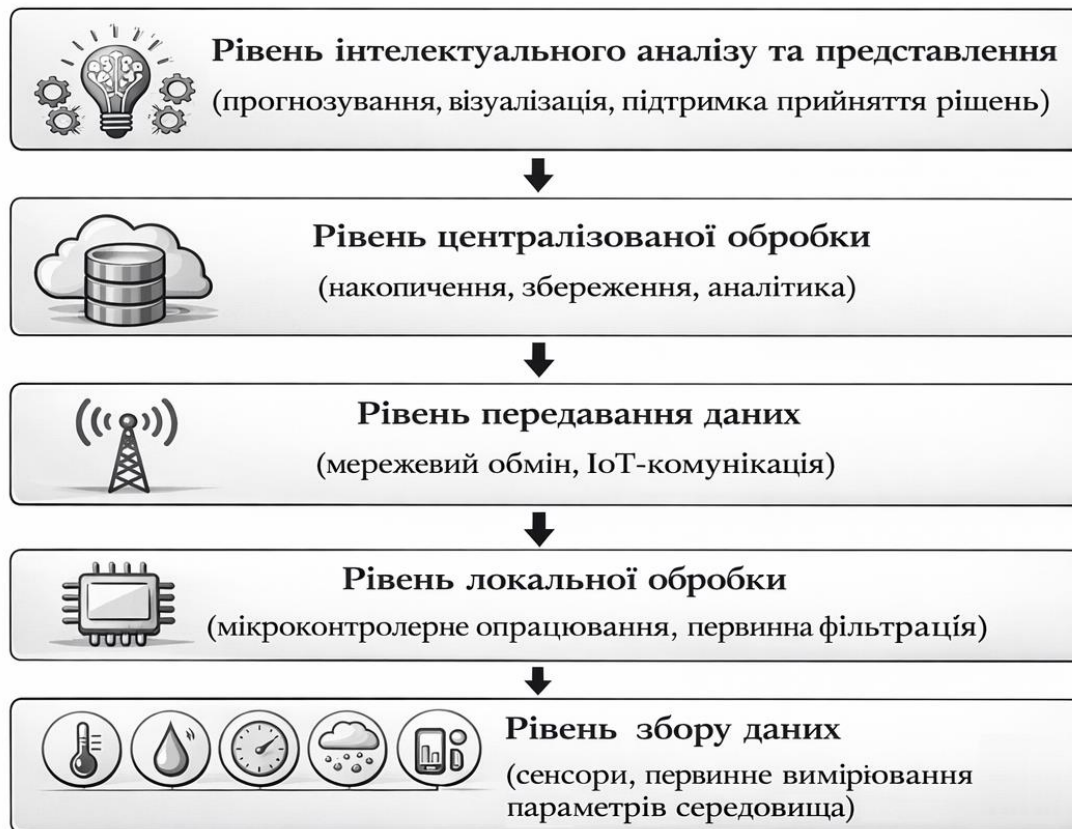


Рисунок 1.9 – Узагальнена архітектура ІСМ навколишнього середовища

Одним із ключових напрямів розвитку сучасних ІСМ є використання технології Інтернету речей (IoT) [18]. У таких системах сенсорні пристрої об'єднуються у мережу, що дозволяє здійснювати збір даних із великої кількості вимірювальних вузлів та передавати їх у централізовані інформаційні системи. Використання IoT-архітектури дає змогу здійснювати дистанційний контроль параметрів навколишнього середовища в режимі реального часу, що значно підвищує ефективність екологічного моніторингу та управління природними ресурсами.

У ІСМ широко застосовуються безпрвідні сенсорні мережі (БСМ). Вони представляють собою сукупність просторово розподілених сенсорних вузлів, які вимірюють фізичні параметри середовища та передають отримані дані до центрального вузла обробки. ІСМ можуть контролювати різноманітні показники, зокрема температуру, атмосферний тиск, вологість, рівень шуму або концентрацію забруднюючих речовин у повітрі. БСМ широко використовуються у системах екологічного контролю, промислового моніторингу та розумних міст.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

Важливою складовою сучасних ІСМ є використання мікроконтролерних платформ, які забезпечують збір, первинну обробку та передачу вимірювальної інформації. Мікроконтролери виконують функції керування сенсорами, обробки сигналів, збереження даних та взаємодії з комунікаційними модулями. У багатьох системах використовуються мікроконтролерні платформи, які дозволяють інтегрувати різноманітні датчики та реалізувати передачу даних через безпроводні мережі або інтернет-сервіси.

Сучасні підходи до побудови ІСМ також передбачають використання хмарних технологій та алгоритмів аналізу даних. Зібрана інформація передається на сервери або хмарні платформи, де здійснюється її збереження, статистична обробка та візуалізація. Завдяки цьому користувачі можуть отримувати інформацію про стан навколишнього середовища через веб-інтерфейси або мобільні додатки. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє прогнозувати зміни екологічних параметрів і виявляти потенційно небезпечні ситуації.

Окремим напрямом розвитку є створення розподілених сенсорних інфраструктур, у яких вимірювальні пристрої об'єднуються у масштабовані мережі для збору великого обсягу екологічних даних. Такі ІСМ можуть інтегрувати сенсорні мережі з обчислювальними ресурсами для обробки та аналізу інформації, що забезпечує ефективне управління даними та підтримку прийняття рішень у сфері екологічного моніторингу.

Проведений аналіз дозволяє визначити, що ІСМ це програмно-керований комплекс, який за рахунок компактності та низької собівартості може бути розгорнутий безпосередньо в місцях життєдіяльності людини. Саме такий підхід поєднує обчислювальну потужність мікроконтролерних платформ, цифрові сенсорні технології, БСМ та інформаційних сервісів. Інтеграція цих технологій дозволяє створювати ефективні системи збору та аналізу метеорологічних і екологічних параметрів, що забезпечує оперативне отримання інформації про стан довкілля та сприяє прийняттю обґрунтованих рішень.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

2. ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

2.1 Вимоги до проєктованої системи

Проєктування ІСМ передбачає формування комплексу вимог, які визначають функціональні можливості системи, технічні характеристики, програмну реалізацію, надійність роботи та перспективи подальшого розвитку. Сукупність таких вимог забезпечує побудову системи, здатної виконувати безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища в умовах локального використання.

До функціональних вимог належить забезпечення автоматизованого вимірювання основних параметрів мікроклімату, що характеризують стан навколишнього середовища. Проєктована система повинна здійснювати безперервне визначення МП з можливістю одночасного динамічного відображення результатів вимірювання.

Система повинна забезпечувати циклічне опитування сенсорних модулів, первинну обробку отриманих сигналів, формування результатів вимірювання у цифровому форматі та передачу даних до блоку індикації. Важливою функцією є реалізація контролю граничних значень концентрації чадного газу із формуванням аварійного сигналу при перевищенні допустимого порогу.

Окремою функціональною вимогою є підтримка часової прив'язки вимірювань, що забезпечується використанням модуля реального часу для відображення поточної дати та часу під час роботи системи.

Технічна реалізація проєктованої системи повинна базуватися на мікроконтролерній платформі, яка забезпечує достатню кількість входів і виходів для підключення сенсорних елементів, індикаторного модуля та виконавчих пристроїв. Центральний блок повинен забезпечувати сумісність із цифровими та аналоговими датчиками, підтримку шин I2C та можливість розширення периферії.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Діапазон вимірювання основних МП, що належить до технічних вимог забезпечення роботи системи наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Діапазони вимірювання МП

Параметр	Значення
Температура повітря	від 0 до +50 °С
Відносна вологість	від 20 до 90 %
Атмосферний тиск	від 30 до 110 кПа
Концентрація чадного газу	від 1 до 1000 ppm

Конструкція проектованої системи повинна забезпечувати компактність, енергоефективність та модульність, що дозволяє інтегрувати додаткові сенсорні вузли без суттєвої зміни базової архітектури.

Система повинна підтримувати два режими живлення:

- автономний режим від акумуляторного джерела;
- режим живлення від зовнішнього джерела через USB-інтерфейс.

Програмне забезпечення (ПЗ) проектованої системи повинно реалізовувати алгоритми ініціалізації сенсорів, циклічного опитування датчиків, обробки результатів вимірювання та відображення інформації на дисплеї та забезпечувати:

- синхронізацію роботи всіх сенсорних каналів;
- фільтрацію випадкових коливань вимірюваних параметрів;
- перетворення аналогових значень у фізичні одиниці;
- формування аварійних сигналів;
- керування режимами відображення даних.

Програмна архітектура повинна мати модульний принцип побудови, що забезпечує простоту супроводу та подальшої модернізації.

Проектована ІСМ повинна бути придатною до тривалої безперервної роботи в умовах житлових і виробничих приміщень. Експлуатація повинна здійснюватися без складного технічного обслуговування та спеціальної підготовки користувача.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

Важливою вимогою є стійкість роботи при зміні зовнішніх температурних умов, стабільність показів датчиків та мінімізація впливу випадкових електричних завад.

Інтерфейс користувача повинен бути простим, зрозумілим і забезпечувати швидке зчитування поточних параметрів.

Подальший розвиток системи повинен передбачати інтеграцію засобів бездротової передачі даних, підключення до IoT-сервісів, накопичення історичних даних та використання алгоритмів прогнозування змін метеорологічних параметрів.

Розширення функціоналу може включати:

- передавання даних у хмарні сервіси;
- віддалений доступ через веб-інтерфейс;
- автоматичне формування повідомлень про небезпечні зміни параметрів;
- застосування інтелектуального аналізу даних.

2.2 Розробка архітектури проектованої системи

Архітектура проектованої ICM МП формується з урахуванням необхідності безперервного вимірювання, аналізу та відображення інформації про стан навколишнього середовища (рисунок 2.1). Вибір архітектури системи визначається характером контрольованих параметрів, особливостями взаємодії сенсорних елементів, вимогами до точності вимірювання та можливістю подальшого функціонального розширення системи.

Основу проектованої системи становить багаторівнева архітектура, у якій кожен функціональний рівень виконує окремий етап обробки інформації. На нижньому рівні реалізується первинне вимірювання параметрів середовища за допомогою сенсорних модулів. До складу вимірювального рівня входять датчики, які забезпечують формування первинних електричних сигналів, пропорційних фізичним величинам середовища.

Наступний рівень архітектури включає блок локальної мікроконтролерної

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

обробки, який виконує функції опитування сенсорів, перетворення аналогових і цифрових сигналів, фільтрації вимірювальної інформації та формування кінцевих значень параметрів у цифровому форматі. Використання мікроконтролерної платформи дозволяє реалізувати централізоване керування всіма функціональними вузлами ІСМ, синхронізувати роботу вимірювальних каналів і забезпечити гнучкість реалізації ПЗ.

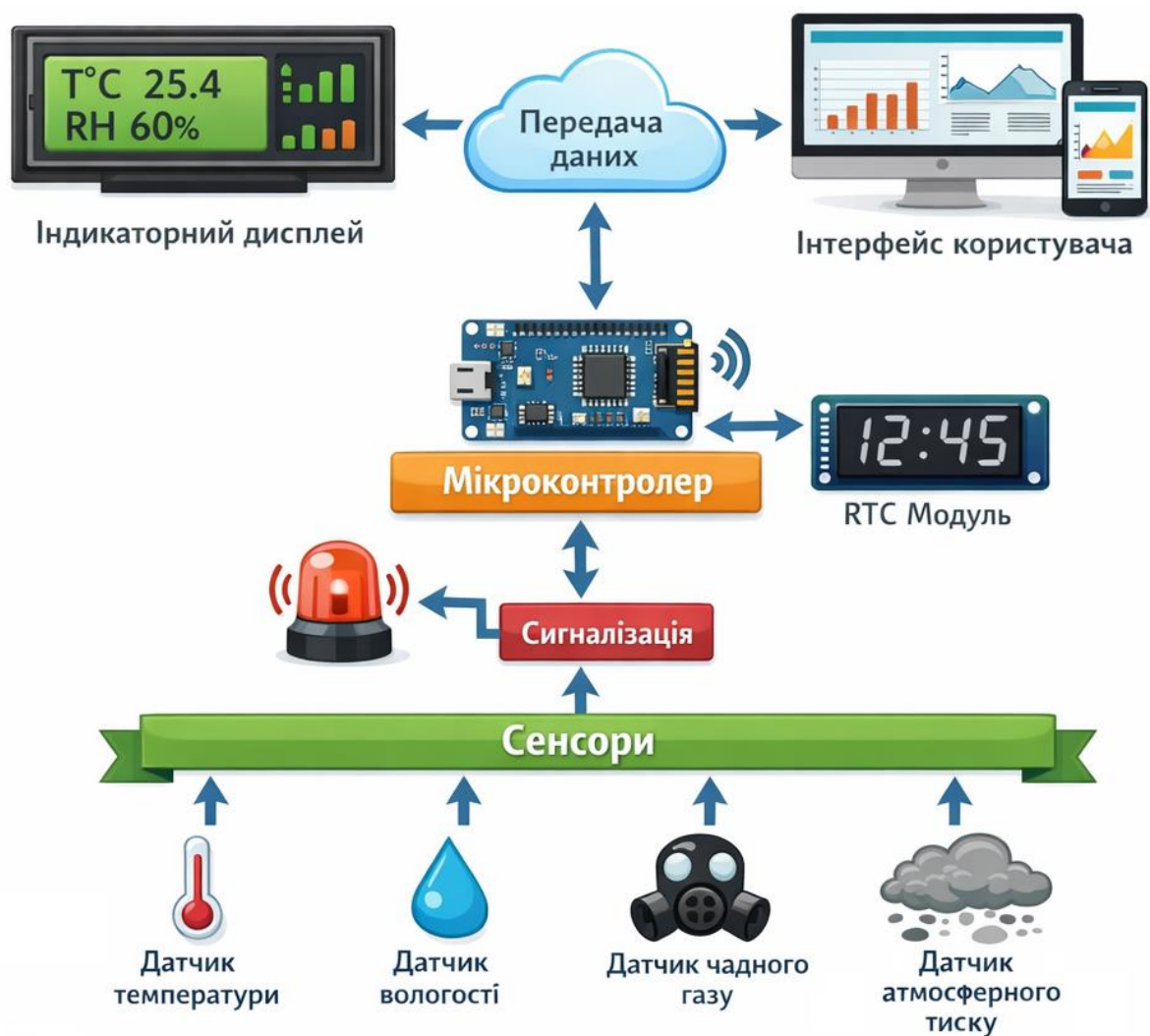


Рисунок 2.1 – Архітектура проєктованої системи

У архітектурі системи важливе місце займає рівень візуалізації та локального інтерфейсу користувача, який реалізується через індикаторний модуль. Він забезпечує синхронне відображення результатів вимірювання в та дозволяє користувачу оперативно контролювати поточний стан МП.

До архітектури також включено блок сигналізації, що виконує функцію аварійного оповіщення при перевищенні допустимих концентрацій чадного газу.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

Такий підхід дозволяє поєднати функції екологічного моніторингу з елементами системи безпеки.

Важливою складовою обраної архітектури є модуль часу реального часу, який забезпечує часову синхронізацію результатів вимірювання. Це дозволяє здійснювати часову прив'язку даних та формувати впорядкований потік спостережень.

Архітектура системи побудована за модульним принципом, що забезпечує можливість її масштабування. У подальшому до структури можуть бути додані бездротові канали передачі даних, хмарні сервіси збереження інформації, аналітичні модулі прогнозування та засоби віддаленого доступу.

Обрана архітектура дозволяє забезпечити оптимальне співвідношення між складністю реалізації, вартістю апаратної частини, енергоефективністю та функціональними можливостями системи. Такий підхід відповідає сучасним принципам побудови інтелектуальних МКС вимірювання та аналізу МП.

2.3 Обґрунтування вибору компонентів для реалізації системи

Проектування інтелектуальної МКС вимірювання та аналізу МП потребує обґрунтованого вибору апаратних компонентів, які забезпечують необхідну точність вимірювання, стабільність функціонування, низьке енергоспоживання та можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи. Вибір елементної бази визначається характером контрольованих фізичних величин, вимогами до швидкодії, сумісністю інтерфейсів та доступністю програмної реалізації.

Центральним елементом системи обрано мікроконтролерний модуль Arduino Nano, побудований на базі мікроконтролера ATmega328P [28]. Він реалізує функції збору, обробки, синхронізації та координації роботи всіх функціональних вузлів системи. Мікроконтролерний модуль (рисунок 2.2) побудований на 8-бітній AVR-архітектурі та працює з тактовою частотою до 16 МГц. Обсяг флеш-пам'яті становить 32 КБ, оперативної пам'яті SRAM - 2 КБ, енергонезалежної EEPROM - 1 КБ.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

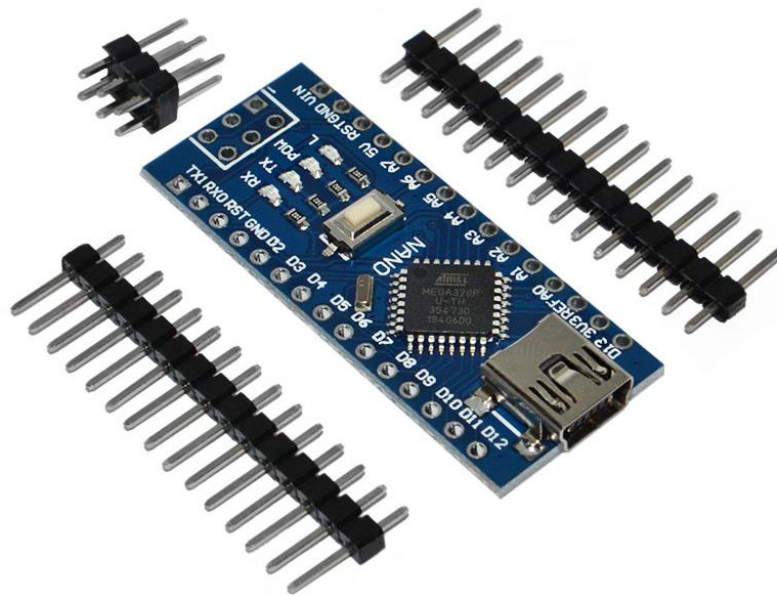


Рисунок 2.2 - Мікроконтролерний модуль Arduino Nano

Пристрій має 14 цифрових входів/виходів, 8 аналогових входів, підтримує інтерфейси UART, SPI, I²C, що забезпечує одночасне підключення декількох цифрових сенсорних модулів (рисунок 2.3).

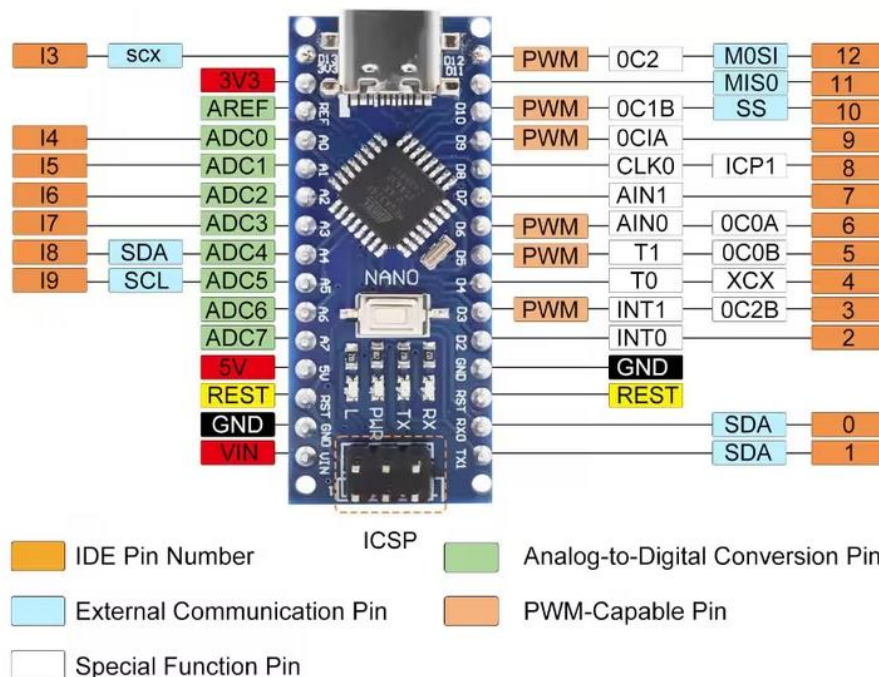


Рисунок 2.3 – Призначення виходів модуля на базі ATmega328P

Конструктивно модуль Arduino Nano передбачає кілька варіантів підключення живлення, через інтерфейс Mini-B USB, від зовнішнього

стабілізованого джерела напругою 5 В (вивід 27) або через вхід VIN (вивід 30) для нестабілізованої напруги в діапазоні 6–20 В. Система автоматично здійснює вибір джерела з найвищим потенціалом напруги, що підвищує надійність функціонування пристрою при комбінованому живленні

Вибір цього мікроконтролера зумовлений високою надійністю, широкою програмною підтримкою та простотою інтеграції в навчально-дослідницькі системи.

Для вимірювання температури та відносної вологості повітря обрано цифровий сенсор DHT11, який забезпечує одночасне визначення двох МП через однопровідний цифровий інтерфейс (рисунок 2.4) [29].

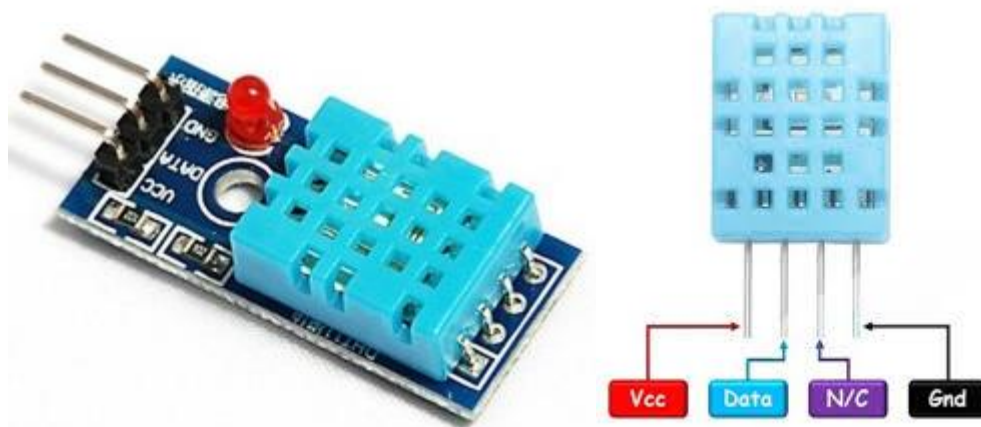


Рисунок 2.4 – Модуль вимірювання температури та вологості

Діапазон вимірювання температури становить від 0 до +50 °С при похибці ± 2 °С, а діапазон вимірювання відносної вологості — від 20 до 90 % при похибці ± 5 %. Частота оновлення даних складає 1 Гц, що є достатнім для моніторингу повільнозмінних атмосферних параметрів. Напруга живлення сенсора становить 3,3–5 В, споживаний струм не перевищує 2,5 мА. Перевагою даного сенсора є простота підключення, мінімальна кількість

Використання цього датчика обумовлено простотою інтеграції, мінімальною кількістю ліній підключення, наявністю цифрового виходу без потреби додаткового аналого-цифрового перетворення, а також стабільністю показників при тривалій роботі. Сенсор формує цифровий сигнал, що зменшує вплив аналогових перешкод і спрощує програмну обробку результатів.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

Для контролю атмосферного тиску обрано цифровий барометричний сенсор BMP180 (рисунок 2.5), принцип роботи якого базується на п'єзорезистивному перетворенні тиску в електричний сигнал із подальшою цифровою компенсацією похибок [29].

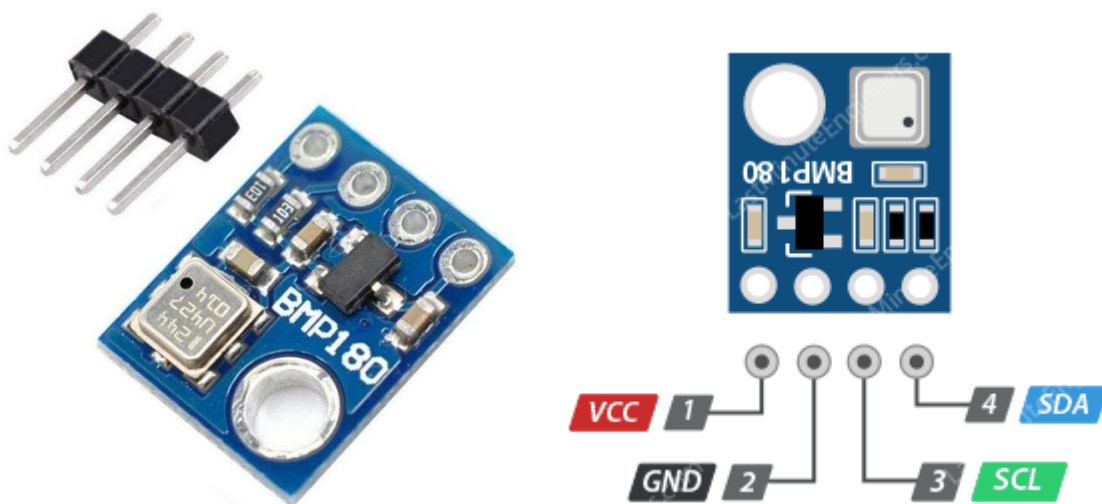


Рисунок 2.5 - Модуль контролю тиску

Робочий діапазон вимірювання атмосферного тиску становить від 300 до 1100 гПа, що охоплює повний діапазон природних атмосферних коливань. Абсолютна похибка вимірювання не перевищує ± 1 гПа, а роздільна здатність становить 0,01 гПа. Сенсор працює через інтерфейс I²C, що спрощує його інтеграцію в цифрову мікроконтролерну систему. Напруга живлення складає 1,8–3,6 В, а споживання струму у режимі активного вимірювання не перевищує 5 мкА. Використання BMP180 дозволяє отримувати стабільні значення атмосферного тиску з високою чутливістю до погодних змін.

Перевагою цього компонента є висока чутливість до змін атмосферного тиску, мале енергоспоживання та використання стандартного інтерфейсу, що дозволяє підключати його до мікроконтролера без значного ускладнення структури системи. Додатково датчик дозволяє оцінювати тенденції зміни погодних умов за динамікою тиску.

Для визначення концентрації чадного газу у повітрі використано напівпровідниковий газовий сенсор MQ-7, який спеціалізований на виявленні оксиду вуглецю (рисунок 2.6). Принцип дії сенсора базується на зміні електричного опору напівпровідникового шару залежно від концентрації газу.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

що дозволяє реалізувати контроль потенційно небезпечних екологічних параметрів. [29].

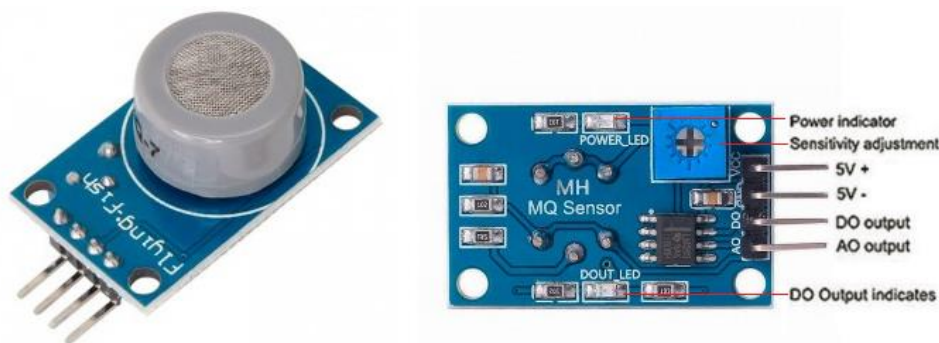


Рисунок 2.6 – Модуль визначення концентрації чадного газу

Діапазон вимірювання концентрації CO становить від 20 до 2000 ppm, що дозволяє контролювати як фонові, так і потенційно небезпечні рівні забруднення повітря. Сенсор працює при напрузі живлення 5 В, має вбудований нагрівальний елемент із споживанням близько 150 мА. Час прогріву перед стабільною роботою становить приблизно 60 с. Вихідний сигнал формується в аналоговому вигляді, що потребує використання аналого-цифрового каналу мікроконтролера. Перевагою MQ-7 є висока чутливість саме до CO та можливість використання в системах екологічного і побутового моніторингу.

Вибір даного модуля зумовлений високою чутливістю до CO, доступністю та простотою використання у складі МКС.

Для забезпечення часової синхронізації вимірювань у проєктованій системі використано модуль реального часу RTC1307 (рисунок 2.7), який виконує функцію збереження поточного часу та календарних даних незалежно від режиму роботи основного контролера. Даний модуль працює через інтерфейс I²C, підтримує збереження секунд, хвилин, годин, дня тижня, дати, місяця та року. Напруга живлення модуля становить 5 В, а резервне живлення від батареї дозволяє зберігати часові параметри при вимкненні основного живлення системи [30].

Точність годинника забезпечується кварцовим резонатором частотою 32,768 кГц. Використання RTC1307 дозволяє здійснювати часову прив'язку результатів вимірювань та формувати впорядковані часові ряди спостережень.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

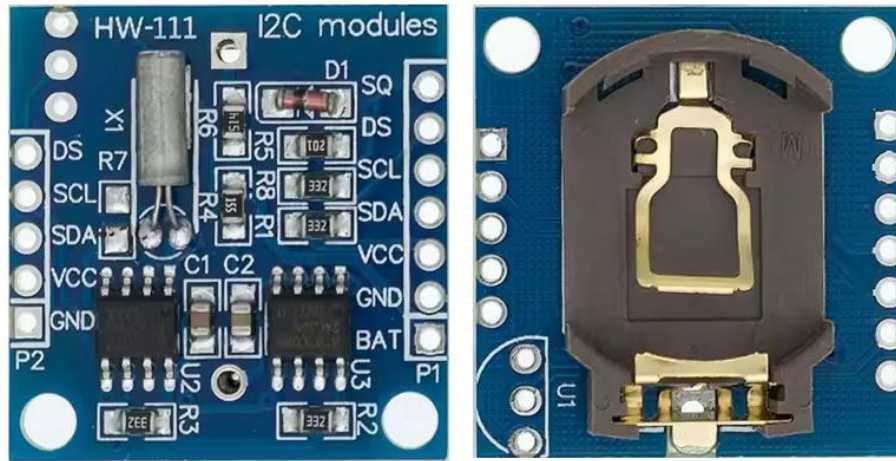


Рисунок 2.7 – Модуль годинника реального часу

Використання даного модуля часу дозволяє формувати часову прив'язку результатів вимірювань, що є важливим при накопиченні статистики, аналізі тенденцій та побудові часових рядів екологічних спостережень.

Для відображення результатів вимірювання у проєктованій системі використано рідкокристалічний індикаторний модуль LCD 1602A [31], який забезпечує виведення поточних значень МП. Використання локального інтерфейсу відображення дозволяє забезпечити автономну роботу системи без необхідності підключення зовнішніх обчислювальних пристроїв, що підвищує зручність експлуатації та оперативність контролю метеорологічних параметрів.

Рідкокристалічний дисплей LCD 1602A (рисунок 2.8) побудований на основі технології рідких кристалів і призначений для символного відображення текстової інформації. Модуль дозволяє виводити дані у форматі 2 рядки по 16 символів, що є достатнім для одночасного представлення декількох контрольованих параметрів. Перевагою даного дисплея є простота підключення до мікроконтролерних платформ, наявність стандартного контролера HD44780, а також широка підтримка програмних бібліотек у середовищі Arduino.

До основних технічних характеристик модуля належать наступні: напруга живлення 5 В, формат відображення 16×2 символи, розмір символу 4,35 × 2,95 мм, габаритні розміри модуля 80 × 36 мм, а також наявність вбудованого світлодіодного підсвічування, що забезпечує читабельність інформації при різному рівні освітлення. Інтерфейс керування реалізується через паралельний

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

режим передачі даних або через I²C-адаптер, що дозволяє зменшити кількість задіяних ліній мікроконтролера.

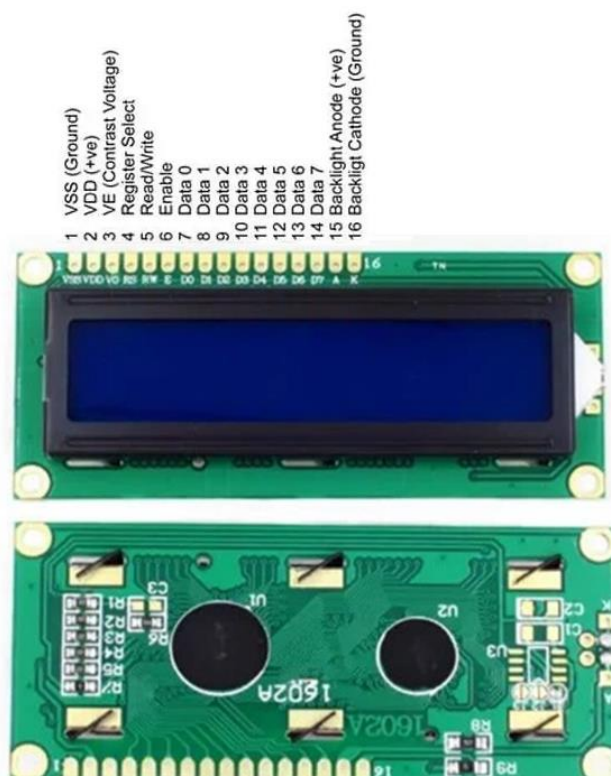


Рисунок 2.8 – Модуль індикації

Контактна група модуля включає лінії живлення, керування контрастністю, вибору режимів запису та читання, а також інформаційні лінії передачі даних. Наявність стандартного інтерфейсу дозволяє інтегрувати дисплей до складу системи без ускладнення апаратної структури.

Використання LCD 1602A у складі інтелектуальної мікроконтролерної системи забезпечує візуалізацію вимірювальної інформації безпосередньо у місці встановлення системи, що підвищує автономність функціонування та дозволяє оперативно контролювати поточний стан параметрів навколишнього середовища.

Для реалізації функції аварійного оповіщення у складі проєктованої системи використано звуковий сигналізатор типу buzzer, який забезпечує формування акустичного сигналу при перевищенні допустимого рівня концентрації чадного газу в повітрі (рисунок 2.9). Використання звукової сигналізації дозволяє оперативно інформувати користувача про виникнення

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

небезпечної ситуації навіть без постійного візуального контролю індикаторного модуля.

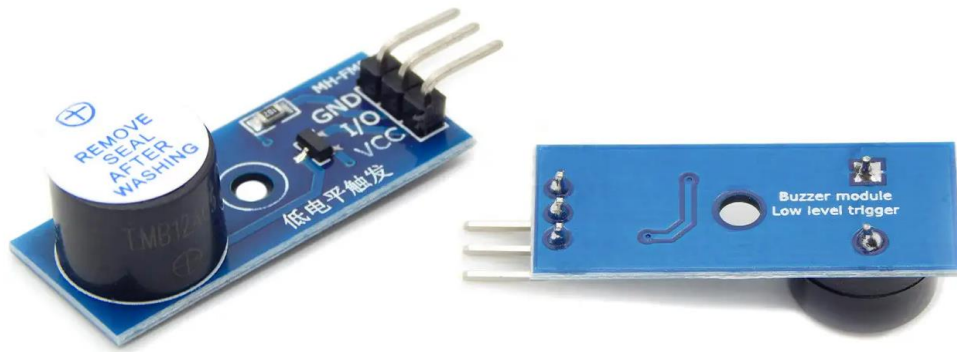


Рисунок 2.9 – Модуль звукового сигналізатора

У системі застосовано активний п'єзоелектричний бузер, який працює при напрузі живлення 5 В і не потребує формування зовнішнього генератора частоти, оскільки має вбудований генератор звукового сигналу. Основною перевагою такого рішення є простота підключення до цифрового виходу мікроконтролера та низьке енергоспоживання [32].

Через обмеження струму вихідних ліній мікроконтролера керування бузером реалізовано через MOSFET-транзистор, що дозволяє забезпечити стабільну роботу сигналізатора та підвищити надійність комутації.

Основні технічні характеристики звукового сигналізатора: напруга живлення 3–5 В, струм споживання до 30 мА, частота звукового сигналу 2–4 кГц, рівень звукового тиску до 85 дБ.

Модуль звуковою сигналізатора дозволяє реалізувати додаткову функцію безпеки, що розширює прикладні можливості проєктованої системи та підвищує її практичну цінність.

Для керування звуковим сигналізатором у проєктованій системі використано транзисторний ключ на основі MOSFET-транзистора IRLML2402, який забезпечує комутацію навантаження між мікроконтролером та бузером. Необхідність його застосування обумовлена обмеженням допустимого струму вихідних ліній мікроконтролера ATmega328P, який не повинен перевищувати допустимі значення навантаження цифрових портів. Компонент- дозволяє здійснювати керування звуковим сигналізатором за допомогою цифрового

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

логічного сигналу низької потужності, при цьому основний струм навантаження проходить через силовий канал транзистора. Це забезпечує стабільну роботу сигналізатора, знижує теплове навантаження на мікроконтролер та підвищує надійність роботи системи.

Застосування транзистора IRLML2402 є доцільним завдяки його низькій напрузі відкриття затвора, що дозволяє безпосередньо керувати ним від логічного рівня 5 В, сформованого мікроконтролером. Додатковий резистор у колі затвора використовується для стабілізації режиму комутації та обмеження імпульсного струму керування.

Для забезпечення автономного живлення проєктованої системи використано модуль заряджання літій-іонного акумулятора на базі мікросхеми TP4056 (рисунок 2.10), який забезпечує контроль процесу заряджання акумуляторної батареї та захист елемента живлення від аварійних режимів роботи [29].

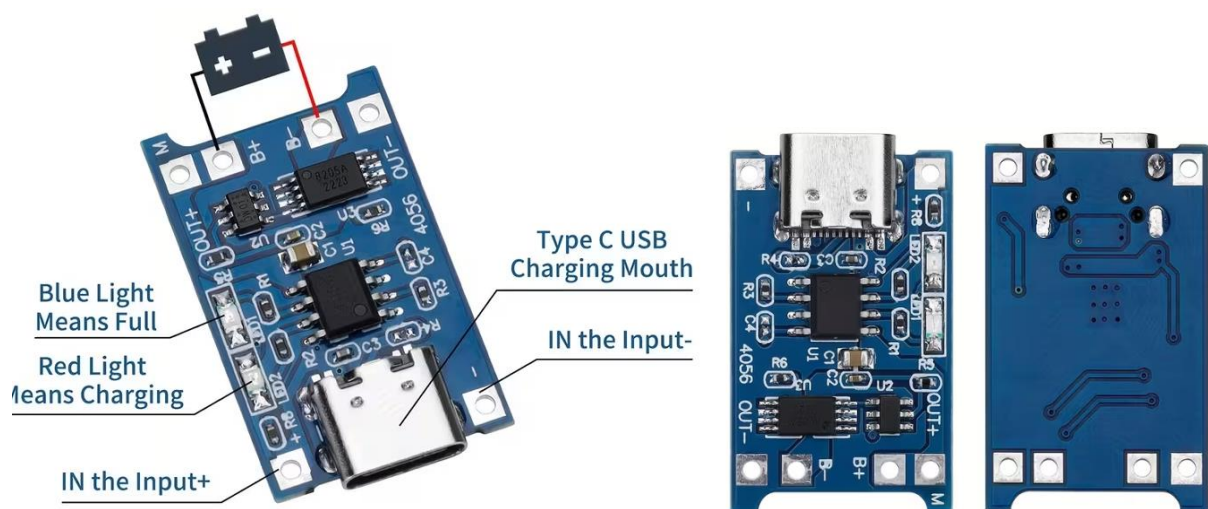


Рисунок 2.10 – Модуль контролю заряду акумуляторів

Модуль призначений для заряджання одноканальних літій-іонних акумуляторів із номінальною напругою 3,7 В та реалізує алгоритм заряджання за методом стабілізації струму і напруги. Максимальний струм заряджання становить 1 А, а напруга повного заряду - 4,2 В.

Особливістю модуля є наявність вбудованого захисту від перезаряду, глибокого розряду, перевантаження по струму та короткого замикання, що

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

реалізовано за допомогою мікросхем DW01 та 8205A. Живлення модуля здійснюється через роз'єм MicroUSB, що дозволяє використовувати стандартні USB-джерела живлення.

Застосування TP4056 забезпечує можливість автономної експлуатації системи моніторингу МП та підвищує мобільність розробленого пристрою.

Обрана елементна база забезпечує оптимальне співвідношення між технічними характеристиками, вартістю реалізації та функціональними можливостями проєктованої системи. Сукупність використаних компонентів формує апаратну платформу, придатну для реалізації інтелектуального моніторингу метеорологічних параметрів у режимі реального часу.

2.4 Розробка принципової схеми проєктованої системи

Основу контролерного блоку проєктованої системи становить мікроконтролер ATmega328P (рисунк 2.11), який забезпечує централізоване керування процесами збору, обробки та передачі вимірювальної інформації.

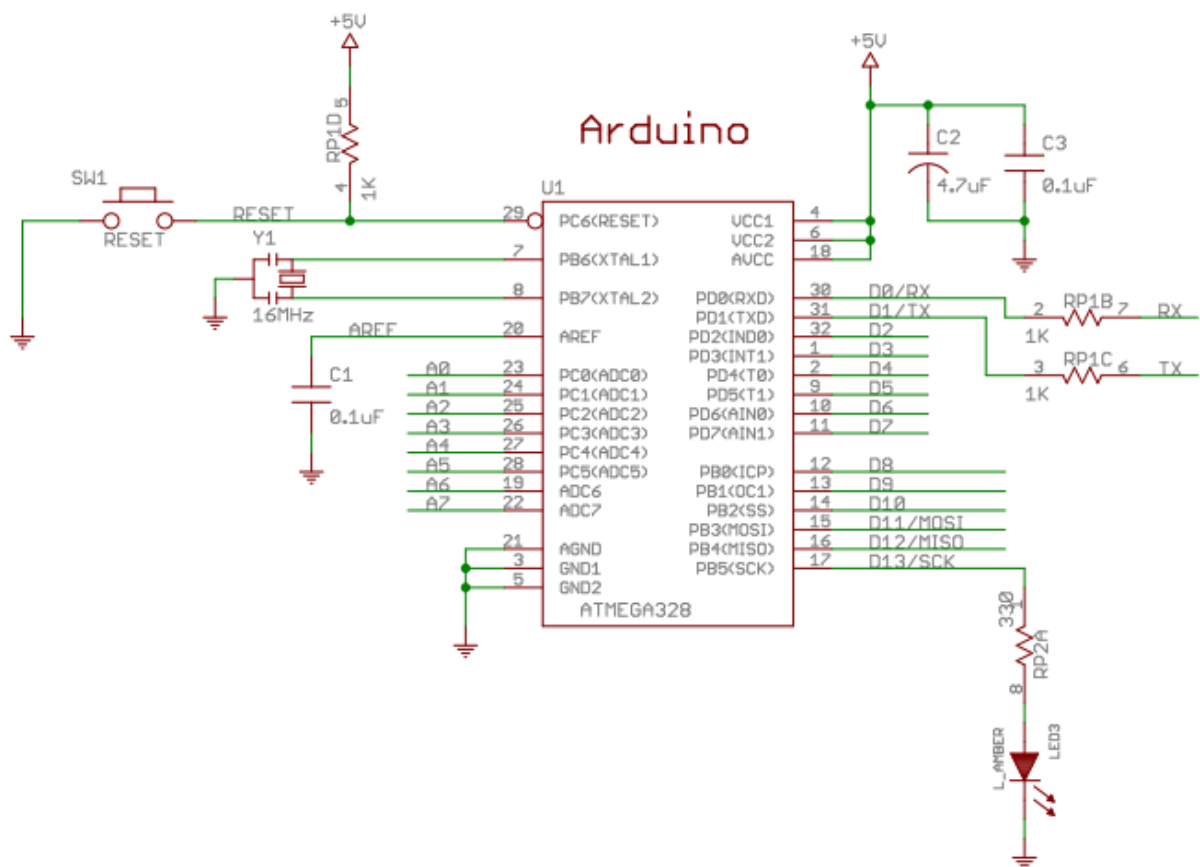


Рисунок 2.11 - Схема мікроконтролерного блоку на базі ATmega328P

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера у схемі використано кварцовий резонатор частотою 16 МГц, який формує тактову частоту виконання програмних команд. До виводів генератора підключено зовнішній кварцовий елемент, що забезпечує стабільність часових параметрів функціонування системи.

Ланцюг скидання реалізовано за допомогою кнопки RESET та підтягувального резистора до шини живлення, що дозволяє виконувати апаратне перезавантаження мікроконтролера у разі необхідності.

Для стабілізації живлення використано фільтруючі конденсатори, підключені між шиною живлення та загальною шиною, що знижує рівень імпульсних завад та підвищує стабільність роботи цифрової частини системи.

Окремі виводи мікроконтролера призначені для підключення зовнішніх функціональних модулів системи, зокрема сенсорів, індикатора, модуля часу реального часу та сигналізаційного вузла.

В таблиці 2.2 наведено основні елементи мікропроцесорного модуля.

Таблиця 2.2 – Елементи мікропроцесорного модуля

Позначення	Елемент	Призначення
U1	ATmega328P	центральний мікроконтролер
Y1	кварцовий резонатор 16 МГц	тактування
SW1	кнопка RESET	скидання
C1	конденсатор 0.1 мкФ	фільтрація
C2	конденсатор 4.7 мкФ	стабілізація живлення
C3	конденсатор 0.1 мкФ	фільтрація
RP1	резистори 1 кОм	захист ліній UART
RP2	резистор 330 Ом	обмеження струму LED

На рисунку 2.12 наведено принципову електричну схему проєктованої інтелектуальної СКМ вимірювання та аналізу МП.

Принцип роботи проєктованої системи базується на безперервному циклі збору, обробки та відображення інформації про параметри навколишнього середовища. Первинне формування вимірювальних сигналів здійснюється сенсорними модулями, підключеними до мікроконтролерної платформи Arduino Nano, яка виконує функції центрального обчислювального вузла системи. Контролер виконує функції опитування сенсорних модулів, обробки вимірювальної інформації, формування команд керування периферійними вузлами та організації інтерфейсу взаємодії з користувачем

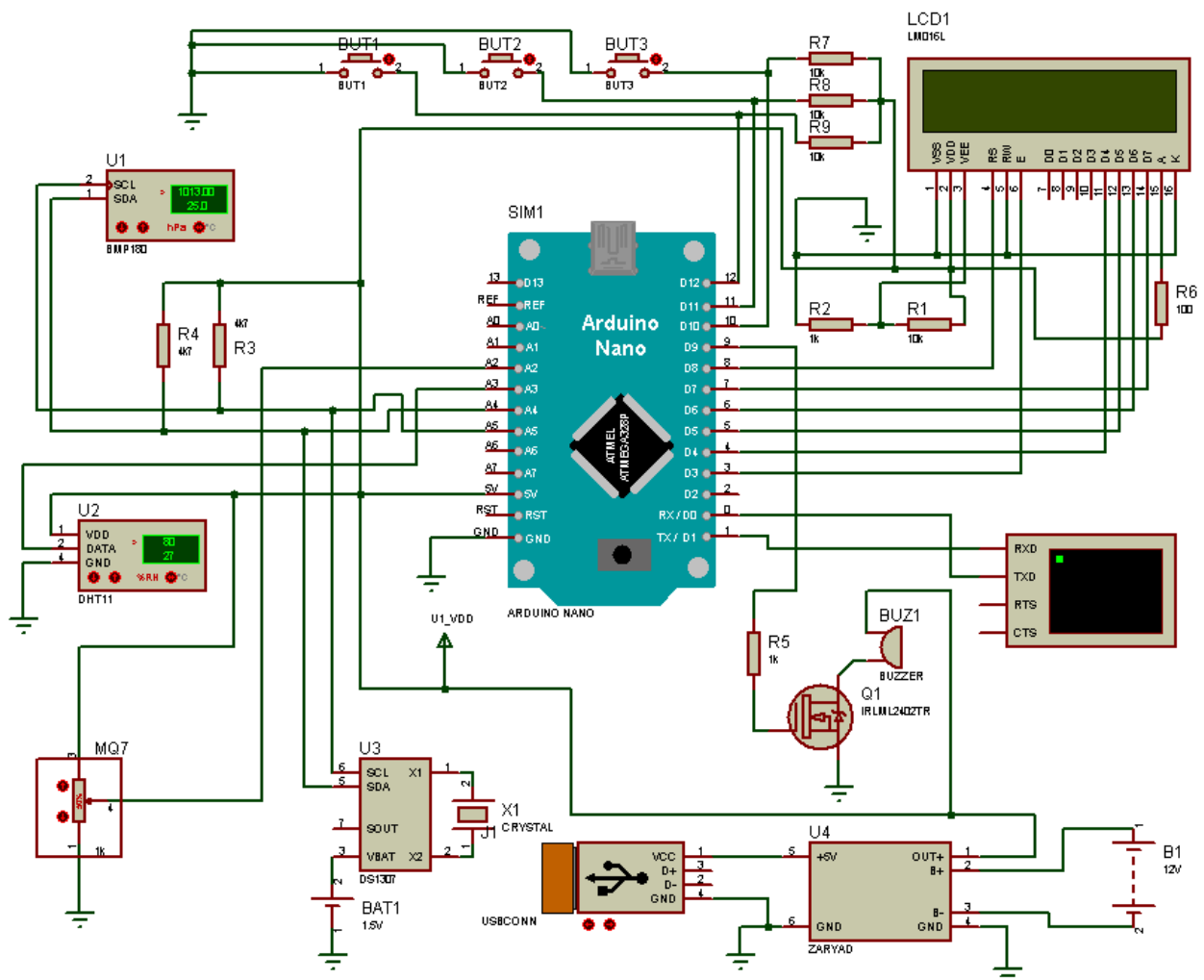


Рисунок 2.12 - Принципова схема інтелектуальної МКС моніторингу МП

Перелік елементів принципової електричної схеми системи згруповано за функціональним призначенням (таблиці 2.3 – 2.6), що дозволяє відобразити логіку побудови апаратної частини проєктованої інтелектуальної СКМ моніторингу МП.

Такий підхід спрощує аналіз взаємодії окремих вузлів системи та подальше пояснення принципу її роботи.

Таблиця 2.3 – Перелік елементів сенсорного модуля

Позначення	Компонент	Функція
U1	BMP180	Вимірювання атмосферного тиску
U2	DHT11	Вимірювання температури та відносної вологості повітря
MQ7	MQ7 Gas Sensor	Вимірювання концентрації чадного газу (CO)
U3	DS1307	Формування часової прив'язки вимірювань

Датчик DHT11 формує цифровий сигнал, що містить значення температури та відносної вологості повітря, який надходить до одного з цифрових входів мікроконтролера. Датчик BMP180 передає інформацію про атмосферний тиск через інтерфейс I²C, використовуючи лінії синхронізації та обміну даними. Газовий сенсор MQ7 формує аналоговий сигнал, пропорційний концентрації чадного газу, який подається на аналоговий вхід мікроконтролера для подальшого аналого-цифрового перетворення.

Таблиця 2.4 – Перелік елементів інтерфейс відображення та сигналізації

Позначення	Компонент	Функція
LCD1	LCD1602	Відображення параметрів середовища
BUZ1	Active Buzzer 5V	Аварійне звукове оповіщення
Q1	IRLML2402 MOSFET	Керування звуковим сигналізатором

Модуль реального часу DS1307 забезпечує формування часової прив'язки вимірювань і передає поточні значення часу до мікроконтролера через спільну шину I²C. Отримані сигнали обробляються програмними засобами мікроконтролера, після чого результати вимірювання відображаються на

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

рідкокристалічному індикаторі LCD1602.

У разі перевищення встановленого порогового значення концентрації чадного газу мікроконтролер формує керуючий сигнал на затвор MOSFET-транзистора IRLML2402, який відкриває силовий канал і вмикає звуковий сигналізатор buzzer, реалізуючи функцію аварійного оповіщення.

Таблиця 2.5 – Перелік елементів контролерного блоку

Позначення	Компонент	Функція
SIM1	Arduino Nano (ATmega328P)	Централізована обробка сигналів та керування системою
X1	Quartz Crystal 32.768 kHz	Тактування модуля DS1307
BAT1	CR2032 3V	Резервне живлення модуля часу реального часу
BUT1– BUT3	Tact Switch	Керування режимами роботи системи

Проектована система передбачає можливість функціонування у двох режимах живлення: автономному та стаціонарному. В автономному режимі живлення здійснюється від літій-іонного акумулятора типу Li-Ion 18650 з номінальною напругою 3,7 В, що забезпечує мобільність та незалежність роботи пристрою від зовнішніх джерел енергії.

Таблиця 2.6 – Перелік елементів блоку живлення та допоміжних елементів

Позначення	Компонент	Функція
U4	TP4056	Заряджання Li-Ion акумулятора
B1	Li-Ion 3.7V	Автономне живлення системи
R1–R9	Резистори	Формування режимів роботи та підтягування сигналів
USBCONN	MicroUSB	Підключення зовнішнього живлення

У стаціонарному режимі живлення системи здійснюється від зовнішнього джерела постійної напруги через інтерфейс MicroUSB, підключений до модуля заряджання TP4056. При цьому модуль виконує одночасно функції заряджання акумулятора та живлення системи.

Для узгодження рівнів напруги між акумулятором і робочими вузлами системи використано підвищувальний перетворювач постійної напруги, який формує стабілізовану напругу 5 В, необхідну для живлення мікроконтролера, індикатора та сенсорних модулів.

.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1 Розробка друкованої плати

Розроблена друкована плата забезпечує компактне розміщення елементної бази, мінімізацію довжини сигнальних з'єднань та зручність монтажу всіх функціональних модулів системи. На рисунках 3.1-3.3 наведено результати розробки друкованої плати системи.

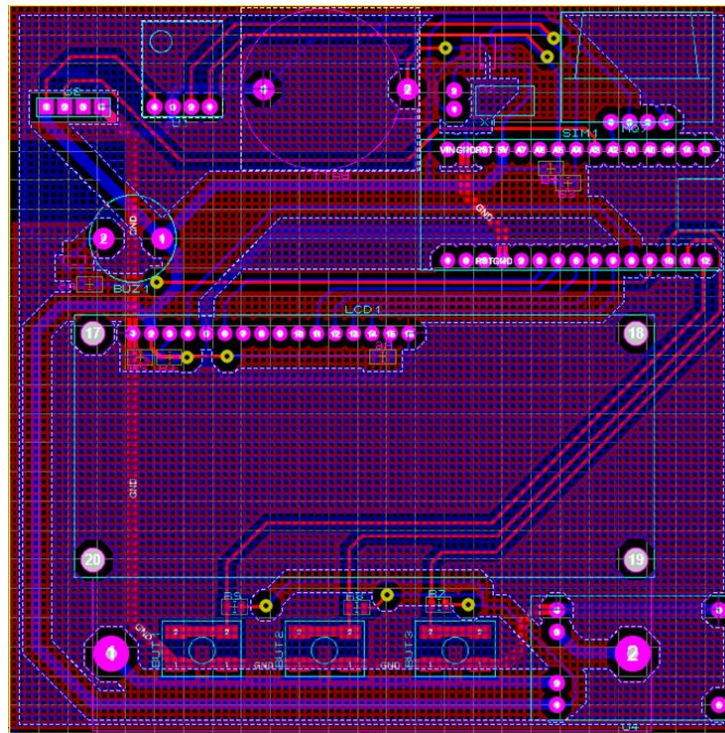


Рисунок 3.1 – Макет друкованої плати

Виконано трасування друкованої плати системи, у ході якого сформовано топологію провідникових доріжок між усіма функціональними вузлами пристрою. На етапі трасування визначалися оптимальні маршрути з'єднання електричних кіл з урахуванням мінімізації довжини сигнальних ліній, зменшення паразитних наведень та забезпечення надійного підключення елементів живлення, мікроконтролера і сенсорних модулів. Особливу увагу приділено розведенню шин живлення +5 В і загального проводу, оскільки стабільність живлення безпосередньо впливає на точність вимірювання

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

метеорологічних параметрів.

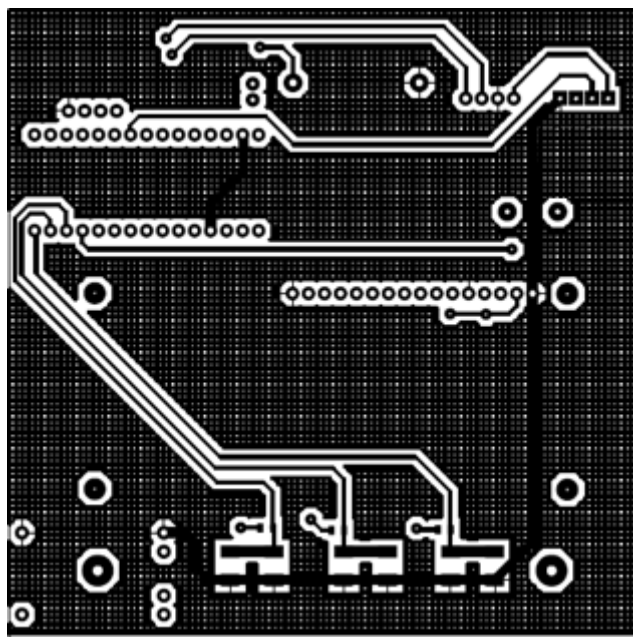


Рисунок 3.2 - Розведення провідникових доріжок нижнього шару плати

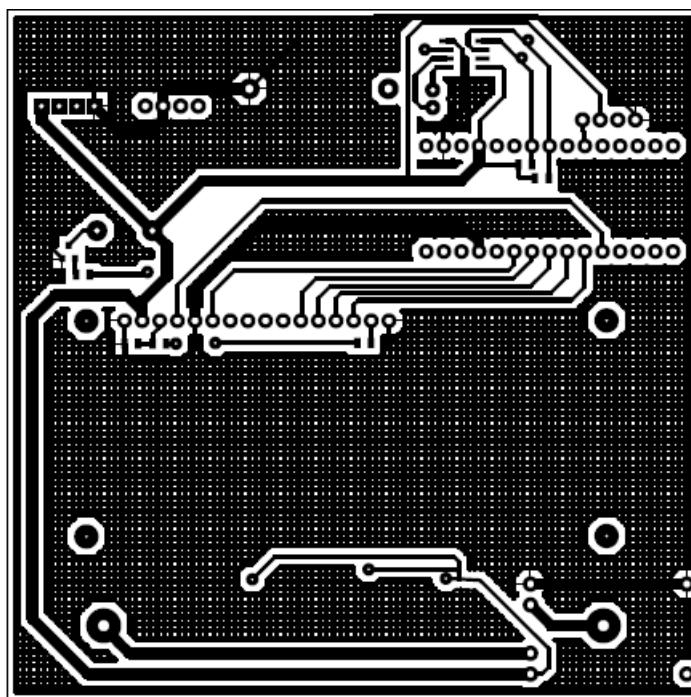


Рисунок 3.3 – Розведення провідникових доріжок верхнього шару плати

Трасування виконано з урахуванням технологічних вимог до виготовлення друкованої плати, зокрема ширина струмопровідних доріжок вибрана достатньою для пропускання робочих струмів без перегріву, а міжпровідникові відстані забезпечують електричну ізоляцію сусідніх ліній. Для ланцюгів

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

керування дисплеєм і цифровими сенсорами використано короткі прямолінійні маршрути, що знижує вплив перешкод на цифровий обмін даними.

Після завершення трасування сформовано остаточний вигляд друкованої плати, який містить монтажні отвори, контактні площадки для встановлення компонентів та маркування основних функціональних елементів системи. Отримана топологія забезпечує можливість подальшого виготовлення плати методом хімічного травлення або фрезерування.

3.2 Розробка алгоритму функціонування системи

Алгоритм функціонування інтелектуальної мікроконтролерної системи вимірювання та аналізу метеорологічних параметрів побудовано за циклічним принципом безперервного опитування сенсорних модулів, цифрової обробки вимірювальної інформації, аналізу отриманих результатів та формування керуючих дій для засобів індикації і сигналізації.

Після подачі живлення на систему відбувається ініціалізація центрального мікроконтролера ATmega328P, конфігурація цифрових та аналогових входів-виходів, запуск внутрішніх програмних бібліотек взаємодії з периферійними модулями, а також перевірка доступності підключених сенсорів. На початковому етапі здійснюється встановлення зв'язку з датчиком температури та вологості DHT11, барометричним сенсором BMP180, модулем реального часу DS1307 та газовим сенсором MQ7.

Після завершення ініціалізації система переходить у режим циклічного вимірювання параметрів навколишнього середовища. На першому етапі циклу виконується зчитування температури повітря та відносної вологості за допомогою сенсора DHT11. Отримані цифрові значення проходять перевірку коректності та перетворюються у формат, придатний для подальшого відображення.

Наступним етапом алгоритму є зчитування атмосферного тиску з датчика BMP180 через інтерфейс I²C. Мікроконтролер виконує опитування сенсора, отримує цифрові значення тиску та здійснює внутрішню компенсацію

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вимірювань відповідно до калібрувальних коефіцієнтів, закладених у сенсорі.

Паралельно з основними метеорологічними параметрами здійснюється опитування модуля реального часу DS1307, який передає поточні значення дати та часу. Це дозволяє формувати часову прив'язку вимірювальних результатів та відображати часову інформацію на індикаторному модулі.

Окремим етапом алгоритму є контроль концентрації чадного газу. Газовий сенсор MQ7 формує аналоговий сигнал, який надходить на аналоговий вхід мікроконтролера. Після аналого-цифрового перетворення значення концентрації СО порівнюється із встановленим пороговим значенням безпечної концентрації, яке в системі прийнято на рівні 50 ppm.

У стандартному режимі роботи на рідкокристалічному дисплеї LCD1602A відображаються основні метеорологічні параметри: температура повітря, відносна вологість, атмосферний тиск, дата та поточний час.

Температура відображається у градусах Цельсія (°C), вологість у відсотках (%), атмосферний тиск у міліметрах ртутного стовпчика (mmHg). Дата формується у форматі день/місяць/рік, а час відображається у 24-годинному форматі.

На рисунку 3.4 представлено зовнішній вигляд зібраного макета системи у стартовому режимі після ініціалізації в режимі відображення поточних значень параметрів мікроклімату.

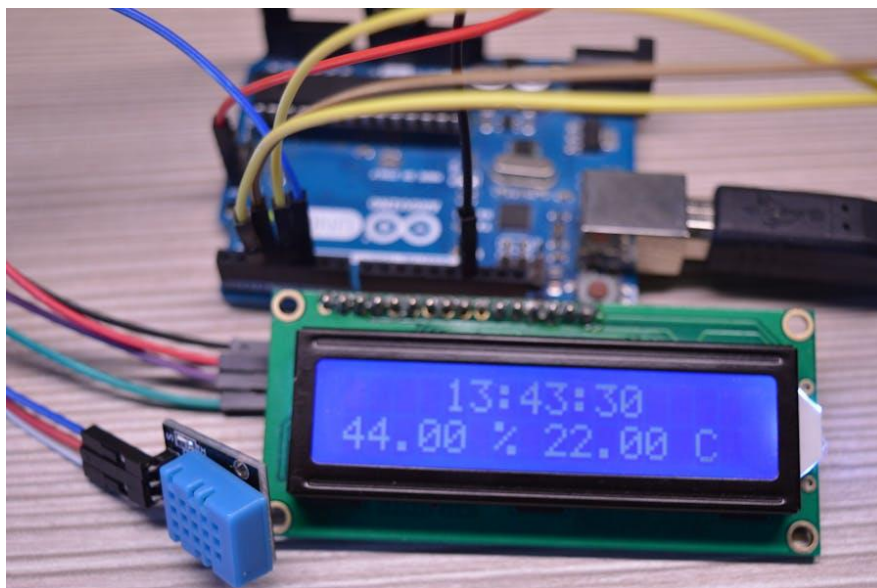


Рисунок 3.4 - Загальний вигляд індикації системи після запуску

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

Перемикання режимів відображення реалізовано за допомогою кнопок керування. При натисканні кнопки основний інформаційний режим тимчасово замінюється і система переходить у режим контролю концентрації чадного газу, при якому основні МП тимчасово замінюються на значення концентрації СО, яке відображається в одиницях ppm.

Алгоритм роботи проєктованої системи наведений на рисунку 3.5.

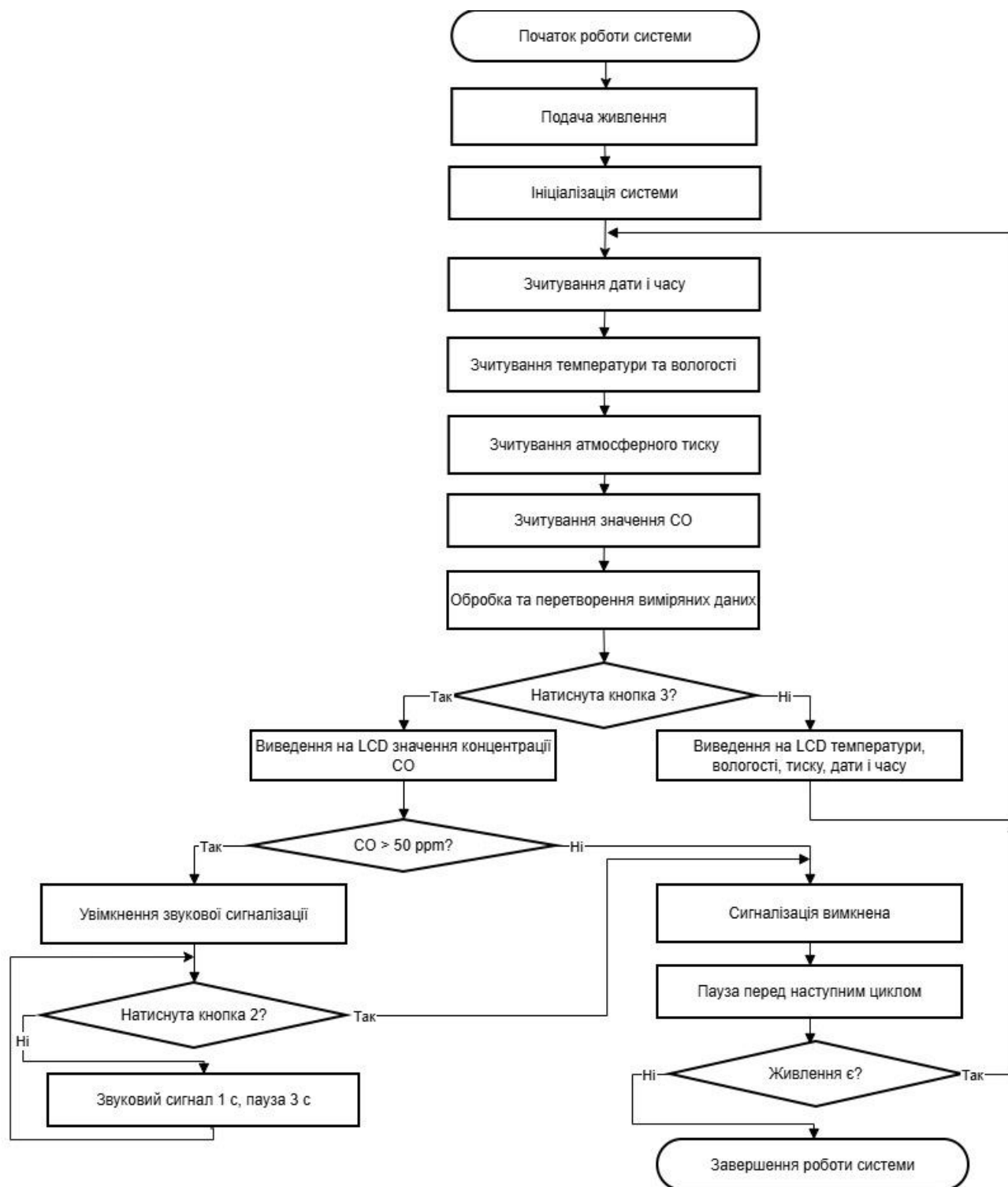


Рисунок 3.5 – Схема алгоритму роботи проєктованої системи

Якщо в процесі вимірювання концентрація чадного газу перевищує встановлений поріг 50 ppm, мікроконтролер формує керуючий сигнал на звуковий сигналізатор. Аварійний сигнал реалізується у вигляді короткочасного звукового імпульсу тривалістю 1 с з інтервалом повторення 3 с. Для примусового вимкнення звукового сигналу використовується окрема кнопка, яка переводить систему у режим підтвердження аварійного повідомлення.

Після завершення циклу вимірювання система повертається до початку циклу опитування сенсорів, забезпечуючи безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища у реальному масштабі часу.

Таким чином, алгоритм функціонування системи забезпечує безперервне вимірювання, аналіз, локальне відображення метеорологічних параметрів і контроль безпечності повітряного середовища з реалізацією функцій аварійного оповіщення.

3.3 Розробка програмного забезпечення системи

ПЗ проектованої інтелектуальної МКС вимірювання та аналізу МП розроблено для забезпечення повного циклу функціонування апаратної частини системи, що включає ініціалізацію периферійних модулів, періодичне зчитування даних із сенсорів, обробку отриманої інформації, формування керуючих дій та відображення результатів вимірювання користувачу.

Для реалізації ПЗ використано середовище Arduino IDE, яке є спеціалізованою платформою розробки для мікроконтролерних систем сімейства Arduino. Вибір цього середовища обумовлений його сумісністю з мікроконтролером ATmega328P, наявністю вбудованих засобів компіляції, програмування та налагодження, а також широкою бібліотечною підтримкою периферійних пристроїв, що використовуються у проектованій системі.

Мова програмування системи базується на Arduino із використанням синтаксису C/C++, що дозволяє реалізувати структурований підхід до побудови алгоритму роботи мікроконтролера та забезпечити ефективне керування апаратними ресурсами.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У програмному коді використано набір бібліотек, призначених для роботи з окремими функціональними модулями системи. Для організації обміну даними через інтерфейс I²C застосовано бібліотеку Wire, яка забезпечує взаємодію з датчиком атмосферного тиску та модулем реального часу. Для керування рідкокристалічним дисплеєм використано бібліотеку LiquidCrystal, що реалізує виведення текстової інформації на LCD-індикатор. Для роботи з модулем часу реального часу використано бібліотеку RTCLib, яка забезпечує отримання поточних значень дати та часу. Зчитування температури і вологості реалізовано через бібліотеку DHT, а для датчика атмосферного тиску використано бібліотеку SFE_BMP180. Обробка даних з газового сенсора MQ7 здійснюється через окремий програмний модуль MQ7.

Програмна структура побудована за модульним принципом і складається з двох основних функціональних блоків: блоку ініціалізації та циклічного блоку виконання. У процедурі setup() здійснюється налаштування інтерфейсів введення-виведення, запуск комунікаційних шин, ініціалізація датчиків, запуск дисплея та перевірка працездатності підключених модулів. На цьому етапі також формується стартова інформація на дисплеї та здійснюється запуск модуля реального часу.

Основний алгоритм роботи реалізовано в процедурі loop(), у якій здійснюється безперервне опитування сенсорних каналів системи. У циклі програма виконує зчитування температури та вологості з датчика DHT11, вимірювання атмосферного тиску через BMP180, отримання поточного часу з RTC-модуля DS1307 та визначення концентрації чадного газу за сигналом сенсора MQ7. Після отримання даних виконується їх програмна обробка, перетворення у зручний формат представлення та відображення на рідкокристалічному дисплеї.

Для підвищення надійності функціонування програмного забезпечення передбачено контроль коректності зчитування інформації з датчиків. У разі виникнення помилки вимірювання система формує повідомлення про несправність відповідного сенсорного каналу через послідовний інтерфейс UART.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Окремою функцією програмного забезпечення є реалізація аварійної сигналізації при перевищенні допустимого рівня концентрації чадного газу. Якщо виміряне значення перевищує встановлений поріг, мікроконтролер формує сигнал на виконавчий вихід, до якого підключено звуковий оповіщувач. Додатково передбачено кнопку тимчасового відключення сигналізації.

У програмі також реалізовано функцію перемикання режимів індикації, що дозволяє відображати на дисплеї як базові метеорологічні параметри, так і окремо концентрацію чадного газу.

Модульна структура програмного забезпечення забезпечує можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи, зокрема інтеграції бездротової передачі даних, реалізації архівування результатів вимірювання або підключення хмарних сервісів для віддаленого моніторингу.

Лістинг програмного забезпечення системи наведено в додатку А.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено інтелектуальну МКС вимірювання та аналізу МП, призначену для локального контролю параметрів навколишнього середовища в режимі реального часу. Реалізована система орієнтована на забезпечення оперативного отримання інформації про основні характеристики середовища з можливістю локальної обробки, відображення результатів вимірювання та формування сигналів попередження при виявленні небезпечних відхилень контрольованих параметрів.

Проведено аналіз існуючих методів і технічних засобів вимірювання МП, у результаті чого встановлено, що сучасні ІСМ базуються на застосуванні цифрових сенсорних модулів із готовими інтерфейсами обміну даними.

Досліджено сучасні підходи до побудови ІМС навколишнього середовища та встановлено, що перспективним напрямом розвитку є використання багаторівневих архітектур. На основі проведеного аналізу сформовано узагальнену архітектуру інтелектуальної МКС моніторингу МП.

Обґрунтовано вибір елементної бази проектованої системи, що забезпечує необхідну функціональність, достатню точність вимірювань і можливість подальшого розширення системи.

Розроблено принципову схему системи, де визначено взаємозв'язки між сенсорними модулями, центральним мікроконтролерним блоком, засобами індикації та аварійного сповіщення. Запропонована структура реалізує централізований принцип керування з виділенням окремих каналів збору, обробки та відображення інформації.

Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи, яке реалізує ініціалізацію периферійних модулів, циклічне опитування сенсорів, перевірку коректності вимірювань, відображення результатів на дисплеї, контроль граничних значень концентрації чадного газу та формування аварійної сигналізації.

Проведено тестування функціонування прототипу системи підтвердило коректність одночасної роботи сенсорних каналів, стабільність відображення

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

результатів вимірювання, правильність часової синхронізації та спрацювання сигналізації при перевищенні встановленого порогу концентрації чадного газу.

Отримані результати підтверджують можливість практичного використання розробленої системи для локального метеорологічного контролю, моніторингу параметрів мікроклімату, екологічного спостереження та побудови автономних інтелектуальних вимірювальних вузлів у складі розподілених систем екологічного моніторингу.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боголюбов В.М., Клименко М.О. Моніторинг довкілля. Стереотип, вид. - Херсон : Олді-Плюс, 2020. - 530 с.

2. Why weather monitoring matters more than ever today. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://climateinafrica.com/why-weather-monitoring-matters-more-than-ever-today/>

3. The Importance of Weather Instruments in Daily Life. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.codasensor.com/the-importance-of-weather-instruments.html>

4. The importance of weather forecasting in agriculture. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.cordulus.com/blog/importance-of-weather-forecasting-in-agriculture>

5. Importance of Monitoring Weather in Agriculture. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://agriinnovation.in/importance-of-monitoring-weather-in-agriculture/>

6. The importance of weather data in agriculture. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.agricolus.com/en/the-importance-of-weather-data-in-agriculture/>

7. The Meteorology Panel (METP) . [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.icao.int/airnavigation/aeronautical-meteorological-service>

8. Meteorological service for international air navigation: annex 3 to the Convention on International Civil Aviation. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://digitallibrary.un.org/record/448084>

9. Assess and quantify your climate risk and opportunities. [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.ice.com/fixed-income-data-services/ice-climate?utm_source=google&utm_medium=paid-search&utm_campaign=ICE_FIDS_Climate-Data&gad_source=1&gad_campaignid=23579576320&gbraid=0AAAAADILi88tBk6QKzbQVGDtSYFVgsemr&gclid=Cj0KCQjw9-PNBhDfARIsABHN6-36fT2Gq6ALxMbnLV5R3UIOSxB9Zl-dU3zmILmo4QiRozeMQ9sU260aAj_5EALw_wcB

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

10. Екологічний моніторинг довкілля. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/ekologichnyj-monitoring-dovkillya/>

11. Sudniks R., Ziemelis A., Nikitenko A., Soares V., Supe A. Indoor Microclimate Monitoring and Forecasting: Public Sector Building Use Case. Information. 2025. 16. 121. <https://doi.org/10.3390/info16020121>.

12. Pryimak O., Burda Y., Redko I., Pivnenko Y., Gvozdetskii O. Integrated approach to energy certification and quality control of microclimate formation in modern construction. Energy Engineering and Control Systems, 2025. Vol. 11, No. 2, pp. 79 – 84. <https://doi.org/10.23939/jeecs2025.02.079>

13. Weather, Climate and Energy Tracker. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/weather-climate-and-energy-tracker?tab=Weather+for+energy+tracker>

14. Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні : монографія / І. А. Вакуленко, С. І. Колосок, О. В. Кубатко та ін. ; за ред. С. І. Колосок. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 109 с.

15. Стаднік М., Штуць А., Колісник М., Григоренко Н. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, 2025, Том.347, №1, 291-299. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-38>

16. Посібник з технологій розумного будівництва. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://halodetect.com/uk/blog/smart-building-technology/>

17. Квасніков В.П., Шпак С.С. Метрологічне забезпечення інтелектуальних систем вимірювання в моніторингу довкілля. Вимірювальна техніка та метрологія, 2022, Том 83, № 2. С. 14–21.

18. Промисловий Інтернет речей. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://phoenixcontact.com/uk-ua/tekhnolohiyi/promyslovyi-internet-rechey>

19. Попов О.О., Ковач В.О., Бурлака С.О., Яцишин А.В. Нові методи моніторингу довкілля для попередження техногенних надзвичайних ситуацій. Техногенно - екологічна безпека та цивільний захист. №9. 2015. С. 116-123.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

20. How Do You Measure Air Temperature Accurately? [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.nist.gov/how-do-you-measure-it/how-do-you-measure-air-temperature-accurately>

21. Галік О.І. Метеорологічні прилади і методи спостережень. Рівне: НУВГП, 2008.- 134с.

22. Weather Elements and Instruments Used for Measurement. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://weather.gov.dm/resources/weather-elements-and-instruments-used-for-measurement>

23. Метеорологічні прилади, методи спостережень, вимірювань та їх обробка: навч. посіб. / Чернів. нац. ун-т ім. Юрія Федьковича ; за ред. В.С. Антонова. <https://opac.library.cv.ua/bib/46619>

24. Паламарчук Л.В., Шевченко О.Г. Метеорологічні прилади та вимірювання. – К.: Видавництво «Інтерконтиненталь-Україна», 2012. – 123 с.

25. Спеціалізовані мікроконтролерні системи. Теорія і практика: Підручник / Є. І. Сокол, І. Ф. Домнін, О. М. Рисований та ін. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – 252 с.

26. Купінський А.Р., Юрчак І.Ю. Принципи побудови метеостанції для спостереження за мікрокліматом у приміщенні на платформі Arduino. Computer Systems and Networks. Vol. 3, No. 1, 2021. P. 68-79.

27. Розумна метеостанція на базі ESP32 https://arduino.ua/art260-rozymna-meteostanciya-na-bazi-esp32?srsId=AfmBOopKaU9gJm706PJ360LN0qY9VyB_0zsMVIWvUJ1btR1qP_8wQdYJ

28. Мікроконтролерний модуль Arduino Nano. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://arduinokit.com.ua/ua/p1113760972-arduino-nano-atmega328pb.html?srsId=AfmBOoqt7xjIja6mUzVkGFhTlJ8el7XuwogJwjmvxpyMFudYH6leOjig>

29. Arduino датчики і модулі. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://beegreen.com.ua/vidladchiki-i-programatori/moduli-i-davachi-arduino/>

30. Модуль годинника реального часу. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://ardushop.in.ua/arduino/real-time-clock-module-ds1307-rtc>

31. Індикаторний модуль LCD1602 з клавіатурою для Ардуіно.

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

[Електронний ресурс].- Режим доступу: https://arduino.ua/ru/prod235-lcd-keypad-shield?srsltid=AfmBOoqd1Fb6LAIiM2oXg-TbbUAYLh9rvvIWye60rrj_M3HInobmxLxaLg

32 Активний зумер 5В на платі для Arduino. [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://arduino.ua/ua/p2271652574-aktivnyj-zummer-plate.html?srsltid=AfmBOoqflwBZmS3A94NzXsw-1ANz_jOr14V_m5lkO7PNy7BKH_DNGLiu

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Лістинг програмного забезпечення проєктованої системи

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include "RTClib.h"
#include "DHT.h"
#include <SFE_BMP180.h>
#include "MQ7.h"

// ----- Налаштування -----
#define DHTPIN A3
#define DHTTYPE DHT11
#define MQ7PIN A2
#define ALTITUDE 260.0

#define BUZZER_PIN 9
#define BTN_SHOW_CO 10
#define BTN_MUTE_ALARM 11

#define CO_ALARM_THRESHOLD 50.0

// Інтервали опитування, мс
const unsigned long SENSOR_INTERVAL = 2000;
const unsigned long LCD_INTERVAL = 500;
const unsigned long SERIAL_INTERVAL = 2000;
const unsigned long CO_INTERVAL = 1000;

// ----- Об'єкти -----
LiquidCrystal lcd(8, 3, 4, 5, 6, 7);
RTC_DS1307 rtc;
SFE_BMP180 bmp180;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
MQ7 mq7(MQ7PIN, 5.0);

// ----- Глобальні змінні -----
float airHumidity = NAN;
float airTempDHT = NAN;
double bmpTemp = NAN;
double pressureMb = NAN;
float pressureMmHg = NAN;
float coPpm = NAN;

bool bmpOk = false;
bool rtcOk = false;
bool dhtOk = false;

bool alarmMuted = false;
bool buzzerState = false;

unsigned long lastSensorRead = 0;
unsigned long lastLcdUpdate = 0;

```

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

unsigned long lastSerialUpdate = 0;
unsigned long lastCoRead = 0;
unsigned long lastBuzzerToggle = 0;

bool showCoScreen = false;

// ----- Допоміжні функції -----
void print2d(Print &out, uint8_t value) {
    if (value < 10) out.print('0');
    out.print(value);
}

void clearLcdRow(uint8_t row) {
    lcd.setCursor(0, row);
    lcd.print("      ");
    lcd.setCursor(0, row);
}

void showStartupScreen() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" METEOSTANTSIYA ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" AKIT 2026   ");
    delay(2000);
    lcd.clear();
}

void readDHT() {
    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();

    if (!isnan(h) && !isnan(t)) {
        airHumidity = h;
        airTempDHT = t;
        dhtOk = true;
    } else {
        dhtOk = false;
    }
}

void readBMP180() {
    char status;
    double T, P;

    status = bmp180.startTemperature();
    if (status == 0) {
        bmpOk = false;
        return;
    }

    delay(status);
    status = bmp180.getTemperature(T);
    if (status == 0) {

```

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

    bmpOk = false;
    return;
}

status = bmp180.startPressure(3);
if (status == 0) {
    bmpOk = false;
    return;
}

delay(status);
status = bmp180.getPressure(P, T);
if (status == 0) {
    bmpOk = false;
    return;
}

bmpTemp = T;
pressureMb = P;
pressureMmHg = P * 0.75006;
bmpOk = true;
}

void readCO() {
    coPpm = mq7.getPPM();
}

void updateButtons() {
    // Кнопки в режимі INPUT_PULLUP: натиснута = LOW
    showCoScreen = (digitalRead(BTN_SHOW_CO) == LOW);

    if (digitalRead(BTN_MUTE_ALARM) == LOW) {
        alarmMuted = true;
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        buzzerState = false;
    }

    // Скидання блокування, якщо рівень газу знову безпечний
    if (!isnan(coPpm) && coPpm <= CO_ALARM_THRESHOLD) {
        alarmMuted = false;
    }
}

void updateAlarm() {
    if (isnan(coPpm) || coPpm <= CO_ALARM_THRESHOLD || alarmMuted) {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        buzzerState = false;
        return;
    }

    // 1 с увімкнено / 3 с вимкнено
    unsigned long nowMs = millis();
    if (buzzerState) {
        if (nowMs - lastBuzzerToggle >= 1000) {

```

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

```

        buzzerState = false;
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        lastBuzzerToggle = nowMs;
    }
} else {
    if (nowMs - lastBuzzerToggle >= 3000) {
        buzzerState = true;
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
        lastBuzzerToggle = nowMs;
    }
}
}
}

```

```

void updateMainScreen() {
    DateTime now = rtc.now();

```

```

    clearLcdRow(0);
    print2d(lcd, now.day());
    lcd.print('.');
    print2d(lcd, now.month());
    lcd.print('.');
    lcd.print(now.year());
    lcd.print(' ');
    print2d(lcd, now.hour());
    lcd.print(':');
    print2d(lcd, now.minute());

```

```

    clearLcdRow(1);

```

```

    if (dhtOk) {
        lcd.print(airTempDHT, 1);
        lcd.print("C ");
        lcd.print((int)airHumidity);
        lcd.print("% ");
    } else {
        lcd.print("DHT ERR ");
    }
}

```

```

    if (bmpOk) {
        lcd.print((int)pressureMmHg);
        lcd.print("mm");
    } else {
        lcd.print("BMP ERR");
    }
}
}

```

```

void updateCoScreen() {
    clearLcdRow(0);
    lcd.print(" CHADNYI GAZ ");

```

```

    clearLcdRow(1);
    lcd.print("CO=");
    if (!isnan(coPpm)) {
        lcd.print(coPpm, 1);
    }
}

```

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

        lcd.print(" ppm");
    } else {
        lcd.print("ERR");
    }
}

void printSerialData() {
    DateTime now = rtc.now();

    Serial.print(now.year());
    Serial.print('.');
    print2d(Serial, now.month());
    Serial.print('.');
    print2d(Serial, now.day());
    Serial.print(' ');
    print2d(Serial, now.hour());
    Serial.print(':');
    print2d(Serial, now.minute());
    Serial.print(':');
    print2d(Serial, now.second());
    Serial.println();

    if (dhtOk) {
        Serial.print("DHT11 -> T=");
        Serial.print(airTempDHT, 1);
        Serial.print(" C, H=");
        Serial.print(airHumidity, 1);
        Serial.println(" %");
    } else {
        Serial.println("DHT11 -> read error");
    }

    if (bmpOk) {
        Serial.print("BMP180 -> T=");
        Serial.print(bmpTemp, 2);
        Serial.print(" C, P=");
        Serial.print(pressureMb, 2);
        Serial.print(" mb, ");
        Serial.print(pressureMmHg, 2);
        Serial.println(" mmHg");
    } else {
        Serial.println("BMP180 -> read error");
    }

    if (!isnan(coPpm)) {
        Serial.print("MQ7 -> CO=");
        Serial.print(coPpm, 1);
        Serial.println(" ppm");
    } else {
        Serial.println("MQ7 -> read error");
    }

    Serial.println();
}

```

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

```

// ----- setup -----
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Intelligent Meteo System");

  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);

  pinMode(BTN_SHOW_CO, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BTN_MUTE_ALARM, INPUT_PULLUP);

  lcd.begin(16, 2);
  showStartupScreen();

  Wire.begin();

  dht.begin();

  if (bmp180.begin()) {
    Serial.println("BMP180 init success");
    bmpOk = true;
  } else {
    Serial.println("BMP180 init fail");
    bmpOk = false;
  }

  if (rtc.begin()) {
    rtcOk = true;
    if (!rtc.isrunning()) {
      Serial.println("RTC is NOT running! Set time once.");
      // rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    }
  } else {
    rtcOk = false;
    Serial.println("RTC init fail");
  }
}

// ----- loop -----
void loop() {
  unsigned long nowMs = millis();

  updateButtons();

  if (nowMs - lastSensorRead >= SENSOR_INTERVAL) {
    lastSensorRead = nowMs;
    readDHT();
    readBMP180();
  }

  if (nowMs - lastCoRead >= CO_INTERVAL) {
    lastCoRead = nowMs;
    readCO();
  }
}

```

					ДП. AKIT.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

```

    }

    updateAlarm();

    if (nowMs - lastLcdUpdate >= LCD_INTERVAL) {
        lastLcdUpdate = nowMs;

        if (!rtcOk) {
            clearLcdRow(0);
            lcd.print("RTC ERROR");
            clearLcdRow(1);
            lcd.print("Check module");
        } else if (showCoScreen) {
            updateCoScreen();
        } else {
            updateMainScreen();
        }
    }

    if (nowMs - lastSerialUpdate >= SERIAL_INTERVAL) {
        lastSerialUpdate = nowMs;
        if (rtcOk) {
            printSerialData();
        }
    }
}

```

					ДП.АКІТ.10659311.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63