

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

БІЛИК Ярослав Богданович

**Система інформаційно-вимірювального моніторингу
виникнення пожежі на основі ультразвукового
сигналізатора/System of information and measurement
monitoring of the occurrence of a fire based on an ultrasonic
alarm**

спеціальність: 175 – Інформаційно-вимірювальні технології
освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи МТІР– 41/1
Я.Б. Білик

Науковий керівник
к.т.н., доцент П.В.Гуменний

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: 175 – Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ”

2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
БІЛИКУ Ярославу Богдановичу
(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Система інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора/System of information and measurement monitoring of the occurrence of a fire based on an ultrasonic alarm

керівник роботи к.т.н., доцент Гуменний П.В.

затверджені наказом по університету від 1.12.2025р №894

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:
25.05.2026р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Системи пожежної сигналізації

2. Сенсори та засоби побудови систем пожежної сигналізації

3. Засоби побудови IoT систем збору інформації та керування

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз предметної області та огляд сучасних систем пожежної сигналізації

2. Проєктування інформаційно-вимірювальної системи

3. Реалізація програмно-апаратного комплексу

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Архітектура IoT-системи моніторингу пожеж

2. Алгоритм моніторингу та формування тривожних повідомлень

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Гуменний П.В.		
2	Гуменний П.В.		
3	Гуменний П.В.		

7. Дата видачі завдання 1 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області та огляд сучасних систем пожежної сигналізації	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	виконано
2	Проектування інформаційно-вимірювальної системи	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	виконано
3	Реалізація програмно-апаратного комплексу	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	виконано
4.	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2026р. – 25.05.2026	виконано

Студент

(підпис)

Білик Я.Б.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., Гуменний П.В.

АНОТАЦІЯ

Білик Я.Б. Система інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології», освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей. Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

Метою дипломної роботи є розроблення системи інформаційновимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора з використанням технологій Інтернету речей для підвищення оперативності виявлення небезпечних ситуацій та забезпечення дистанційного контролю стану об'єкта.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу пожежонебезпечних ситуацій із використанням інформаційно-вимірювальних технологій.

Предметом дослідження є методи, моделі та програмно-апаратні засоби побудови системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора та технологій Інтернету речей.

Одержані висновки та їх новизна. Особливістю даної розробки є використання сучасних програмно-апаратних засобів.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, пожежа, датчики, програмне забезпечення.

ANNOTATION

Bilyk Y.B. IoT System of information and measurement monitoring of the occurrence of a fire based on an ultrasonic alarm. - Manuscript.

Research for obtaining the Bachelor's Degree in Specialty 175 "Information and measurement technologies", Educational and Professional Program – Internet of Things Technologies. West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The purpose of the thesis is to develop an information and measurement fire occurrence monitoring system based on an ultrasonic alarm device using Internet of Things technologies in order to improve the efficiency of hazardous situation detection and provide remote monitoring of the protected object.

The object of research is the process of monitoring fire-hazardous situations using information and measurement technologies.

The subject of research includes methods, models, and hardware-software tools for developing an information and measurement fire occurrence monitoring system based on an ultrasonic alarm device and Internet of Things technologies.

Conclusions and scientific novelty. The distinctive feature of the developed system is the use of modern hardware and software technologies for real-time acquisition, processing, transmission, and visualization of measurement data. The proposed solution combines ultrasonic sensing technologies with IoT tools, enabling continuous monitoring of environmental parameters and timely detection of potentially dangerous situations.

Keywords: information and measurement system, fire monitoring, ultrasonic alarm device, Internet of Things, ESP32, sensors, web monitoring, fire safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ.....	10
1.1 Поняття пожежної безпеки та класифікація систем виявлення пожежі	10
1.2 Огляд існуючих типів пожежних сповіщувачів	12
1.3 Ультразвукові сигналізатори в системах контролю та безпеки	16
1.4 Технології інтернету речей для побудови систем моніторингу	18
1.5 Постановка задачі дипломної роботи.....	21
Висновки до першого розділу	23
2. ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	25
2.1 Структурна схема системи моніторингу пожежі.....	25
2.2 Проєктування вимірювального каналу ультразвукового сигналізатора	28
2.3 Математична модель ультразвукового каналу вимірювання	30
2.4 Похибки та методи їх зменшення.....	34
2.5 Розробка архітектури IoT-системи.....	38
2.6 Проєктування бази даних для зберігання вимірювальної інформації.....	42
2.7 Розробка алгоритму моніторингу та формування тривожних повідомлень.....	46
Висновки до другого розділу	50
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ	51
3.1 Вибір апаратних засобів реалізації системи	51
3.2 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера.....	56
3.3 Реалізація серверної частини IoT-системи.....	61
3.4 Розробка вебінтерфейсу моніторингу	64
3.5 Структурна та функціональна схеми системи	68
3.6 Реалізація системи в середовищі Tinkercad	71
3.7 Моделювання та аналіз результатів	81
Висновки до третього розділу	86
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
ДОДАТКИ	93

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ			
Розроб	Білик Я.Б.				IoT система обліку водопостачання/ IoT water supply accounting system	Літ.	Арк.	Арквщів
Перевірив	Гуменний П.В.							
Консульт	Гуменний П.В.					ЗУНУ.ФКІТ.МТІР-41		
Н.Контрол	Заставний О.							
Затвердив	Сегін А.І.							

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення пожежної безпеки є одним із найважливіших завдань сучасного суспільства, оскільки пожежі призводять до значних матеріальних збитків, руйнування інфраструктури, погіршення екологічної ситуації та створюють загрозу життю і здоров'ю людей. В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та поширення концепції Інтернету речей особливої актуальності набуває створення інтелектуальних систем моніторингу, здатних у режимі реального часу здійснювати контроль стану об'єктів, аналізувати отримані дані та своєчасно повідомляти про виникнення небезпечних ситуацій.

Традиційні системи пожежної сигналізації переважно базуються на використанні теплових, димових та полумених сповіщувачів. Проте такі засоби не завжди забезпечують необхідну швидкість реагування та можуть бути чутливими до зовнішніх факторів. Перспективним напрямом удосконалення систем пожежного моніторингу є використання ультразвукових сигналізаторів, які дозволяють контролювати зміни параметрів середовища на ранніх стадіях розвитку небезпечних процесів. Поєднання ультразвукових технологій із засобами Інтернету речей створює можливість побудови сучасних інформаційно-вимірювальних систем із функціями дистанційного моніторингу та автоматизованого оповіщення.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу пожежонебезпечних ситуацій із використанням інформаційно-вимірювальних технологій.

Предметом дослідження є методи, моделі та програмно-апаратні засоби побудови системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора та технологій Інтернету речей.

Метою роботи є розроблення системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора з використанням технологій Інтернету речей для підвищення оперативності

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

виявлення небезпечних ситуацій та забезпечення дистанційного контролю стану об'єкта.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні системи пожежної безпеки та засоби виявлення пожеж;
- дослідити особливості використання ультразвукових сигналізаторів у системах моніторингу та безпеки;
- розробити структурну схему системи моніторингу пожежі;
- спроектувати вимірювальний канал ультразвукового сигналізатора;
- побудувати математичну модель ультразвукового каналу

вимірювання;

- розробити архітектуру IoT-системи та структуру бази даних;
- реалізувати програмне забезпечення мікроконтролера та серверної частини системи;
- створити вебінтерфейс моніторингу;
- виконати моделювання системи в середовищі Tinkercad та провести аналіз результатів її роботи.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу, методи інформаційно-вимірювальних технологій, методи математичного моделювання, засоби програмування мікроконтролерів, технології Інтернету речей, а також методи комп'ютерного моделювання електронних схем.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні програмно-апаратної системи моніторингу пожежонебезпечних ситуацій, яка забезпечує збір, обробку та передачу вимірювальної інформації в режимі реального часу, а також формування тривожних повідомлень при виникненні небезпечних подій. Розроблені рішення можуть бути використані під час створення систем пожежного моніторингу для житлових, адміністративних, виробничих та складських приміщень.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

Структура роботи. Бакалаврська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі проведено аналіз предметної області та сучасних засобів пожежного моніторингу. У другому розділі розроблено структурну схему системи, математичну модель та архітектуру IoT-рішення. У третьому розділі реалізовано програмно-апаратну частину системи та вебінтерфейс моніторингу. У четвертому розділі виконано моделювання системи в середовищі Tinkercad та проведено аналіз отриманих результатів.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

1.1 Поняття пожежної безпеки та класифікація систем виявлення пожежі

Пожежна безпека є важливою складовою загальної безпеки об'єктів житлового, промислового та громадського призначення. Вона являє собою стан захищеності людей, матеріальних цінностей, обладнання та навколишнього середовища від небезпечних факторів пожежі. Забезпечення пожежної безпеки передбачає реалізацію комплексу організаційних, технічних та інженерних заходів, спрямованих на запобігання виникненню пожеж, своєчасне їх виявлення та мінімізацію наслідків [1,2].

Пожежа характеризується неконтрольованим процесом горіння, що супроводжується виділенням значної кількості теплової енергії, диму та токсичних продуктів згоряння. Небезпечними факторами пожежі є висока температура, відкритий вогонь, дим, зниження концентрації кисню в повітрі та виділення шкідливих газів. Саме тому одним із ключових завдань систем пожежної безпеки є раннє виявлення ознак займання для забезпечення оперативного реагування та евакуації людей.

Сучасні системи виявлення пожежі базуються на використанні різноманітних датчиків та інформаційно-вимірювальних засобів, які здійснюють безперервний контроль параметрів навколишнього середовища. Основною метою таких систем є виявлення характерних ознак пожежі на ранніх стадіях її розвитку та передача відповідних сигналів до систем оповіщення або диспетчерського пункту. За принципом виявлення пожежонебезпечних факторів системи виявлення пожежі поділяються на кілька основних груп (рис. 1.1).

Теплові системи виявлення пожежі реагують на підвищення температури або швидкість її зміни. До їх складу входять теплові датчики, які можуть бути максимальними, диференціальними або комбінованими. Такі системи

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

характеризуються відносно простою конструкцією та високою надійністю, однак часто спрацьовують лише на більш пізніх стадіях розвитку пожежі [3,4].



Рисунок 1.1. - Класифікація систем виявлення пожежі

Димові системи виявлення пожежі фіксують появу продуктів горіння в повітрі. Вони можуть використовувати оптичний, фотоелектричний або іонізаційний принцип дії. Димові сповіщувачі є одними з найбільш поширених завдяки високій чутливості до ранніх стадій займання [5-8].

Полуменеві системи виявлення пожежі призначені для реєстрації електромагнітного випромінювання, що виникає під час горіння. Такі системи використовують ультрафіолетові, інфрачервоні або комбіновані датчики полум'я та застосовуються переважно на промислових об'єктах з підвищеним ризиком виникнення пожеж.

Газоаналітичні системи здійснюють контроль концентрації газів, що виділяються на початкових етапах горіння. Вони забезпечують можливість

раннього виявлення пожежонебезпечних процесів ще до появи відкритого полум'я або значної кількості диму.

Окрему групу становлять інтелектуальні системи пожежного моніторингу, які поєднують декілька типів датчиків та використовують методи цифрової обробки даних для прийняття рішень. Такі системи забезпечують вищу точність виявлення пожеж та зменшують кількість хибних спрацювань [9].

У сучасних умовах значного поширення набувають системи пожежного моніторингу на основі технологій Інтернету речей (IoT). Вони передбачають використання мережі взаємопов'язаних датчиків, контролерів та серверних компонентів для збору, передачі та аналізу вимірювальної інформації в режимі реального часу. Перевагами таких систем є можливість дистанційного контролю, оперативного сповіщення користувачів, централізованого зберігання даних та інтеграції з іншими системами безпеки.

Для задач раннього виявлення пожежі перспективним напрямом є використання ультразвукових сигналізаторів. Їх застосування дозволяє контролювати зміну параметрів повітряного середовища та виявляти аномальні процеси, пов'язані з виникненням пожежонебезпечних ситуацій. Поєднання ультразвукових засобів контролю з технологіями Інтернету речей створює передумови для розробки ефективних інформаційно-вимірювальних систем моніторингу пожежі, здатних забезпечити своєчасне реагування на загрози та підвищити рівень безпеки об'єктів.

1.2 Огляд існуючих типів пожежних сповіщувачів

Одним із ключових елементів систем пожежної безпеки є пожежні сповіщувачі, призначені для своєчасного виявлення ознак виникнення пожежі та формування сигналу тривоги. Від ефективності їх роботи залежить швидкість реагування на надзвичайну ситуацію, а також можливість мінімізації

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

матеріальних збитків і загрози життю людей. Сучасні пожежні сповіщувачі відрізняються за принципом дії, конструкцією та сферою застосування [10-14].

Найбільш поширеними є теплові, димові та полуменеві сповіщувачі. Крім того, у сучасних системах безпеки активно використовуються комбіновані та інтелектуальні датчики, які забезпечують вищу достовірність виявлення пожежонебезпечних ситуацій.

Теплові пожежні сповіщувачі. Теплові сповіщувачі реагують на зміну температури навколишнього середовища. Вони можуть спрацьовувати при досягненні певного температурного порогу або при перевищенні встановленої швидкості зростання температури. Основною перевагою таких пристроїв є висока стійкість до пилу та диму, що робить їх придатними для використання у виробничих приміщеннях.

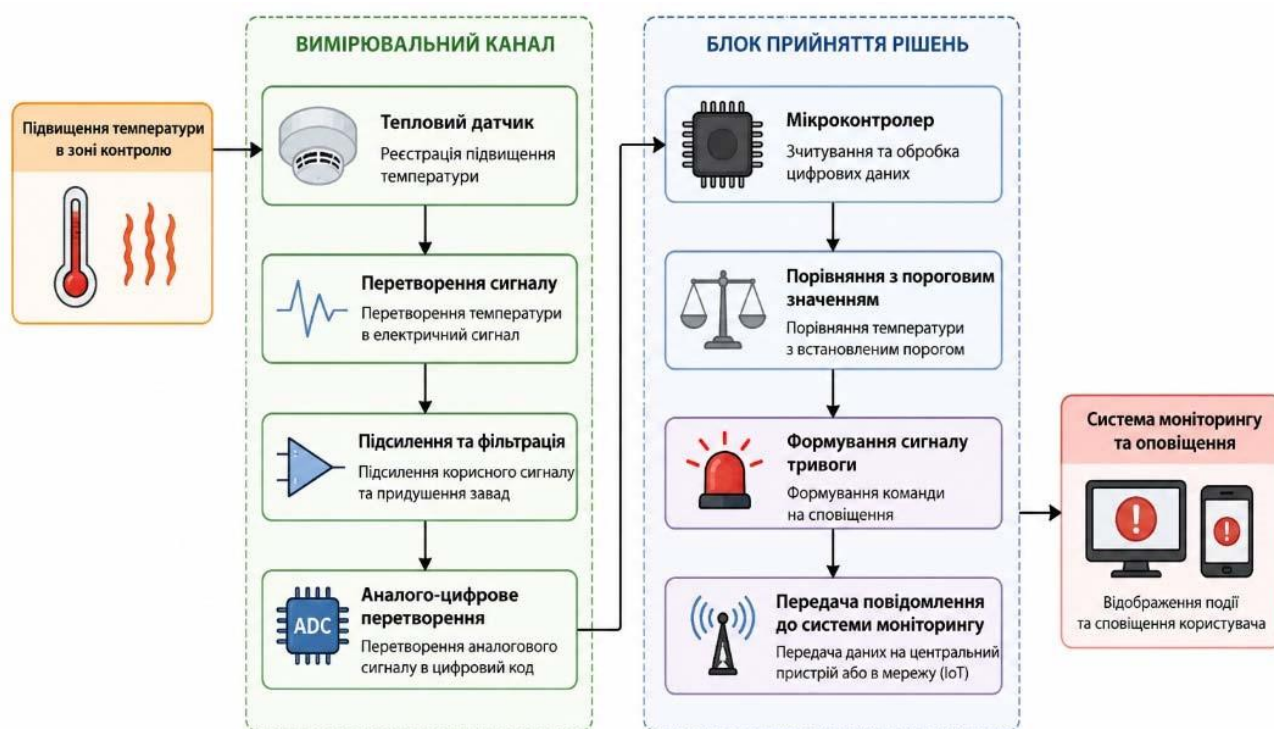


Рисунок 1.2 - Принцип роботи теплового пожежного сповіщувача

Теплові сповіщувачі відзначаються простотою конструкції та невисокою вартістю, проте можуть спрацьовувати із затримкою порівняно з іншими типами датчиків [15-19].

Димові пожежні сповіщувачі. Димові сповіщувачі є найбільш поширеним видом засобів раннього виявлення пожежі. Їх робота базується на контролі концентрації частинок диму в повітрі. У сучасних системах переважають фотоелектричні датчики, які використовують інфрачервоне випромінювання для реєстрації появи диму.

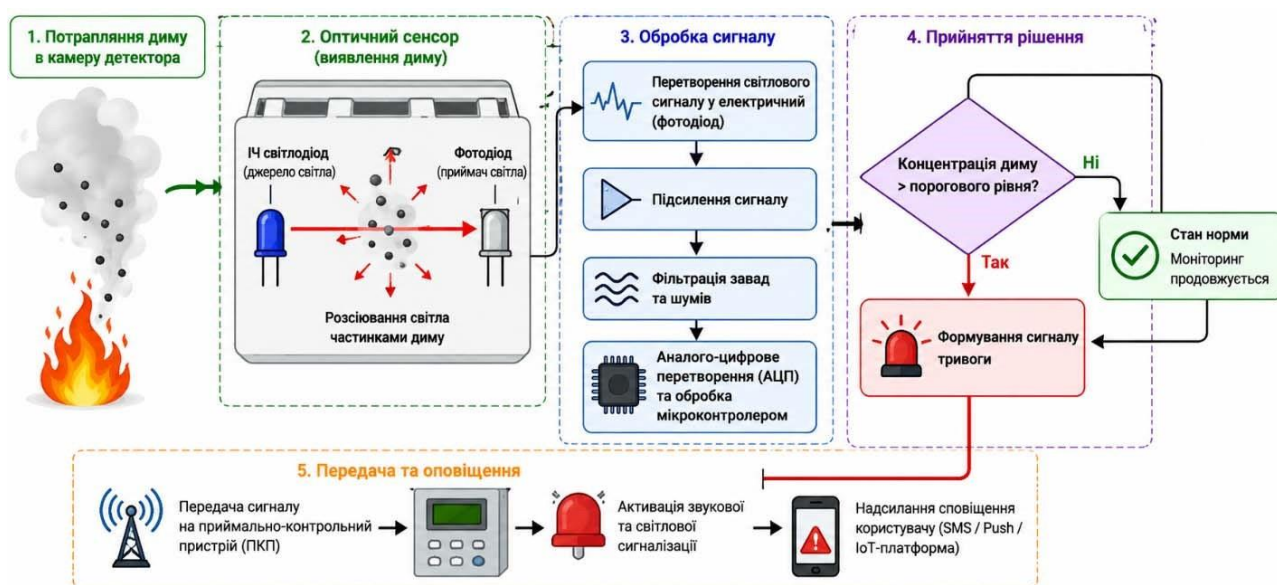


Рисунок 1.3 - Принцип роботи димового пожежного сповіщувача

Основною перевагою димових датчиків є можливість виявлення пожежі на ранніх стадіях розвитку, коли температура ще не досягла критичних значень.

Полуменеві пожежні сповіщувачі. Полуменеві сповіщувачі реєструють електромагнітне випромінювання, що виникає під час горіння. Вони використовують ультрафіолетові або інфрачервоні сенсори для виявлення відкритого полум'я. Такі пристрої характеризуються високою швидкістю та застосовуються на об'єктах із підвищеним ризиком займання [20-24].

Полуменеві датчики здатні спрацювати практично миттєво після появи відкритого вогню, проте можуть бути чутливими до сторонніх джерел випромінювання. Порівняльна характеристика пожежних сповіщувачів

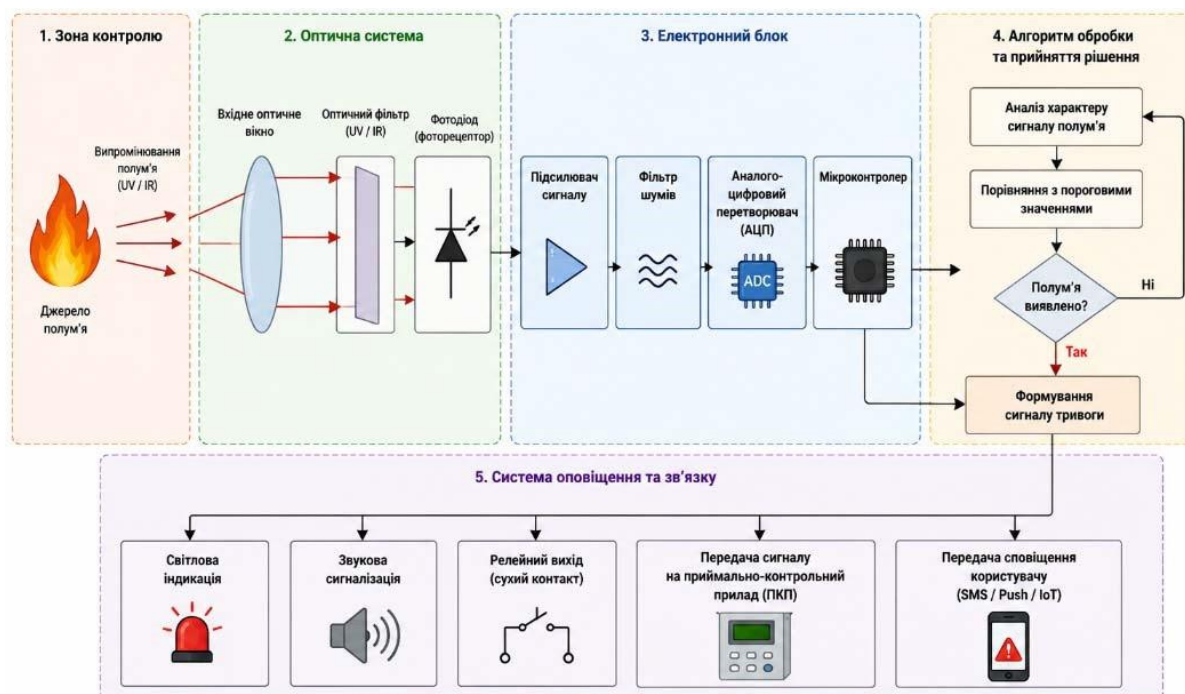


Рисунок 1.4 - Структура полуменевого пожежного сповіщувача

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика основних типів пожежних сповіщувачів

Тип сповіщувача	Контрольований параметр	Швидкість спрацювання	Переваги	Недоліки
Тепловий	Температура	Середня	Простота, низька вартість	Пізнє виявлення пожежі
Димовий	Концентрація диму	Висока	Раннє виявлення займання	Чутливість до пилу
Полуменевий	UV/IR випромінювання	Дуже висока	Миттєве реагування	Можливі хибні спрацювання
Газоаналітичний	Концентрація газів	Висока	Раннє виявлення тління	Вища вартість
Комбінований	Кілька параметрів	Дуже висока	Підвищена достовірність	Складність реалізації

Проведений аналіз показав, що різні типи пожежних сповіщувачів мають власні особливості та сфери застосування. Найбільш ефективними для раннього виявлення пожеж є димові та газоаналітичні датчики, тоді як полуменеві забезпечують найшвидше реагування на появу відкритого вогню. Сучасною тенденцією є використання комбінованих та інтелектуальних сповіщувачів, які поєднують декілька принципів контролю та забезпечують високу достовірність виявлення пожежонебезпечних ситуацій. Отримані результати аналізу будуть використані при виборі архітектури інформаційно-вимірювальної системи моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора.

1.3 Ультразвукові сигналізатори в системах контролю та безпеки

Ультразвукові сигналізатори належать до класу активних інформаційновимірювальних пристроїв, призначених для контролю параметрів навколишнього середовища шляхом випромінювання та приймання ультразвукових хвиль. У сучасних системах контролю та безпеки вони використовуються для виявлення рухомих об'єктів, вимірювання відстані, контролю рівня рідин, моніторингу технологічних процесів, а також для виявлення аномальних змін середовища, які можуть свідчити про виникнення небезпечних ситуацій [25-30].

Ультразвуковими називають механічні хвилі з частотою понад 20 кГц, що знаходиться за межами сприйняття людського слуху. Найбільшого поширення в інформаційно-вимірювальних системах набули сенсори, які працюють у діапазоні від 25 до 400 кГц. Вибір робочої частоти визначається необхідною дальністю контролю, точністю вимірювання та особливостями середовища поширення сигналу.

Принцип функціонування ультразвукового сигналізатора базується на використанні ехолокаційного методу. Передавач генерує короткий

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ультразвуковий імпульс, який поширюється в контрольованому середовищі. Після відбиття від перешкоди або неоднорідності середовища хвиля повертається до приймача. Вимірюючи час проходження сигналу та аналізуючи його параметри, система визначає характеристики контрольованого об'єкта або стан середовища.

Швидкість поширення ультразвукових хвиль у повітрі залежить від температури та становить приблизно 343 м/с за температури 20 °С. Відстань до об'єкта визначається шляхом вимірювання часу проходження сигналу від передавача до об'єкта та назад. Для визначення відстані використовується співвідношення:

$$L = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1.1.)$$

де L – відстань до об'єкта, м; v – швидкість поширення ультразвукової хвилі, м/с; t – час проходження імпульсу, с.

У системах безпеки ультразвукові сигналізатори використовуються для контролю присутності сторонніх осіб у приміщенні, моніторингу переміщення об'єктів, контролю технологічного обладнання та виявлення аварійних ситуацій.

Порівняно з інфрачервоними датчиками вони менш чутливі до змін освітлення та можуть працювати в умовах задимленості.

Особливий інтерес становить використання ультразвукових сенсорів у системах пожежного моніторингу. Під час виникнення пожежі відбувається значне підвищення температури повітря, виникають конвективні потоки та змінюється щільність середовища. Ці фактори впливають на поширення ультразвукових хвиль, що дозволяє використовувати відповідні зміни як інформаційні ознаки виникнення пожежонебезпечної ситуації.

Структурно ультразвуковий сигналізатор складається з декількох функціональних вузлів: генератора імпульсів, ультразвукового передавача,

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

приймача, підсилювача, аналого-цифрового перетворювача та мікроконтролера, який виконує аналіз отриманих даних та формування керуючих сигналів.

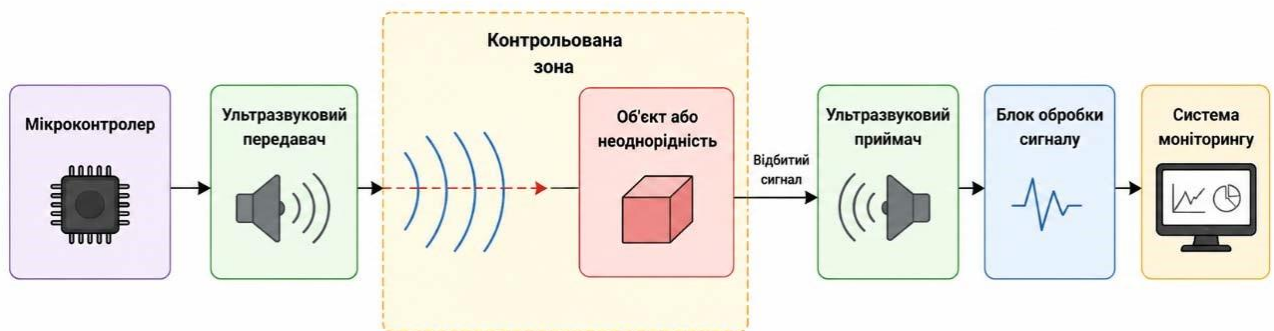


Рисунок 1.5 - Структурна схема ультразвукового сигналізатора

1.4 Технології інтернету речей для побудови систем моніторингу

Стрімкий розвиток інформаційних технологій та засобів бездротового зв'язку сприяв появі концепції Інтернету речей (Internet of Things, IoT), яка сьогодні є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку інформаційновимірjuвальних систем. Технології Інтернету речей забезпечують можливість об'єднання фізичних пристроїв, датчиків, виконавчих механізмів та програмних платформ у єдину інформаційну мережу для автоматизованого збору, передачі, обробки та аналізу даних у режимі реального часу.

Під Інтернетом речей розуміють концепцію побудови розподіленої мережі взаємопов'язаних пристроїв, здатних самостійно обмінюватися інформацією через мережу Інтернет без безпосереднього втручання людини. Основною особливістю IoT є інтеграція фізичних об'єктів із цифровими сервісами, що дозволяє здійснювати моніторинг, аналіз та керування різними процесами дистанційно.

У системах моніторингу IoT-технології забезпечують безперервний збір даних від сенсорів, передачу інформації до серверів обробки, зберігання результатів вимірювань та оперативне інформування користувачів про виявлені

події. Завдяки цьому значно підвищується ефективність контролю об'єктів та скорочується час реагування на аварійні ситуації. Типова архітектура IoT-системи складається з декількох рівнів: рівня сенсорів, мережевого рівня, рівня обробки даних та прикладного рівня.

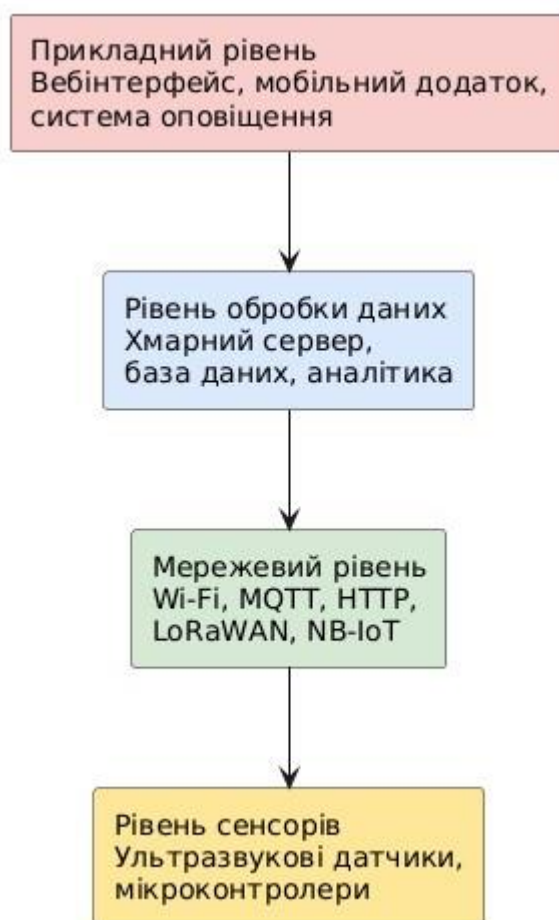


Рисунок 1.6 - Багаторівнева архітектура IoT-системи моніторингу

У сучасних системах моніторингу найчастіше використовуються мікроконтролери сімейства ESP32, ESP8266, Arduino та Raspberry Pi. Особливу популярність мають контролери ESP32 завдяки наявності вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, високій продуктивності та низькому енергоспоживанню. Такі пристрої виконують функції збору інформації від сенсорів, попередньої обробки даних та передачі результатів до віддалених серверів.

Для організації обміну даними між пристроями Інтернету речей використовуються спеціалізовані протоколи передачі даних. Найбільш поширеними серед них є MQTT, HTTP, CoAP та WebSocket. У системах моніторингу особливо часто застосовується протокол MQTT, який характеризується мінімальним мережевим навантаженням та високою ефективністю при роботі з великою кількістю пристроїв.

Важливим компонентом IoT-систем є хмарні сервіси, які забезпечують централізоване зберігання та обробку даних. Використання хмарних платформ дозволяє реалізувати віддалений доступ до результатів вимірювань, автоматичне формування звітів, статистичний аналіз та механізми сповіщення користувачів. У системах пожежного моніторингу технології Інтернету речей дозволяють реалізувати безперервний контроль стану об'єкта незалежно від його місцезнаходження. Дані від ультразвукових сигналізаторів надходять до мікроконтролера, після чого передаються через бездротову мережу на сервер моніторингу. У разі виявлення небезпечної ситуації система автоматично формує повідомлення та надсилає його користувачу через вебінтерфейс, мобільний додаток або засоби миттєвого сповіщення.

Основними перевагами використання технологій Інтернету речей у системах моніторингу є можливість дистанційного доступу до даних, автоматизація процесів контролю, масштабованість системи, зменшення експлуатаційних витрат та підвищення оперативності реагування на аварійні ситуації. Крім того, застосування IoT забезпечує інтеграцію різномірних датчиків і вимірювальних пристроїв у єдине інформаційне середовище.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

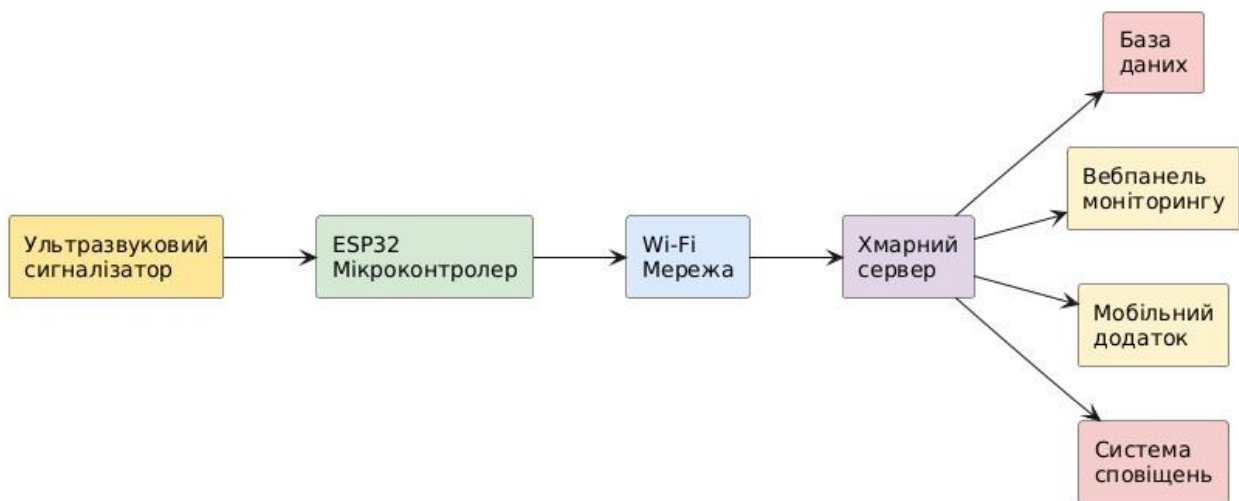


Рисунок 1.7 - Структурна схема IoT-системи моніторингу пожежі

Таким чином, технології Інтернету речей створюють ефективну основу для побудови сучасних інформаційно-вимірювальних систем моніторингу. Їх використання в системах пожежної безпеки дозволяє реалізувати безперервний контроль об'єктів, оперативне оповіщення користувачів та централізоване управління процесами моніторингу, що є важливою передумовою розробки системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора.

1.5 Постановка задачі дипломної роботи

Проведений аналіз сучасних систем пожежної безпеки, існуючих типів пожежних сповіщувачів, ультразвукових сигналізаторів та технологій Інтернету речей показав, що актуальним напрямом розвитку інформаційно-вимірювальних систем є створення інтелектуальних засобів моніторингу пожежонебезпечних ситуацій, здатних забезпечувати безперервний контроль стану середовища, оперативне виявлення небезпечних змін та дистанційне інформування користувачів.

Традиційні системи пожежної сигналізації переважно використовують димові, теплові або полуменеві датчики. Незважаючи на достатню ефективність таких рішень, вони характеризуються обмеженими можливостями щодо віддаленого моніторингу, інтеграції з сучасними інформаційними сервісами та адаптації до змін умов експлуатації. Крім того, значна частина існуючих систем функціонує автономно, що ускладнює централізоване керування та аналіз інформації про стан об'єкта.

Одним із перспективних напрямів удосконалення систем пожежного моніторингу є використання ультразвукових сигналізаторів, які дозволяють контролювати зміни фізичних характеристик повітряного середовища та можуть бути інтегровані з технологіями Інтернету речей. Такий підхід забезпечує можливість дистанційного збору та обробки даних, автоматичного формування повідомлень про небезпечні події та централізованого зберігання інформації.

У зв'язку з цим виникає задача розроблення системи інформаційновимірjuвального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора, яка забезпечуватиме своєчасне виявлення пожежонебезпечних ситуацій та передачу даних користувачам через мережу Інтернет.

Об'єктом дослідження є процеси моніторингу та виявлення пожежонебезпечних ситуацій у системах безпеки.

Предметом дослідження є методи, моделі та програмно-апаратні засоби побудови інформаційно-вимірjuвальної системи моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора та технологій Інтернету речей.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності моніторингу пожежонебезпечних ситуацій шляхом розробки інформаційно-вимірjuвальної системи на основі ультразвукового сигналізатора з використанням технологій Інтернету речей.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- Провести аналіз сучасних систем пожежного моніторингу та технологій їх реалізації.
- Дослідити особливості застосування ультразвукових сигналізаторів у системах контролю та безпеки.
- Виконати аналіз технологій Інтернету речей для побудови систем моніторингу.
- Розробити структуру інформаційно-вимірювальної системи моніторингу виникнення пожежі.
- Обґрунтувати вибір апаратних компонентів системи, зокрема ультразвукового датчика та мікроконтролера.
- Розробити програмне забезпечення для збору та обробки вимірювальної інформації.
- Реалізувати механізм передачі даних до віддаленої системи моніторингу з використанням IoT-технологій.
- Створити веборієнтований інтерфейс для візуалізації результатів моніторингу.
- Провести тестування розробленої системи та оцінити ефективність її функціонування.

Концептуальна структура розроблюваної системи наведена на рисунку 1.9. Розроблювана система повинна забезпечувати безперервний контроль стану середовища, автоматичний аналіз отриманих даних, формування сигналів тривоги та дистанційне інформування користувачів про виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

Висновки до першого розділу

Виконано огляд існуючих типів пожежних сповіщувачів, зокрема теплових, димових, полумєневих та комбінованих. Встановлено, що кожен із розглянутих типів має власні переваги та обмеження, пов'язані з точністю

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

виявлення, швидкістю реагування та умовами експлуатації. Аналіз показав доцільність пошуку альтернативних підходів до побудови систем пожежного моніторингу, здатних забезпечити підвищення оперативності виявлення небезпечних ситуацій.

Досліджено принципи роботи ультразвукових сигналізаторів та особливості їх застосування в системах контролю та безпеки. Визначено, що використання ультразвукових сенсорів забезпечує безконтактний контроль стану середовища, високу швидкодію та можливість інтеграції з сучасними інформаційно-вимірювальними комплексами. Показано перспективність використання ультразвукових сигналізаторів для моніторингу змін фізичних характеристик повітряного середовища, які супроводжують виникнення пожежі.

Розглянуто сучасні технології Інтернету речей та особливості їх використання при побудові систем моніторингу. Встановлено, що застосування IoT-технологій дозволяє реалізувати віддалений збір, передачу, зберігання та аналіз вимірювальної інформації, а також забезпечити оперативне інформування користувачів про виникнення небезпечних подій.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Структурна схема системи моніторингу пожежі

Одним із ключових етапів проєктування інформаційно-вимірювальної системи моніторингу пожежі є розробка її структурної схеми. Структурна схема визначає основні функціональні компоненти системи, інформаційні зв'язки між ними та порядок обробки даних від моменту їх отримання до формування повідомлень про виникнення небезпечної ситуації.

Основою розроблюваної системи є ультразвуковий сигналізатор, який здійснює контроль стану середовища та формує вимірювальні сигнали. Отримані дані надходять до мікроконтролерного модуля, де виконуються їх аналіз, обробка та прийняття рішення щодо наявності ознак пожежонебезпечної ситуації. Для забезпечення дистанційного моніторингу система використовує бездротовий канал передачі даних на хмарний сервер, де інформація зберігається, аналізується та відображається користувачеві через вебінтерфейс або мобільний застосунок. Запропонована структура забезпечує модульність системи, можливість її масштабування та інтеграції з іншими компонентами систем безпеки.



Рисунок 2.1 - Структурна схема системи моніторингу пожежі

Запропонована структура побудована відповідно до концепції IoT-систем та передбачає розподіл функцій між окремими компонентами. Це дозволяє

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

підвищити гнучкість системи, спростити її модернізацію та забезпечити можливість інтеграції додаткових сенсорів у майбутньому.

Перший рівень системи представлений підсистемою збору даних. Основним елементом цього рівня є ультразвуковий сигналізатор, який здійснює контроль фізичних параметрів повітряного середовища. Принцип його роботи базується на випромінюванні та прийманні ультразвукових хвиль. Зміна характеристик поширення ультразвукового сигналу може свідчити про виникнення процесів, пов'язаних із загорянням або зміною стану контрольованого середовища.

Для підвищення достовірності контролю до складу системи також включено датчик температури та датчик диму. Використання декількох джерел інформації дозволяє реалізувати багатопараметричний підхід до виявлення пожежонебезпечних ситуацій та зменшити кількість хибних спрацювань. Датчик температури забезпечує контроль теплового стану приміщення, тоді як датчик диму дозволяє фіксувати появу продуктів горіння на ранніх стадіях розвитку пожежі.

Другий рівень системи призначений для локальної обробки отриманих даних. Центральним елементом цього рівня є мікроконтролер ESP32, який виконує функції збору інформації від сенсорів, її попередньої обробки та аналізу.

Вибір ESP32 обумовлений високою продуктивністю, низьким енергоспоживанням та наявністю вбудованих модулів бездротового зв'язку.

Модуль аналізу даних виконує обробку вимірювальної інформації, отриманої від сенсорів. На цьому етапі здійснюється фільтрація шумів, перевірка достовірності вимірювань та визначення відхилень контрольованих параметрів від допустимих значень. Для кожного сенсора встановлюються порогові значення, перевищення яких може свідчити про виникнення пожежонебезпечної ситуації.

Після аналізу даних інформація надходить до модуля формування тривоги. Якщо результати вимірювань відповідають визначеним критеріям небезпеки,

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

формується сигнал тривоги та запускається процедура передачі повідомлення до системи моніторингу.

Третій рівень системи реалізує функції передачі даних. Для цього використовується вбудований модуль Wi-Fi мікроконтролера ESP32. Передача інформації здійснюється через локальну мережу або мережу Інтернет із використанням протоколів MQTT або HTTP.

Протокол MQTT є одним із найбільш поширених рішень для IoT-систем завдяки мінімальному мережевому навантаженню та високій ефективності обміну повідомленнями. Використання цього протоколу дозволяє забезпечити швидку доставку даних навіть за обмеженої пропускної здатності каналу зв'язку.

Четвертий рівень системи представлений підсистемою моніторингу та візуалізації інформації. Центральним компонентом цього рівня є хмарний сервер, який виконує функції приймання, обробки та зберігання даних. Отримані результати вимірювань зберігаються у базі даних та використовуються для формування звітів і статистичної інформації.

Вебінтерфейс забезпечує користувачу можливість перегляду поточного стану системи, аналізу історії вимірювань та контролю подій у режимі реального часу. Мобільний додаток реалізує аналогічний функціонал і дозволяє отримувати інформацію незалежно від місця перебування користувача.

Окремим компонентом системи є модуль сповіщень, який автоматично надсилає повідомлення про виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Як канали сповіщення можуть використовуватися push-повідомлення, електронна пошта, SMS або повідомлення через месенджери. Запропонована структурна схема забезпечує комплексний підхід до моніторингу пожежонебезпечних ситуацій та поєднує переваги інформаційно-вимірювальних технологій із сучасними засобами Інтернету речей. Реалізація такої структури дозволяє забезпечити безперервний контроль стану об'єкта, своєчасне виявлення небезпечних подій, оперативне інформування користувачів та централізоване накопичення даних для подальшого аналізу. Це створює основу для розроблення

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

ефективної системи моніторингу пожежі, яка відповідає сучасним вимогам до інформаційно-вимірювальних комплексів безпеки.

2.2 Проектування вимірювального каналу ультразвукового сигналізатора

Одним із ключових елементів інформаційно-вимірювальної системи моніторингу пожежі є вимірювальний канал ультразвукового сигналізатора. Саме від його характеристик залежать точність отримання інформації, достовірність виявлення пожежонебезпечних ситуацій та ефективність функціонування системи в цілому. Проектування вимірювального каналу передбачає визначення його структури, вибір основних компонентів та розроблення алгоритму обробки вимірювальної інформації.

Вимірювальний канал являє собою сукупність технічних засобів, призначених для перетворення фізичної величини, що характеризує стан контрольованого середовища, у цифрову форму, придатну для подальшої обробки мікроконтролером. У розроблюваній системі основним джерелом інформації виступає ультразвуковий сигналізатор, який здійснює контроль середовища шляхом випромінювання та приймання ультразвукових хвиль.

Принцип функціонування вимірювального каналу базується на реєстрації змін параметрів поширення ультразвукового сигналу в контрольованому середовищі. Під час виникнення пожежі відбуваються зміни температури повітря, його густини та швидкості конвективних потоків, що впливають на характеристики поширення ультразвукових хвиль. Отримана інформація використовується для оцінювання поточного стану об'єкта та формування сигналів тривоги.

Структура вимірювального каналу. До складу вимірювального каналу входять:

- ультразвуковий передавач;
- контрольоване середовище;

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

- ультразвуковий приймач;
- підсилювач сигналу;
- фільтр перешкод;
- аналого-цифровий перетворювач;
- мікроконтролерний модуль; - блок аналізу даних.

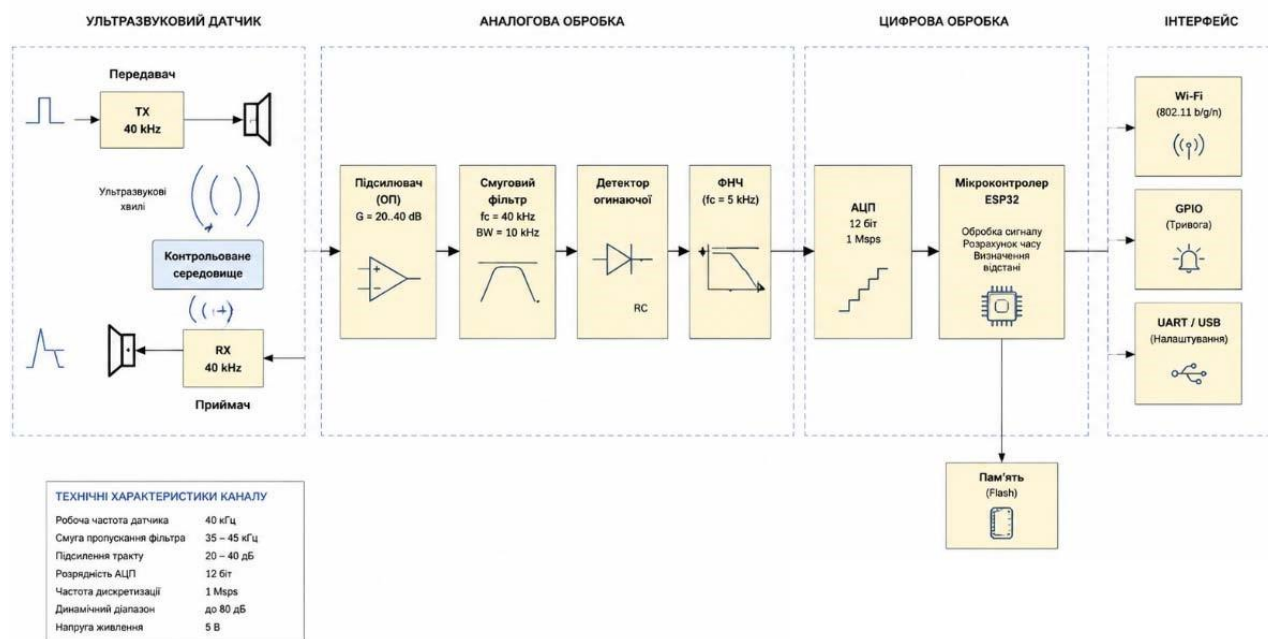


Рисунок 2.2 - Структурна схема вимірювального каналу ультразвукового сигналізатора

З рисунка 2.2 видно, що первинне перетворення інформації здійснюється ультразвуковим передавачем та приймачем. Передавач генерує імпульси частотою 40 кГц, які поширюються в контрольованому середовищі. Після проходження через середовище або відбиття від об'єкта сигнал надходить до приймача, де перетворюється в електричний сигнал.

Отриманий сигнал має невелику амплітуду та може містити шумові складові. Для покращення співвідношення сигнал/шум використовується підсилювач та смуговий фільтр, налаштований на робочу частоту ультразвукового сенсора. Після цього сигнал надходить до аналого-цифрового

перетворювача, де виконується його дискретизація та перетворення у цифровий код.

Вибір ультразвукового сенсора. Для реалізації вимірювального каналу обрано ультразвуковий модуль HC-SR04, який є одним із найбільш поширених сенсорів для систем моніторингу та автоматизації.

Таблиця 2.1. Основні характеристики HC-SR04

Параметр	Значення
Робоча частота	40 кГц
Напруга живлення	5 В
Дальність вимірювання	2–400 см
Точність вимірювання	± 3 мм
Кут випромінювання	15°
Споживаний струм	до 15 мА

Вибір цього сенсора обумовлений простотою інтеграції з мікроконтролером ESP32, високою точністю вимірювань та низькою вартістю.

2.3 Математична модель ультразвукового каналу вимірювання

Математична модель ультразвукового каналу вимірювання призначена для формалізованого опису процесів випромінювання, поширення, приймання та обробки ультразвукового сигналу в системі моніторингу пожежі. Така модель дає змогу встановити зв'язок між фізичними параметрами контрольованого середовища, характеристиками ультразвукового сигналу та вимірювальними даними, які надходять до мікроконтролера.

Основою роботи ультразвукового каналу є вимірювання часу проходження ультразвукового імпульсу від передавача до контрольованої області та назад до

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

приймача. У загальному випадку відстань до об'єкта або неоднорідності середовища визначається за формулою:

$$L = \frac{v \cdot t}{2}, \quad (2.1)$$

де L - відстань до об'єкта, м; v - швидкість поширення ультразвукової хвилі в повітрі, м/с; t - час проходження сигналу від передавача до об'єкта і назад, с. Оскільки сигнал проходить шлях у двох напрямках, у формулі використовується ділення на 2. Для системи пожежного моніторингу важливим є не лише визначення відстані, а й аналіз зміни параметрів сигналу, які можуть свідчити про зміну стану повітряного середовища.

Швидкість поширення ультразвукової хвилі в повітрі залежить від температури. При практичних розрахунках її можна визначити за наближеною залежністю:

$$v(T) = 331 + 0.6T \quad (2.2)$$

де T - температура повітря, °C.

За нормальних умов при температурі 20°C швидкість звуку становить:

$$v(20) = 331 + 0.6 \cdot 20 = 343 \text{ м/с.} \quad (2.3)$$

У разі виникнення пожежі температура повітря в контрольованій зоні зростає, що призводить до зміни швидкості поширення ультразвукового сигналу. Відповідно, змінюється час його проходження:

$$t = \frac{2L}{v(T)} \quad (2.4)$$

Таким чином, при підвищенні температури швидкість ультразвуку збільшується, а час проходження сигналу для сталої відстані зменшується. Ця залежність може бути використана як одна з вимірювальних ознак пожежонебезпечного стану.

Для опису прийнятого сигналу можна використати модель:

$$u_r(t) = A_r \sin(2\pi f t + \varphi) + n(t) \quad (2.5)$$

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

де $u_r(t)$ - прийнятий ультразвуковий сигнал; A_r - амплітуда прийнятого сигналу; f - робоча частота ультразвукового датчика; φ - фазовий зсув; $n(t)$ - шумова складова. Амплітуда прийнятого сигналу залежить від відстані, втрат у середовищі та умов відбиття. У спрощеному вигляді цю залежність можна подати так:

$$A_r = A_0 \cdot k_r \cdot e^{-\alpha L} \quad (2.6)$$

де A_0 - амплітуда випроміненого сигналу; k_r - коефіцієнт відбиття; α - коефіцієнт загасання ультразвуку в середовищі; L - відстань проходження сигналу.

Під час пожежі в повітряному середовищі виникають дим, турбулентні потоки та температурні неоднорідності. Це може впливати на амплітуду, фазу та часові характеристики прийнятого сигналу. Тому для підвищення достовірності виявлення пожежі доцільно аналізувати не один параметр, а сукупність вимірювальних ознак.

Вектор вимірювальних ознак ультразвукового каналу можна подати у вигляді:

$$X = \{t, A_r, \Delta t, \Delta A, T\} \quad (2.7)$$

де t - час проходження сигналу; A_r - амплітуда прийнятого сигналу; Δt - зміна часу проходження сигналу; ΔA - зміна амплітуди сигналу; T - температура середовища. Зміна часу проходження сигналу визначається як:

$$\Delta t = t_i - t_0 \quad (2.8)$$

де t_i - поточне значення часу проходження сигналу; t_0 - еталонне значення часу за нормального стану середовища.

Зміна амплітуди сигналу визначається за формулою:

$$\Delta A = A_i - A_0 \quad (2.9)$$

де A - поточна амплітуда прийнятого сигналу; A_0 - амплітуда сигналу за нормальних умов. Для прийняття рішення про виникнення пожежонебезпечної ситуації можна використати порогову модель:

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

$$F = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \Delta t > \Delta t_{\text{кр}} \text{ або } \Delta A > \Delta A_{\text{кр}} \text{ або } T > T_{\text{кр}}, \\ 0, & \text{якщо умови пожежної небезпеки не виконуються,} \end{cases} \quad (2.10)$$

де F - стан системи; $F = 1$ - виявлено пожежонебезпечну ситуацію; $F = 0$ - стан середовища є нормальним; $\Delta t_{\text{кр}}$, $\Delta A_{\text{кр}}$, $T_{\text{кр}}$ - критичні порогові значення відповідних параметрів.

Для зменшення кількості хибних спрацювань доцільно використовувати комбіновану умову прийняття рішення:

$$F = \begin{cases} 1, & \text{якщо } (\Delta t > \Delta t_{\text{кр}}) \wedge (\Delta A > \Delta A_{\text{кр}}) \wedge (T > T_{\text{кр}}), \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (2.11)$$

У такому випадку сигнал тривоги формується лише тоді, коли одночасно фіксується зміна ультразвукового сигналу та підвищення температури середовища. Це підвищує достовірність роботи системи моніторингу. З урахуванням дискретного характеру роботи мікроконтролера вимірювання виконуються через рівні проміжки часу. Послідовність вимірювань можна подати у вигляді:

$$X_i = \{t_i, A_i, T_i\}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.12)$$

де i - номер вимірювання; n - кількість вимірювань у вибірці. Для згладжування випадкових відхилень використовується середнє значення параметра за декілька вимірювань:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (2.13)$$

У практичній реалізації це дозволяє зменшити вплив шумів, випадкових коливань сигналу та короткочасних завад.

Отже, математична модель ультразвукового каналу вимірювання враховує час проходження сигналу, швидкість поширення ультразвукової хвилі, амплітуду прийнятого сигналу, вплив температури та порогові критерії прийняття рішення. Використання такої моделі дозволяє формалізувати процес виявлення пожежонебезпечної ситуації та створити основу для програмної реалізації алгоритму моніторингу в мікроконтролері ESP32.

2.4 Похибки та методи їх зменшення

Під час функціонування інформаційно-виміральної системи моніторингу пожежі важливим завданням є забезпечення високої точності вимірювань та достовірності отриманих результатів. На процес вимірювання параметрів ультразвукового сигналу впливає значна кількість зовнішніх і внутрішніх факторів, що можуть спричиняти виникнення похибок. Наявність похибок призводить до спотворення результатів вимірювань, зниження ефективності роботи системи та збільшення ймовірності хибних спрацювань або пропуску небезпечних ситуацій.

Відповідно до теорії вимірювань загальна похибка вимірювання визначається як різниця між результатом вимірювання та істинним значенням контрольованої величини:

$$\Delta X = X_{\text{ВЕМ}} - X_{\text{іст}}, \quad (2.14)$$

де: ΔX — абсолютна похибка; $X_{\text{ВЕМ}}$ — виміряне значення; $X_{\text{іст}}$ — істинне значення параметра.

Для оцінювання точності вимірювань часто використовується відносна похибка:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{\text{іст}}} \cdot 100\% \quad (2.15)$$

У системах ультразвукового моніторингу похибки можуть виникати на всіх етапах проходження сигналу — від його генерації до обробки результатів вимірювань мікроконтролером.

Класифікація похибок вимірального каналу. Основні похибки ультразвукового каналу вимірювання можна поділити на такі групи:

- методичні;
- інструментальні;
- зовнішні;

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

- випадкові.

Методичні похибки виникають через спрощення математичної моделі або неврахування окремих фізичних процесів. У розроблюваній системі до таких похибок належить використання наближених залежностей швидкості ультразвуку від температури та ігнорування впливу вологості повітря.

Інструментальні похибки обумовлені характеристиками апаратних компонентів системи. До них належать похибки ультразвукового датчика, аналого-цифрового перетворювача, підсилювачів сигналу та мікроконтролера.

Зовнішні похибки виникають під впливом навколишнього середовища.

Основними факторами є:

- температура повітря;
- вологість;
- наявність диму;
- турбулентні потоки; - сторонні акустичні шуми; - електромагнітні завади.

Випадкові похибки мають стохастичний характер і виникають внаслідок випадкових коливань параметрів середовища або шумів електронних компонентів.

Вплив температури на точність вимірювань. Одним із найбільш значущих джерел похибки є зміна температури навколишнього середовища. Як було показано в попередньому підрозділі, швидкість поширення ультразвукової хвилі визначається залежністю:

$$v(T) = 331 + 0.6T. \quad (2.16)$$

Зміна температури на 10 °C призводить до зміни швидкості ультразвуку приблизно на 6 м/с, що може спричинити суттєву похибку визначення відстані. Для компенсації температурної похибки в систему включається датчик температури, результати якого використовуються для корекції швидкості поширення сигналу під час розрахунків.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

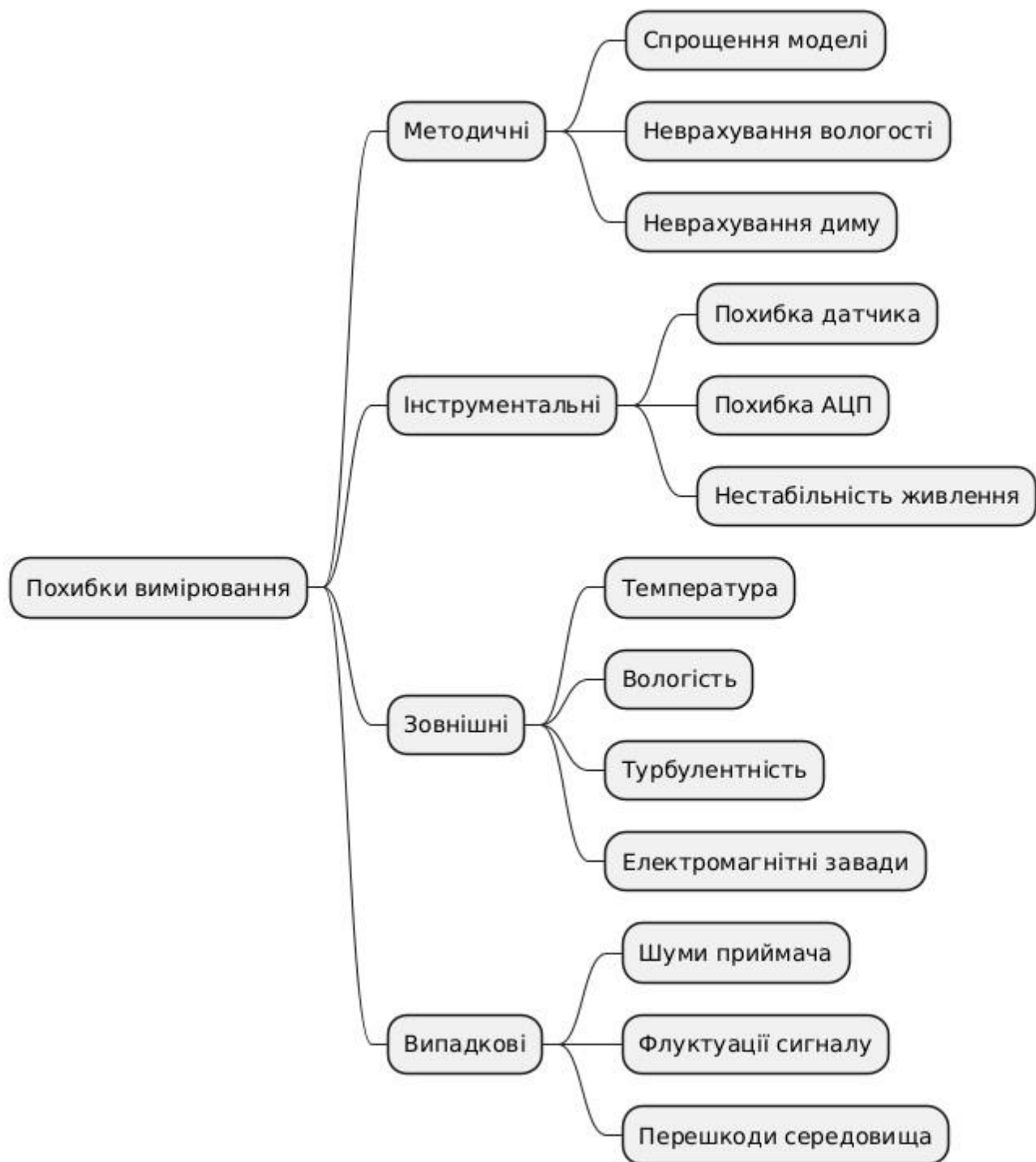


Рисунок 2.3 - Класифікація похибок ультразвукового каналу

Вплив шумів та завад. У процесі роботи ультразвукового каналу можуть виникати електричні та акустичні шуми, які впливають на форму прийнятого сигналу. Джерелами шумів є:

- блок живлення;
- електронні компоненти;
- мережеве обладнання;
- механічні вібрації;
- сторонні ультразвукові джерела.

Для зменшення впливу шумів використовується смуговий фільтр, налаштований на робочу частоту ультразвукового сигналізатора (40 кГц).



Рисунок 2.4 - Місце фільтрації шумів у вимірювальному каналі

Усереднення результатів вимірювань. Для зменшення випадкових похибок використовується метод усереднення результатів вимірювання. Мікроконтролер виконує серію вимірювань та обчислює середнє значення:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.17)$$

де $\bar{X}$ - результат окремого вимірювання; n — кількість вимірювань.

Застосування усереднення дозволяє знизити вплив випадкових коливань сигналу та підвищити стабільність результатів.

Оцінка сумарної похибки. Сумарна похибка вимірювального каналу визначається як сукупний вплив окремих складових:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{датч}}^2 + \Delta_{\text{АЦП}}^2 + \Delta_{\text{Темп}}^2 + \Delta_{\text{шум}}^2} \quad (2.18)$$

Застосування корекції температури, цифрової фільтрації та усереднення вимірювань дозволяє суттєво знизити сумарну похибку системи та забезпечити необхідну достовірність контролю.

Таблиця 2.4 – Методи зменшення похибок вимірювального каналу

Джерело похибки	Причина виникнення	Метод компенсації
Температурна	Зміна швидкості ультразвуку	Температурна компенсація
Вологість	Зміна характеристик середовища	Корекційні коефіцієнти
Шуми приймача	Електронні перешкоди	Смугова фільтрація
АЦП	Квантування сигналу	Усереднення результатів
Турбулентність	Нестабільність середовища	Серія вимірювань
Нестабільність живлення	Зміна параметрів датчика	Стабілізація живлення
Електромагнітні завади	Робота електрообладнання	Екранування та фільтри

Проведений аналіз показав, що найбільший вплив на точність роботи ультразвукового каналу мають температурні зміни середовища, шумові складові та нестабільність параметрів вимірювального тракту. Для зменшення похибок у розроблюваній системі передбачено використання температурної компенсації, смугової фільтрації сигналів, усереднення результатів вимірювань та програмної обробки даних. Реалізація зазначених заходів дозволяє підвищити точність вимірювального каналу та забезпечити надійне функціонування системи моніторингу пожежі.

2.5 Розробка архітектури IoT-системи

Розробка архітектури IoT-системи є важливим етапом проєктування системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі, оскільки саме архітектура визначає спосіб взаємодії апаратних, мережових і програмних компонентів. Для розроблюваної системи доцільно використати багаторівневу архітектуру, яка охоплює рівень сенсорів, рівень локальної

обробки, комунікаційний рівень, серверний рівень та рівень користувацького доступу.

Основним завданням IoT-архітектури є забезпечення безперервного збору вимірювальних даних від ультразвукового сигналізатора, їх попередньої обробки на мікроконтролері, передавання до віддаленого сервера, зберігання у базі даних та відображення користувачу через вебінтерфейс або мобільний пристрій. У разі виявлення пожежонебезпечної ситуації система повинна автоматично сформувати сигнал тривоги та передати відповідне повідомлення користувачу.

Рівні архітектури IoT-системи. Перший рівень — сенсорний рівень. Він включає ультразвуковий сигналізатор, датчик температури та, за потреби, додатковий датчик диму. Ці компоненти виконують функцію первинного збору інформації про стан контролюваного середовища.

Другий рівень — рівень локальної обробки. Його основним компонентом є мікроконтролер ESP32. Він приймає сигнали від сенсорів, виконує попередню обробку даних, аналізує вимірювальні параметри та визначає, чи є ознаки пожежонебезпечної ситуації.

Третій рівень — комунікаційний рівень. Передача даних здійснюється за допомогою Wi-Fi-модуля, вбудованого в ESP32. Для обміну інформацією можуть використовуватися протоколи MQTT або HTTP. MQTT є доцільним для IoT-систем, оскільки забезпечує швидкий обмін короткими повідомленнями з мінімальним навантаженням на мережу.

Четвертий рівень — серверний рівень. Він включає хмарний сервер, базу даних та програмні модулі обробки повідомлень. На цьому рівні здійснюється приймання даних від пристрою, їх зберігання, аналіз та підготовка до відображення у користувацькому інтерфейсі.

П'ятий рівень — рівень користувацького доступу. Він представлений вебінтерфейсом, мобільним застосунком або системою повідомлень. Користувач

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

може переглядати поточний стан системи, історію вимірювань, повідомлення про тривоги та стан підключення пристроїв.

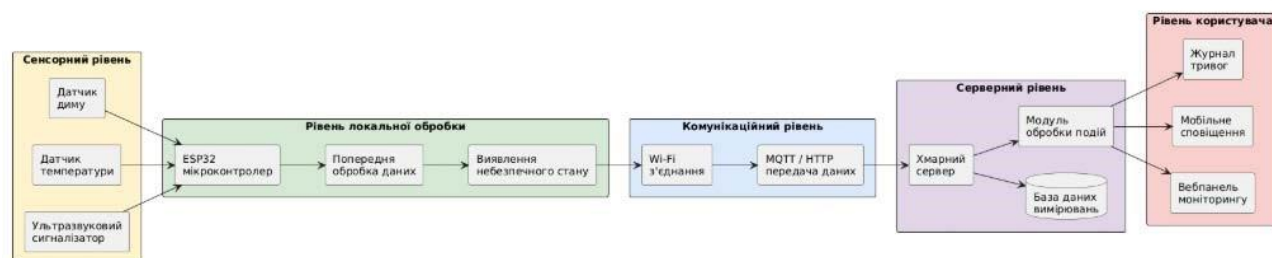


Рисунок 2.5 - Архітектура IoT-системи моніторингу пожеж

Запропонована архітектура забезпечує послідовний рух інформації від сенсорів до користувача. Вимірювальні дані формуються на сенсорному рівні, після чого надходять до мікроконтролера ESP32. На рівні локальної обробки виконується перевірка коректності даних, фільтрація випадкових відхилень та порівняння отриманих значень із заданими порогоми. Якщо виявлено ознаки пожежонебезпечної ситуації, формується подія тривоги.

Передавання інформації до серверної частини здійснюється через Wi-Fi із використанням MQTT або HTTP. У випадку використання MQTT мікроконтролер публікує повідомлення у відповідні теми, наприклад: fire/status, fire/temperature, fire/ultrasonic, fire/alarm. Сервер або IoT-платформа підписується на ці теми та отримує дані в режимі реального часу.

Логіка передавання даних. Дані, які передаються з мікроконтролера, можуть мати таку структуру, рисунок 2.6.


```

{
  "device_id": "fire_node_01",
  "temperature": 34.7,
  "distance": 126.4,
  "signal_level": 78,
  "smoke": 0,
  "alarm": false,
  "timestamp": "2026-06-17T21:30:00"
}

```

Рисунок 2.6 - Структура даних

У разі виникнення пожежонебезпечної ситуації параметр alarm набуває значення true, після чого система формує повідомлення користувачу.

Таблиця 2.5 – Основні компоненти IoT-архітектури системи

Компонент	Призначення	Приклад реалізації
Ультразвуковий сигналізатор	Контроль стану середовища та зміни параметрів сигналу	HC-SR04 або аналог
Датчик температури	Вимірювання температури повітря	DHT22, DS18B20
Датчик диму	Виявлення продуктів горіння	MQ-2, MQ-135
Мікроконтролер	Збір та обробка даних	ESP32
Комунікаційний модуль	Передача даних у мережу	Wi-Fi ESP32
Протокол передачі	Обмін даними між пристроєм і сервером	MQTT / HTTP
Сервер	Приймання та обробка інформації	Хмарна IoTплатформа
База даних	Зберігання вимірювань і тривоги	MySQL, PostgreSQL, Firebase
Вебінтерфейс	Візуалізація стану системи	Web dashboard
Модуль сповіщення	Надсилання повідомлень користувачу	Telegram, Email, Push

Запропонована IoT-архітектура має низку переваг. Насамперед вона забезпечує модульність, оскільки кожен рівень виконує окрему функцію і може бути змінений без повної перебудови системи. Наприклад, замість датчика диму MQ-2 можна використати інший сенсор, не змінюючи загальної логіки роботи системи.

Другою перевагою є масштабованість. До системи можна підключити декілька вузлів моніторингу, розташованих у різних приміщеннях. Кожен вузол може мати власний ідентифікатор, а серверна частина зберігатиме інформацію окремо для кожного пристрою.

Третьою важливою перевагою є можливість дистанційного контролю. Користувач отримує доступ до поточного стану системи через вебпанель або мобільний пристрій, що підвищує оперативність реагування на небезпечні ситуації.

Крім того, використання бази даних дозволяє накопичувати історію вимірювань, аналізувати частоту спрацювань, оцінювати стабільність роботи системи та формувати звіти.

2.6 Проектування бази даних для зберігання вимірювальної інформації

База даних є важливим компонентом IoT-системи моніторингу пожежі, оскільки забезпечує централізоване зберігання вимірювальної інформації, станів пристроїв, подій тривоги та історії роботи системи. Наявність бази даних дає змогу не лише відображати поточний стан контрольованого середовища, а й виконувати подальший аналіз накопичених даних, формувати звіти, досліджувати динаміку зміни параметрів і виявляти закономірності, що передують пожежонебезпечним ситуаціям.

У розроблюваній системі база даних призначена для зберігання інформації, яка надходить від ультразвукового сигналізатора, датчика температури, датчика диму та мікроконтролерного модуля ESP32. Дані передаються до серверної

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

частини через мережу Інтернет за допомогою MQTT або HTTP-протоколу, після чого записуються у відповідні таблиці.

Основними вимогами до бази даних є цілісність, масштабованість, швидкий доступ до актуальних вимірювань, можливість зберігання історії подій та підтримка зв'язків між пристроями, сенсорами і результатами вимірювань.

Основні сутності бази даних. Для зберігання вимірювальної інформації доцільно передбачити такі основні сутності, таблиця 2.6

Таблиця. 2.6. Основні сутності бази даних

Сутність	Призначення
devices	Зберігання інформації про IoT-пристрої
sensors	Зберігання даних про сенсори, підключені до пристрою
measurements	Зберігання результатів вимірювань
alerts	Зберігання повідомлень про тривоги
users	Зберігання даних користувачів системи
notifications	Зберігання історії надісланих повідомлень

Центральною сутністю бази даних є таблиця measurements, у якій накопичуються результати вимірювань. Кожен запис містить ідентифікатор пристрою, показники сенсорів, дату та час отримання даних, а також стан тривоги.

Логічна структура бази даних передбачає, що один IoT-пристрій може мати декілька сенсорів і формувати велику кількість вимірювань. У разі виявлення небезпечного стану пристрій або серверний модуль створює запис у таблиці alerts. Після цього система формує повідомлення для користувачів, інформація про які зберігається у таблиці notifications.

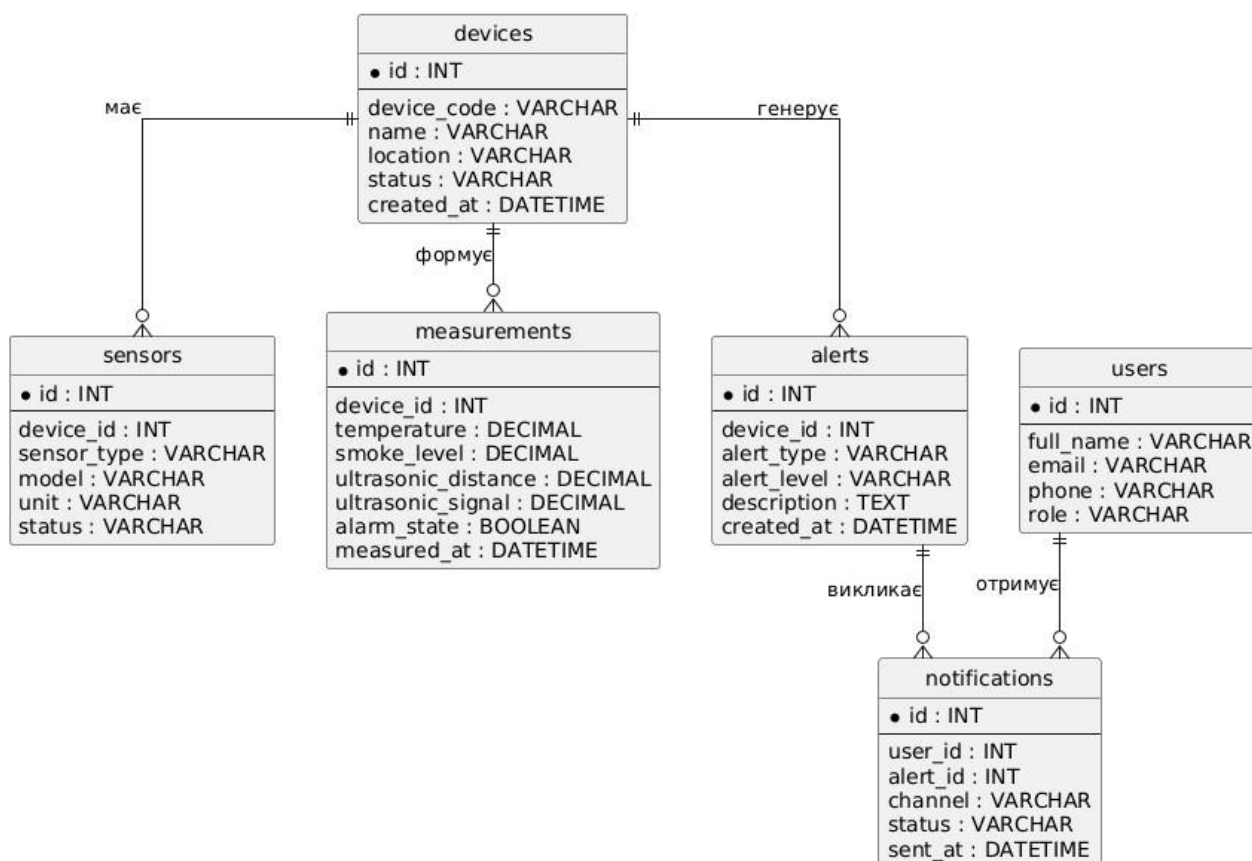


Рисунок 2.7 - Логічна структура бази даних системи моніторингу пожежі

Опис таблиць бази даних. Таблиця `devices` призначена для зберігання інформації про вузли моніторингу. До неї заносяться унікальний код пристрою, назва, місце встановлення, поточний статус та дата додавання до системи. Така структура дозволяє масштабувати систему та підключати декілька пристроїв у різних приміщеннях.

Таблиця `sensors` містить інформацію про сенсори, які підключені до певного пристрою. Для кожного сенсора вказується його тип, модель, одиниця вимірювання та статус. Це забезпечує можливість обліку різних типів сенсорів у межах одного IoT-вузла.

Таблиця `measurements` є основною таблицею для зберігання вимірювальної інформації. Вона містить значення температури, рівня диму, відстані або параметра ультразвукового сигналу, стан тривоги та часову мітку вимірювання.

Саме ця таблиця використовується для побудови графіків, аналізу історії вимірювань і формування статистики.

Таблиця alerts призначена для зберігання інформації про пожежонебезпечні події. У ній фіксуються тип тривоги, рівень небезпеки, опис події та час її виникнення.

Таблиця users містить дані користувачів, які мають доступ до системи моніторингу. Для кожного користувача зберігаються ім'я, електронна пошта, телефон та роль у системі.

Таблиця notifications використовується для зберігання історії надісланих повідомлень. У ній зазначається користувач, пов'язана тривожна подія, канал сповіщення, статус доставки та час надсилання.

Запропонована структура бази даних забезпечує зберігання всієї необхідної інформації для функціонування системи моніторингу пожежі. Вона підтримує облік пристроїв, сенсорів, вимірювальних даних, тривожних подій та повідомлень користувачам. Завдяки використанню зв'язків між таблицями забезпечується цілісність даних, а також можливість подальшого розширення системи за рахунок додавання нових пристроїв, сенсорів або каналів сповіщення.

Таблиця 2.8. Приклад структури таблиці вимірювань

Поле	Тип даних	Опис
id	INT	Унікальний ідентифікатор запису
device_id	INT	Ідентифікатор IoT-пристрою
temperature	DECIMAL(5,2)	Значення температури, °C
smoke_level	DECIMAL(6,2)	Рівень диму або газової концентрації
ultrasonic_distance	DECIMAL(6,2)	Виміряна відстань, см
ultrasonic_signal	DECIMAL(6,2)	Рівень ультразвукового сигналу
alarm_state	BOOLEAN	Ознака тривоги
measured_at	DATETIME	Час отримання вимірювання

2.7 Розробка алгоритму моніторингу та формування тривожних повідомлень

Алгоритм моніторингу є основою функціонування інформаційновимірjuвальної системи пожежної безпеки. Він визначає послідовність отримання даних від сенсорів, їх попередню обробку, перевірку на відповідність допустимим значенням, формування стану системи та передавання тривожних повідомлень користувачу. У розроблюваній системі алгоритм орієнтований на роботу з ультразвуковим сигналізатором, датчиком температури та, за потреби, датчиком диму.

Основним завданням алгоритму є своєчасне виявлення пожежонебезпечної ситуації на основі аналізу вимірjuвальних параметрів середовища. Для цього система періодично опитує сенсори, обчислює поточні значення контрольованих параметрів, порівнює їх із встановленими порогами та формує відповідний стан: норма, попередження або тривога. Основні етапи алгоритму:

1. Робота алгоритму передбачає виконання таких етапів:
2. Ініціалізація мікроконтролера, сенсорів та Wi-Fi-з'єднання.
3. Зчитування даних від ультразвукового сигналізатора.
4. Зчитування температури та рівня диму.
5. Фільтрація випадкових відхилень і перевірка коректності даних.
6. Розрахунок швидкості поширення ультразвукового сигналу з урахуванням температури.
7. Визначення відхилень поточних параметрів від нормального стану.
8. Порівняння отриманих значень із пороговими критеріями.
9. Формування стану системи.
10. Запис даних у базу даних.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

11. Передавання повідомлення користувачу у разі виникнення небезпечної ситуації.

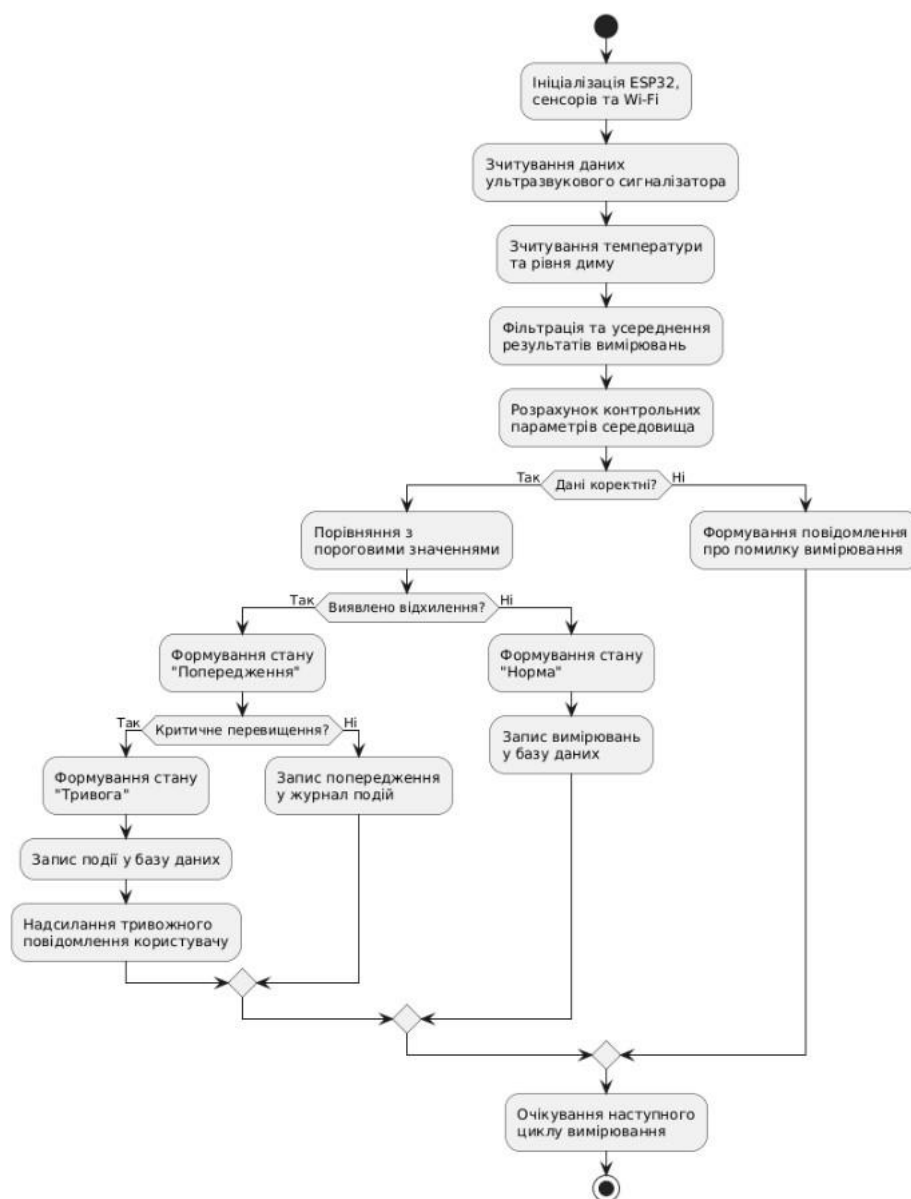


Рисунок 2.9 - Алгоритм моніторингу та формування тривожних повідомлень

У запропонованому алгоритмі передбачено поетапну перевірку стану середовища. Спочатку система оцінює коректність отриманих даних, оскільки помилки сенсорів або тимчасові збої зв'язку можуть призвести до хибного спрацювання. Після цього відбувається порівняння вимірних параметрів із

пороговими значеннями. Для підвищення достовірності прийняття рішення доцільно використовувати не один параметр, а сукупність ознак. Наприклад, стан «Тривога» може формуватися лише за умови одночасного перевищення температурного порогу, зміни характеристик ультразвукового сигналу та наявності диму. У спрощеному вигляді умову формування тривоги можна подати так:

$$A = \begin{cases} 1, & \text{якщо } T > T_{\text{кр}} \wedge \Delta U > \Delta U_{\text{кр}} \wedge S > S_{\text{кр}}, \\ 0, & \text{в інших випадках,} \end{cases}$$

де A — стан тривоги; T — поточна температура; $T_{\text{кр}}$ — критичне значення температури; ΔU — зміна параметрів ультразвукового сигналу; $\Delta U_{\text{кр}}$ — критичне значення зміни ультразвукового сигналу; S — рівень диму; $S_{\text{кр}}$ — критичне значення рівня диму.

Таблиця 2.6 – Порогові стани системи моніторингу

Стан системи	Умови формування	Дія системи
Норма	Параметри перебувають у допустимих межах	Запис даних у базу, продовження моніторингу
Попередження	Виявлено незначне перевищення одного параметра	Запис події, відображення попередження
Тривога	Перевищено критичні значення кількох параметрів	Формування тривоги та надсилання повідомлення
Помилка	Дані від сенсора відсутні або некоректні	Формування повідомлення про несправність

Формування тривожних повідомлень

У разі переходу системи у стан «Тривога» формується тривожне повідомлення. Воно повинно містити основну інформацію, необхідну для оперативного реагування:

- ідентифікатор пристрою;
- місце встановлення;

- тип події;
- поточні значення параметрів;
- дату та час події;
- рівень небезпеки.

Приклад структури повідомлення

```
{
  "device_id": "fire_node_01",
  "location": "Laboratory room",
  "event": "fire_alarm",
  "temperature": 72.5,
  "smoke_level": 480,
  "ultrasonic_delta": 18.4,
  "level": "critical",
  "timestamp": "2026-06-17T22:10:00"
}
```

Передавання повідомлень може здійснюватися через MQTT, HTTP-запит, Telegram-бот, електронну пошту або push-сповіщення. У межах бакалаврської роботи доцільним є використання вебінтерфейсу та Telegram-сповіщень, оскільки такі засоби є простими в реалізації та зручними для користувача.

```
Початок
Ініціалізувати ESP32, сенсори та Wi-Fi
Поки система увімкнена:
  Зчитати ультразвукові дані
  Зчитати температуру
  Зчитати рівень диму
  Виконати фільтрацію та усереднення
  Якщо дані некоректні:
    сформувати повідомлення про помилку
  Інакше:
    порівняти параметри з порогоми
    якщо параметри в нормі:
      записати вимірювання у базу даних
    якщо є незначне перевищення:
      сформувати попередження
    якщо є критичне перевищення:
      сформувати тривогу
      записати подію у базу даних
      надіслати повідомлення користувачу
    Очікувати наступного циклу
Кінець
```

Рисунок 2.10 - Псевдокод алгоритму

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

Розроблений алгоритм забезпечує послідовний контроль параметрів середовища, аналіз вимірювальної інформації, виявлення пожежонебезпечних ситуацій і формування тривожних повідомлень. Використання багатопараметричного підходу дозволяє підвищити достовірність роботи системи та зменшити ймовірність хибних спрацювань.

Висновки до другого розділу

Спроектовано вимірювальний канал ультразвукового сигналізатора, до складу якого входять генератор імпульсів, ультразвуковий передавач і приймач, підсилювач сигналу, смуговий фільтр, аналого-цифровий перетворювач та мікроконтролерний модуль. Обґрунтовано використання ультразвукового сенсора як основного джерела вимірювальної інформації та визначено принципи його інтеграції із системою моніторингу.

Розроблено математичну модель ультразвукового каналу вимірювання, яка описує процес поширення ультразвукових хвиль у контрольованому середовищі та враховує вплив температури на швидкість поширення сигналу. На основі побудованої моделі визначено залежності між параметрами середовища та характеристиками вимірювального сигналу, що дозволяє використовувати їх для виявлення ознак пожежонебезпечних ситуацій.

Проведено аналіз основних джерел похибок вимірювального каналу, серед яких найбільший вплив мають температурні зміни середовища, шумові складові, нестабільність параметрів електронних компонентів та зовнішні завади. Запропоновано комплекс заходів щодо підвищення точності вимірювань, який включає температурну компенсацію, цифрову фільтрацію сигналів, усереднення результатів вимірювань та програмну обробку даних.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 Вибір апаратних засобів реалізації системи

Одним із важливих етапів розроблення системи інформаційновимірювального моніторингу виникнення пожежі є вибір апаратних засобів, які забезпечуватимуть збір, обробку, передачу та відображення вимірювальної інформації. Від правильності вибору апаратної платформи залежить надійність функціонування системи, точність вимірювань, швидкість обробки даних та можливість інтеграції із сучасними технологіями Інтернету речей.

При виборі апаратних засобів враховувалися такі критерії:

- продуктивність обчислювальної платформи;
- підтримка бездротових технологій передачі даних;
- енергоспоживання;
- вартість реалізації;
- простота програмування;
- сумісність із сенсорними модулями;
- можливість роботи в IoT-середовищі.

Для реалізації системи розглянуто три найбільш поширені платформи: Arduino Uno, ESP32 та Raspberry Pi. Порівняльний аналіз мікроконтролерних платформ

Arduino Uno є однією з найпоширеніших платформ для побудови простих інформаційно-вимірювальних систем. Основною перевагою даної плати є простота програмування та велика кількість доступних бібліотек. Однак відсутність вбудованих засобів бездротового зв'язку потребує використання додаткових модулів Wi-Fi або GSM, що збільшує вартість системи та її енергоспоживання.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ESP32 являє собою сучасний мікроконтролер із двоядерним процесором, вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, значним обсягом пам'яті й низьким енергоспоживанням. Завдяки підтримці технологій Інтернету речей він широко застосовується у системах моніторингу та автоматизації.

Raspberry Pi є одноплатним комп'ютером із повноцінною операційною системою Linux. Його продуктивність значно перевищує можливості мікроконтролерів, однак використання Raspberry Pi для задач збору простих вимірювальних даних є надлишковим та призводить до збільшення вартості системи.

Таблиця 3.1 – Порівняння апаратних платформ

Характеристика	Arduino Uno	ESP32	Raspberry Pi 4
Частота процесора	16 МГц	240 МГц	1.5 ГГц
Оперативна пам'ять	2 КБ	520 КБ	2–8 ГБ
Wi-Fi	Ні	Так	Так
Bluetooth	Ні	Так	Так
Аналогові входи	6	18	Немає
Споживана потужність	Низька	Низька	Висока
Вартість	Низька	Низька	Висока
Підтримка IoT	Обмежена	Висока	Висока

За результатами аналізу для реалізації системи обрано платформу ESP32, яка забезпечує оптимальне співвідношення між продуктивністю, функціональністю та вартістю.

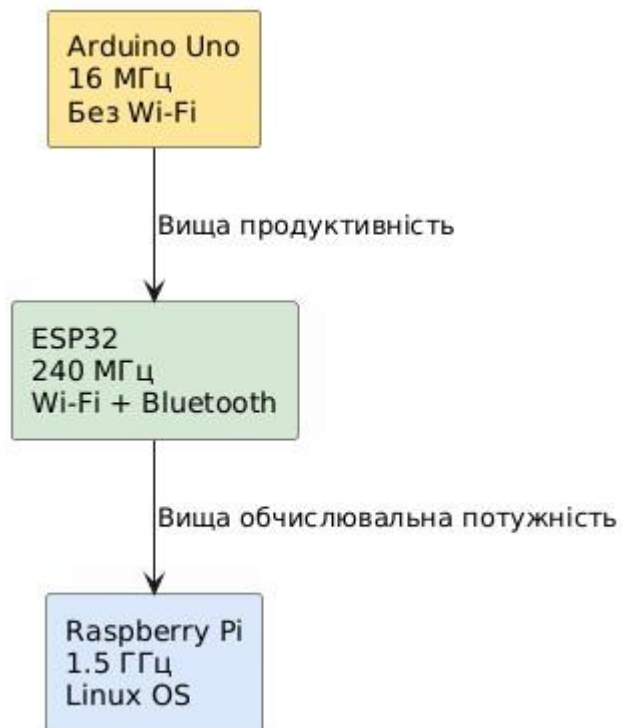


Рисунок 3.1 - Порівняння апаратних платформ

Основним вимірювальним елементом системи є ультразвуковий датчик. Для реалізації проєкту обрано модуль HC-SR04, який забезпечує вимірювання відстані на основі визначення часу проходження ультразвукового імпульсу. Принцип роботи датчика полягає у формуванні короткого ультразвукового імпульсу частотою 40 кГц та вимірюванні часу до надходження відбитого сигналу. Основні характеристики HC-SR04 наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики ультразвукового датчика HC-SR04

Параметр	Значення
Робоча частота	40 кГц
Дальність вимірювання	2–400 см
Точність	±3 мм
Кут огляду	15°
Напруга живлення	5 В
Струм споживання	до 15 мА

Перевагами HC-SR04 є низька вартість, простота підключення та достатня точність для задач моніторингу.

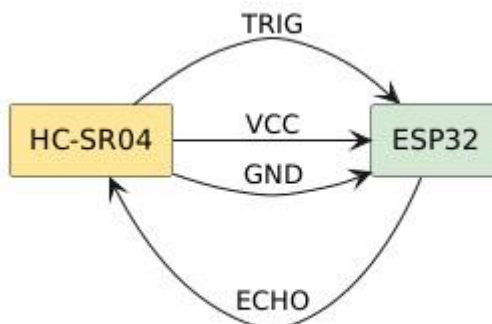


Рисунок 3.2 - Підключення ультразвукового датчика до ESP32

Вибір бездротового модуля зв'язку. Для передачі інформації до системи моніторингу можуть використовуватися технології Wi-Fi або GSM. Технологія GSM забезпечує передачу даних через мережу мобільного зв'язку та є ефективною для віддалених об'єктів, де відсутнє покриття локальної мережі Wi-Fi. Проте використання GSM потребує встановлення SIM-карти та додаткових витрат на послуги оператора зв'язку.

У розроблюваній системі основним способом передавання даних обрано Wi-Fi, оскільки модуль ESP32 вже містить вбудований мережевий адаптер та підтримує підключення до локальної мережі без використання додаткового обладнання.

Таблиця 3.3 – Порівняння технологій передачі даних

Параметр	Wi-Fi	GSM
Швидкість передачі	Висока	Середня
Вартість експлуатації	Відсутня	Потребує оплати
Радіус дії	До 100 м	Практично необмежений
Споживання енергії	Низьке	Високе
Простота інтеграції з ESP32	Висока	Середня

З урахуванням умов експлуатації системи та необхідності інтеграції з IoT-платформою доцільним є використання Wi-Fi як основного каналу передачі даних. Остаточна конфігурація апаратної частини системи.

На основі проведеного аналізу сформовано склад апаратного забезпечення системи моніторингу пожежі:

- мікроконтролер ESP32;
- ультразвуковий датчик HC-SR04;
- датчик температури DHT22;
- датчик диму MQ-2;
- вбудований Wi-Fi-модуль ESP32;
- блок живлення 5 В;
- сервер моніторингу або хмарна IoT-платформа.

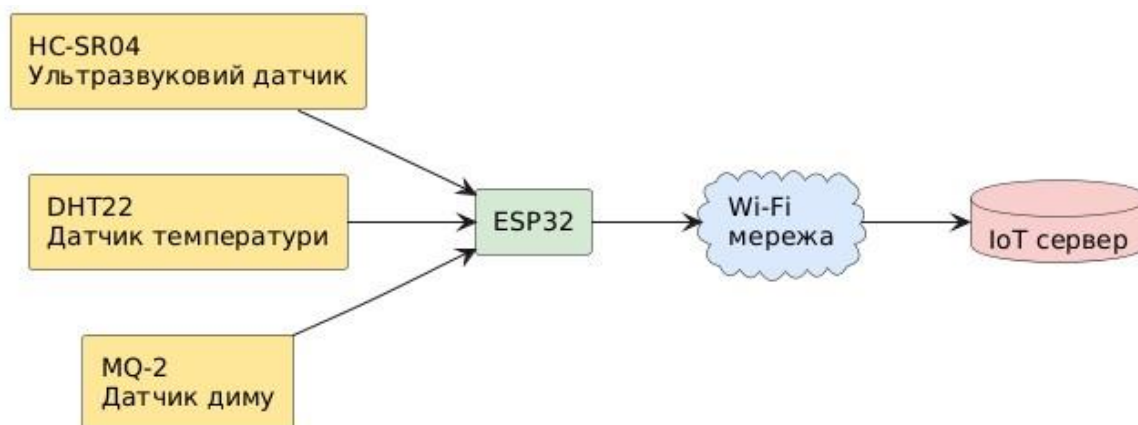


Рисунок 3.3 - Склад апаратного забезпечення системи

Таким чином, у результаті проведеного аналізу для реалізації системи інформаційно-вимірювального моніторингу пожежі обрано мікроконтролер ESP32 як центральний елемент обробки даних, ультразвуковий датчик HC-SR04 як основний вимірювальний сенсор та вбудований Wi-Fi-модуль для передачі інформації до віддаленої системи моніторингу. Запропонована конфігурація забезпечує необхідну функціональність, низьку вартість реалізації та підтримку технологій Інтернету речей.

3.2 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера

Програмне забезпечення мікроконтролера є центральною частиною системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі, оскільки саме воно забезпечує зчитування даних із сенсорів, їх первинну обробку, перевірку на відповідність пороговим значенням, формування сигналу тривоги та передавання інформації до IoT-системи. У розроблюваній системі як апаратну платформу обрано мікроконтролер ESP32, що має достатню продуктивність, вбудований Wi-Fi-модуль та підтримує роботу з різними сенсорними пристроями.

Програмне забезпечення ESP32 виконує такі основні функції: ініціалізацію апаратних компонентів, зчитування сигналів з ультразвукового датчика, отримання температурних даних, аналіз результатів вимірювань, формування стану системи, передавання даних на сервер моніторингу та активацію локального сповіщення у разі виявлення пожежонебезпечної ситуації.

Структура програмного забезпечення мікроконтролера. Програмна частина мікроконтролера має модульну структуру. Це дозволяє спростити налагодження системи, забезпечити можливість подальшого розширення функціональності та підключення нових сенсорів. Основними програмними модулями, є, таблиця 3.4.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.4. Основні модулі

Модуль	Призначення
Модуль ініціалізації	Налаштування портів, сенсорів, Wi-Fi та службових параметрів
Модуль зчитування даних	Отримання даних від ультразвукового датчика, датчика температури та диму
Модуль фільтрації	Усереднення вимірювань і зменшення впливу випадкових завад
Модуль аналізу	Порівняння параметрів із пороговими значеннями
Модуль тривоги	Формування станів «норма», «попередження», «тривога»
Модуль передавання даних	Передача інформації через Wi-Fi на сервер або ІоТплатформу
Модуль локального сповіщення	Керування світловим або звуковим індикатором

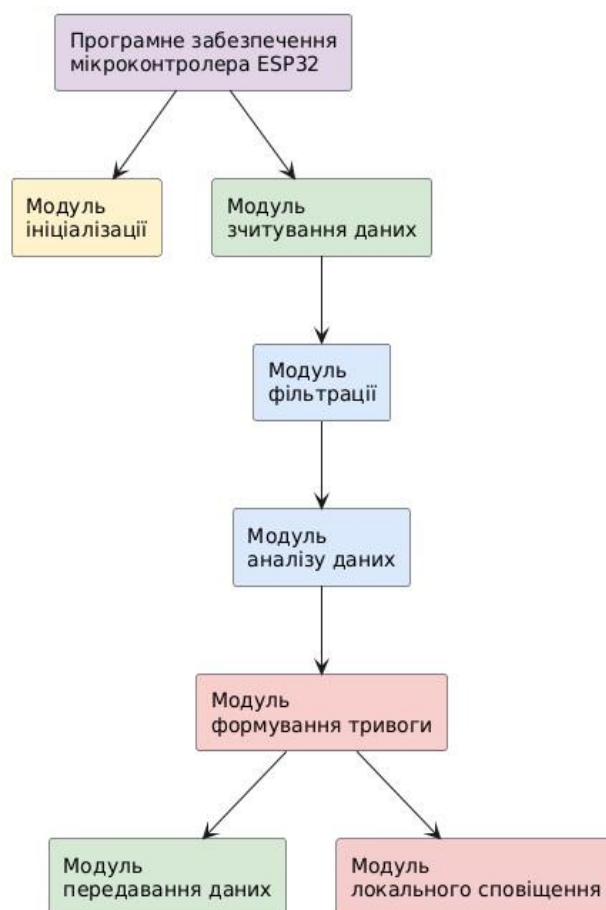


Рисунок 3.4 - Структура програмного забезпечення мікроконтролера

Програмний цикл роботи мікроконтролера побудований за принципом періодичного опитування сенсорів. Після запуску системи виконується ініціалізація апаратних портів, встановлення з'єднання з Wi-Fi-мережею та перевірка працездатності сенсорів. Після цього мікроконтролер переходить до основного циклу, у якому через визначений інтервал часу зчитує значення контрольованих параметрів. Алгоритм роботи програмного забезпечення ESP32



Рисунок 3.5 - Алгоритм роботи програмного забезпечення мікроконтролера

Алгоритм роботи програмного забезпечення складається з таких етапів:

1. Запуск мікроконтролера.
2. Ініціалізація сенсорів і портів введення-виведення.
3. Підключення до Wi-Fi-мережі.
4. Зчитування даних з ультразвукового датчика.
5. Зчитування температури та рівня диму.
6. Усереднення результатів вимірювань.
7. Порівняння значень із пороговими параметрами.
8. Формування стану системи.
9. Передавання даних на сервер.
10. Активація локального сигналу у разі тривоги.
11. Перехід до наступного циклу вимірювання.

Для програмної реалізації доцільно використовувати середовище Arduino IDE або PlatformIO. У межах бакалаврської роботи Arduino IDE є зручним варіантом, оскільки має простий інтерфейс, підтримує ESP32 та дозволяє швидко підключати необхідні бібліотеки.

У наведеному фрагменті коду реалізовано основні функції мікроконтролера: зчитування даних з ультразвукового датчика, датчика температури та датчика диму, перевірку порогових умов, керування звуковим сигналізатором і передавання інформації на сервер за допомогою HTTP-запиту.

Важливою особливістю програмного забезпечення є використання базового значення відстані `baseDistance`, яке визначається під час запуску системи. Надалі поточні значення порівнюються з цим еталонним рівнем, що дозволяє виявляти зміни у контрольованій зоні.

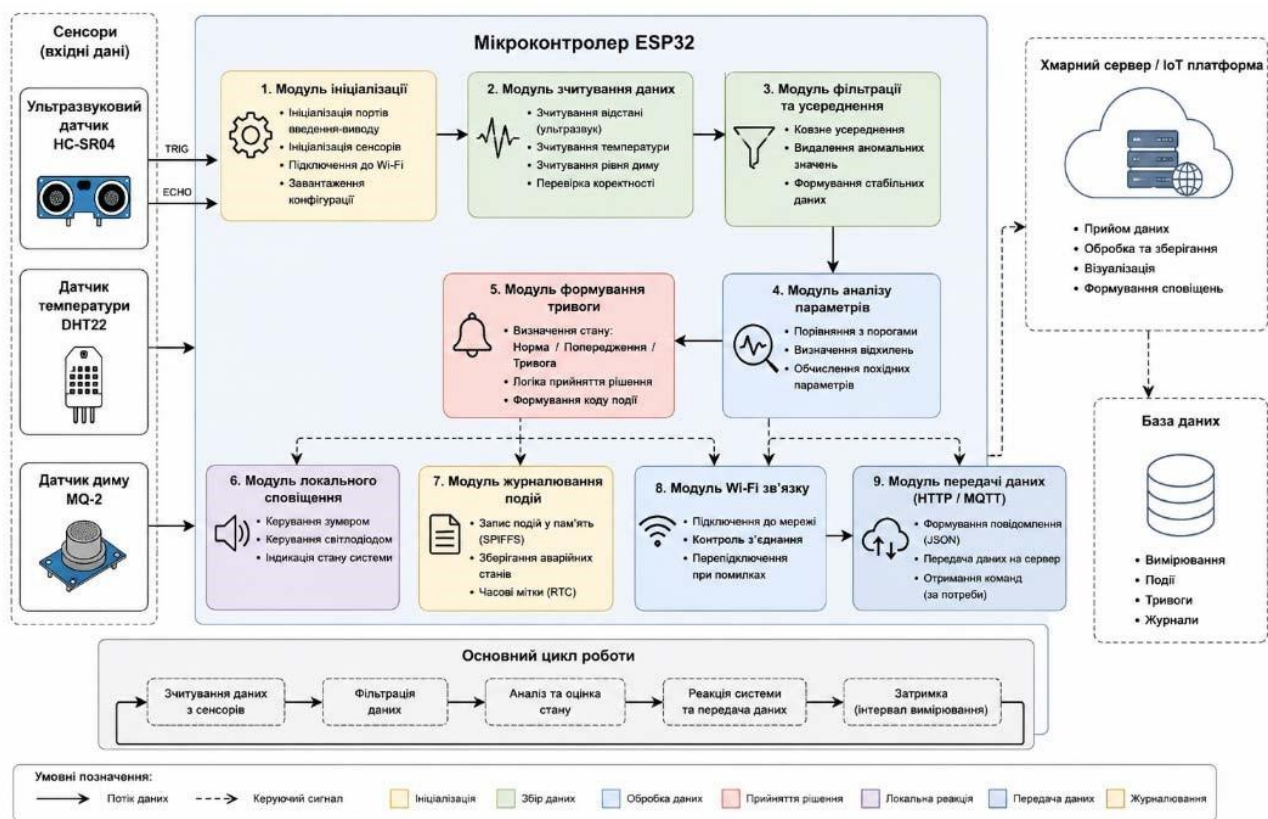


Рис. 3.6. Архітектура програмного забезпечення мікроконтрорлера

Таблиця 3.4 – Основні змінні програмного забезпечення

Змінна	Призначення
distance	Поточне значення відстані, отримане з ультразвукового датчика
baseDistance	Базове значення відстані у нормальному стані
temperature	Поточне значення температури повітря
smoke	Поточний рівень диму або газової концентрації
alarm	Логічна ознака виникнення тривоги
TEMP_LIMIT	Граничне значення температури
SMOKE_LIMIT	Граничне значення рівня диму
DISTANCE_DELTA_LIMIT	Допустиме відхилення ультразвукового параметра

Розроблене програмне забезпечення мікроконтрорлера забезпечує повний цикл функціонування IoT-вузла: збір вимірювальної інформації, її обробку, прийняття рішення щодо пожежонебезпечної ситуації, локальне оповіщення та передавання даних до серверної частини системи моніторингу.

3.3 Реалізація серверної частини IoT-системи

Серверна частина IoT-системи моніторингу пожежі призначена для приймання, обробки, зберігання та відображення вимірювальної інформації, що надходить від мікроконтролера ESP32. Вона є проміжною ланкою між апаратним рівнем системи та користувацьким інтерфейсом. Саме серверна частина забезпечує централізоване накопичення даних, формування подій тривоги, передавання повідомлень користувачам і надання доступу до історії вимірювань.

У розроблюваній системі сервер отримує дані від ESP32 через мережу Інтернет за допомогою HTTP-запитів або MQTT-повідомлень. У межах бакалаврської роботи доцільним є використання HTTP API, оскільки такий підхід простий у реалізації, добре підтримується більшістю мов програмування та зручний для передавання структурованих даних у форматі JSON.

Основні функції серверної частини. Серверна частина системи виконує такі функції:

- приймання вимірювальних даних від ESP32;
- перевірка коректності отриманих параметрів;
- запис даних у базу даних;
- визначення стану системи;
- формування подій тривоги;
- передавання інформації до вебінтерфейсу;
- зберігання історії вимірювань;
- формування повідомлень користувачу.

У загальному вигляді серверна частина складається з API-модуля, модуля обробки даних, бази даних, модуля тривожних подій та вебінтерфейсу моніторингу.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 3.7 - Структура серверної частини IoT-системи

Серверна частина реалізує логіку приймання даних від пристроїв. Мікроконтролер формує JSON-повідомлення, яке містить ідентифікатор пристрою, значення температури, рівень диму, параметри ультразвукового сигналу та стан тривоги. Після надходження запиту сервер перевіряє структуру отриманих даних, типи параметрів і наявність обов'язкових полів.

Якщо дані є коректними, вони записуються до таблиці вимірювань. У разі перевищення порогових значень сервер формує окрему подію тривоги, яка зберігається в таблиці alerts та передається до модуля сповіщень.

Логіка роботи серверного API. Для реалізації серверної частини можна використати Node.js з фреймворком Express або Python з фреймворком Flask. У межах IoT-системи ці технології є зручними, оскільки дозволяють швидко створити API для приймання даних і взаємодії з базою даних. Основними маршрутами серверного API є:

Таблиця 3.5 – Основні маршрути

Метод	Маршрут	Призначення
POST	/api/measurements	Приймання нових вимірювань від ESP32
GET	/api/measurements	Отримання історії вимірювань
GET	/api/measurements/latest	Отримання останнього стану системи
GET	/api/alerts	Отримання списку тривожних подій
POST	/api/alerts	Створення тривожної події
GET	/api/devices	Отримання списку пристроїв

Наведений приклад демонструє базову логіку роботи серверної частини. У практичній реалізації замість списків measurements та alerts використовується база даних MySQL, PostgreSQL або Firebase. Це дозволяє забезпечити надійне зберігання історії вимірювань та подій.

Обробка вимірювальної інформації. Після отримання даних сервер виконує їх перевірку та нормалізацію. Перевіряється наявність обов'язкових параметрів, коректність числових значень, ідентифікатор пристрою та часові мітки. Некоректні або неповні повідомлення не записуються у базу даних, а сервер повертає відповідь із кодом помилки.

У разі успішної перевірки дані записуються до таблиці measurements. Якщо один або декілька параметрів перевищують допустимі межі, створюється запис у таблиці alerts.

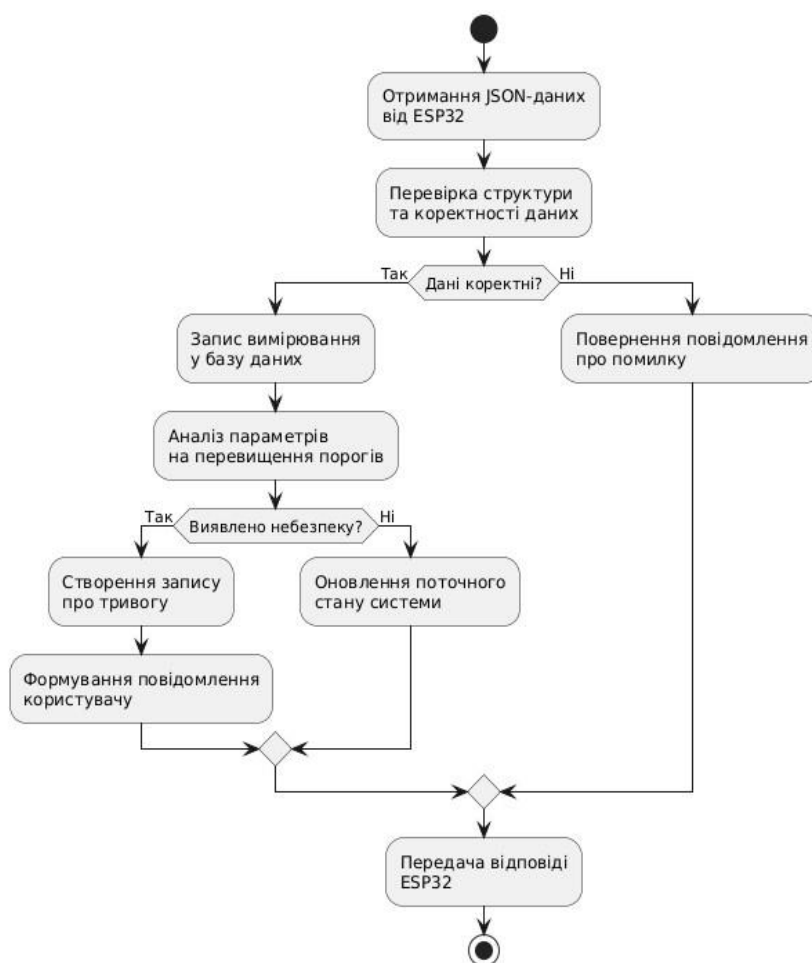


Рисунок 3.8 - Алгоритм роботи серверної частини IoT-системи

Таблиця 3.6 – Дані, які обробляє серверна частина

Поле	Тип даних	Призначення
device_id	String	Ідентифікатор IoT-пристрою
temperature	Float	Поточна температура середовища
smoke_level	Float	Рівень диму або газової концентрації
ultrasonic_distance	Float	Значення відстані або зміни середовища
ultrasonic_signal	Float	Рівень ультразвукового сигналу
alarm_state	Boolean	Ознака тривожного стану
created_at	DateTime	Дата і час отримання вимірювання

Серверна частина взаємодіє з базою даних через модуль доступу до даних. Основними операціями є додавання нових вимірювань, отримання останнього стану системи, перегляд історії вимірювань і формування списку тривожних подій.

У разі виявлення пожежонебезпечної ситуації сервер формує повідомлення, яке передається користувачу через вебінтерфейс, мобільний застосунок, Telegram-бот або електронну пошту. Повідомлення повинно містити ідентифікатор пристрою, місце встановлення, рівень небезпеки, значення контрольованих параметрів і час події.

Серверна частина IoT-системи забезпечує приймання вимірювальної інформації від ESP32, її перевірку, зберігання, аналіз і передавання результатів користувачу. Вона є ключовим компонентом системи моніторингу пожежі, оскільки забезпечує централізовану обробку даних, формування тривожних подій та інтеграцію апаратної частини із засобами візуалізації і сповіщення.

3.4 Розробка вебінтерфейсу моніторингу

Вебінтерфейс моніторингу є прикладним рівнем IoT-системи та призначений для візуального відображення стану контрольованого середовища, результатів вимірювань, тривожних повідомлень і журналу подій. Його

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		64

використання забезпечує зручну взаємодію користувача із системою, дає змогу оперативно оцінювати пожежонебезпечний стан об'єкта та приймати рішення щодо реагування.

Основним завданням вебінтерфейсу є подання інформації, яка надходить від серверної частини системи, у зрозумілій і наочній формі. Користувач повинен мати можливість переглядати поточні значення температури, рівня диму, параметрів ультразвукового сигналу, стан пристрою, час останнього оновлення даних, а також повідомлення про виникнення небезпечних ситуацій.

Вебінтерфейс розроблюваної системи доцільно реалізувати у вигляді інформаційної панелі, яка складається з кількох функціональних блоків: панелі поточного стану, блоку вимірювальних параметрів, графіків зміни показників, журналу тривог та блоку керування системою.

Основні функції вебінтерфейсу. Вебінтерфейс системи моніторингу пожежі повинен забезпечувати:

- відображення поточного стану системи;
- візуалізацію вимірювальних даних у режимі реального часу;
- перегляд історії температури, рівня диму та ультразвукового сигналу;
- відображення тривожних повідомлень;
- перегляд журналу подій;
- контроль стану підключення IoT-пристрою;
- можливість оновлення даних без перезавантаження сторінки.
- Панель поточного стану призначена для швидкого відображення загального режиму роботи системи. Вона може містити один із таких станів: «Норма», «Попередження», «Тривога» або «Помилка зв'язку». Для підвищення зручності сприйняття кожен стан доцільно позначати окремим кольором та відповідною піктограмою.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

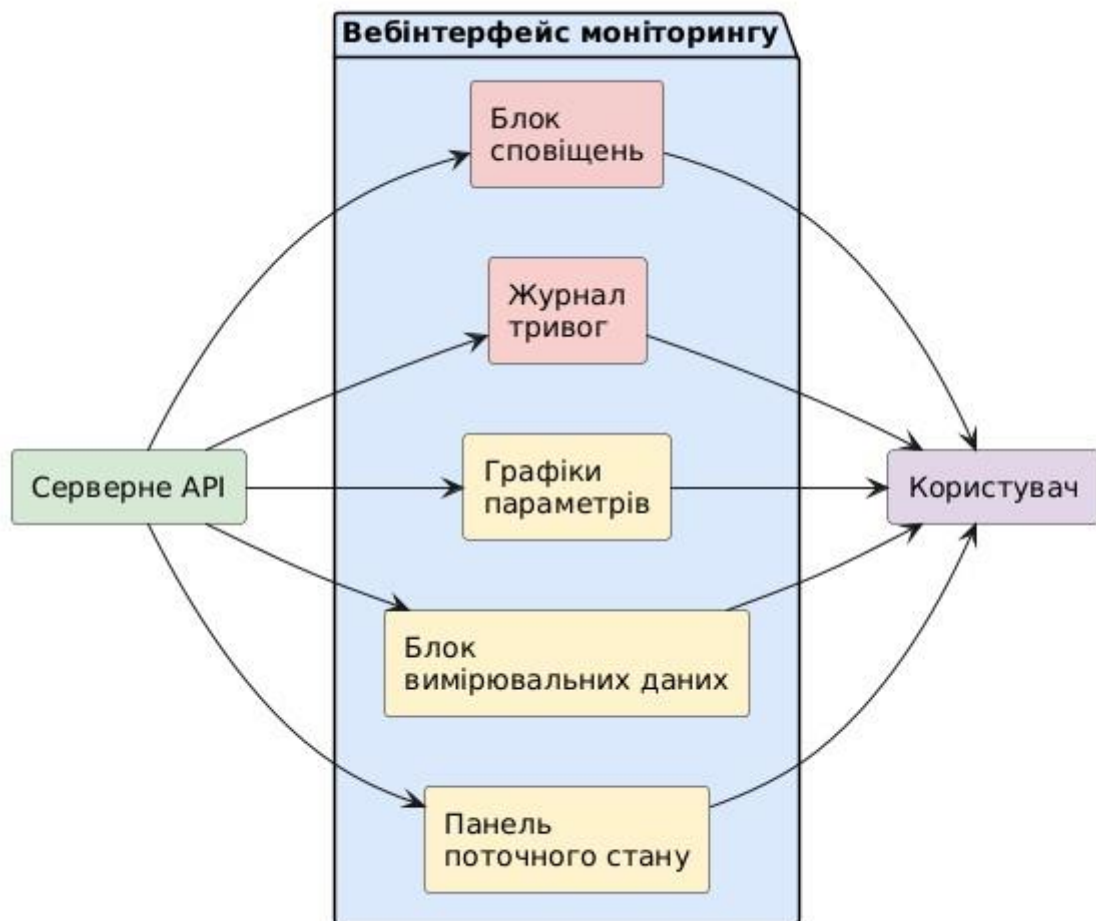


Рисунок 3.9 - Структура вебінтерфейсу моніторингу

Блок вимірювальних даних відображає останні отримані значення параметрів середовища. До таких параметрів належать температура повітря, рівень диму, значення ультразвукової відстані або рівня сигналу, а також час останнього оновлення. Цей блок дозволяє користувачу швидко оцінити поточний стан контролюваного об'єкта.

Графічний блок використовується для візуалізації динаміки зміни параметрів у часі. Наприклад, графік температури дозволяє оцінити швидкість її зростання, а графік ультразвукового сигналу — зафіксувати аномальні зміни середовища. Такий підхід підвищує інформативність системи та полегшує аналіз передаварійних станів.

Журнал тривоги призначений для збереження та відображення інформації про всі зафіксовані небезпечні події. У журналі доцільно відображати дату й час події, ідентифікатор пристрою, тип тривоги, рівень небезпеки та короткий опис ситуації.

Таблиця 3.7 – Основні елементи вебінтерфейсу

Елемент інтерфейсу	Призначення
Панель стану	Відображення поточного режиму роботи системи
Картки параметрів	Показ температури, диму та ультразвукового сигналу
Графіки	Візуалізація зміни параметрів у часі
Журнал подій	Перегляд історії тривог і попереджень
Блок сповіщень	Відображення активних повідомлень
Індикатор зв'язку	Контроль підключення ESP32 до сервера

Для реалізації вебінтерфейсу можуть бути використані HTML, CSS і JavaScript. Для побудови графіків доцільно застосувати бібліотеки Chart.js або Recharts. Обмін даними між вебінтерфейсом і серверною частиною здійснюється через HTTP-запити до API.

Для реалізації вебінтерфейсу можуть бути використані HTML, CSS і JavaScript. Для побудови графіків доцільно застосувати бібліотеки Chart.js або Recharts. Обмін даними між вебінтерфейсом і серверною частиною здійснюється через HTTP-запити до API.

Вебінтерфейс є важливим компонентом системи моніторингу пожежі, який забезпечує відображення вимірювальної інформації, контроль стану системи та оперативне інформування користувача. Запропонована структура інтерфейсу дозволяє поєднати поточні показники, графіки, журнал подій і тривожні повідомлення в єдиній інформаційній панелі. Це підвищує зручність використання системи та забезпечує ефективний контроль пожежонебезпечних ситуацій.

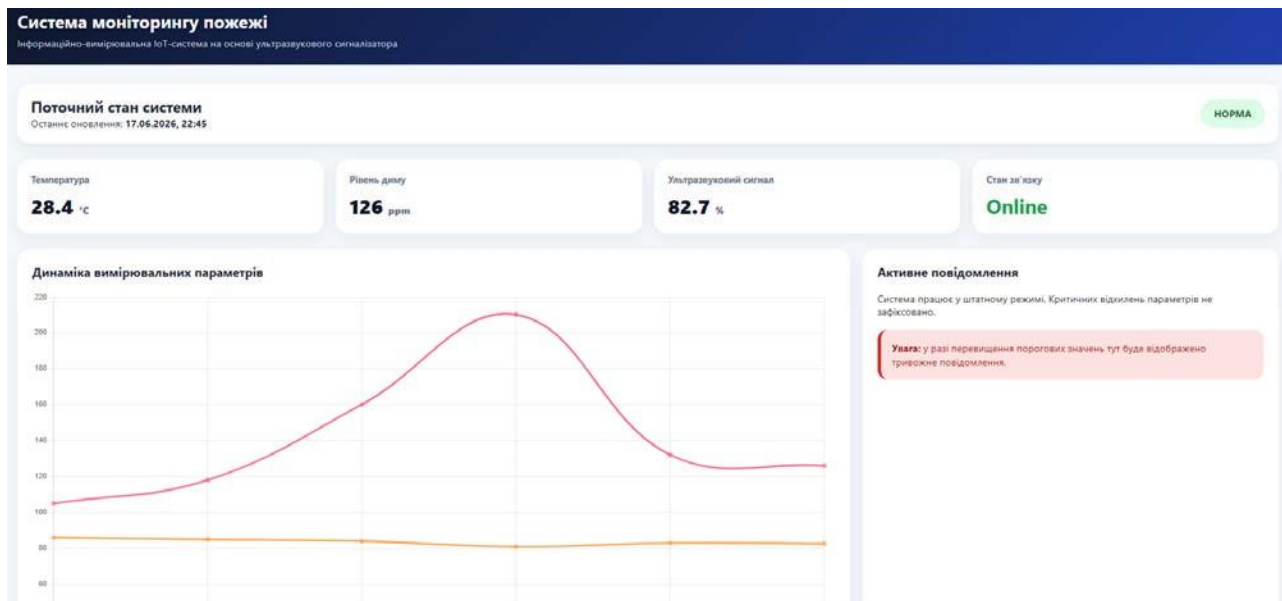


Рисунок 3.10 - Головна екранна форма

3.5 Структурна та функціональна схеми системи

На основі обраної елементної бази розроблено структурну схему інформаційно-вимірвальної системи моніторингу виникнення пожежі (рис. 3.1). Система складається з блоку первинних перетворювачів (датчиків), центрального обробляючого блоку (мікроконтролера), блоку виконавчих пристроїв (оповіщувачів) та блоку відображення інформації.

Функціонально система працює таким чином. У стартовому режимі мікроконтролер виконує процедуру самотестування: перевіряє наявність відповіді від кожного датчика, тестує оповіщувачі шляхом короткого ввімкнення. Якщо всі підсистеми справні, активується зелений світлодіод і дисплей відображає повідомлення «System OK».

У робочому режимі мікроконтролер циклічно опитує датчики з періодом близько 500 мс. Послідовність опитування така: спочатку запускається ультразвукове вимірювання (тригерний імпульс на TRIG, очікування ECHO, розрахунок часу проходження), потім читається аналогове значення температурного датчика, далі - значення газового сенсора. Прочитані значення

проходять через цифрову фільтрацію (плаваюче середнє по 5 вимірюваннях) для усунення випадкових викидів.

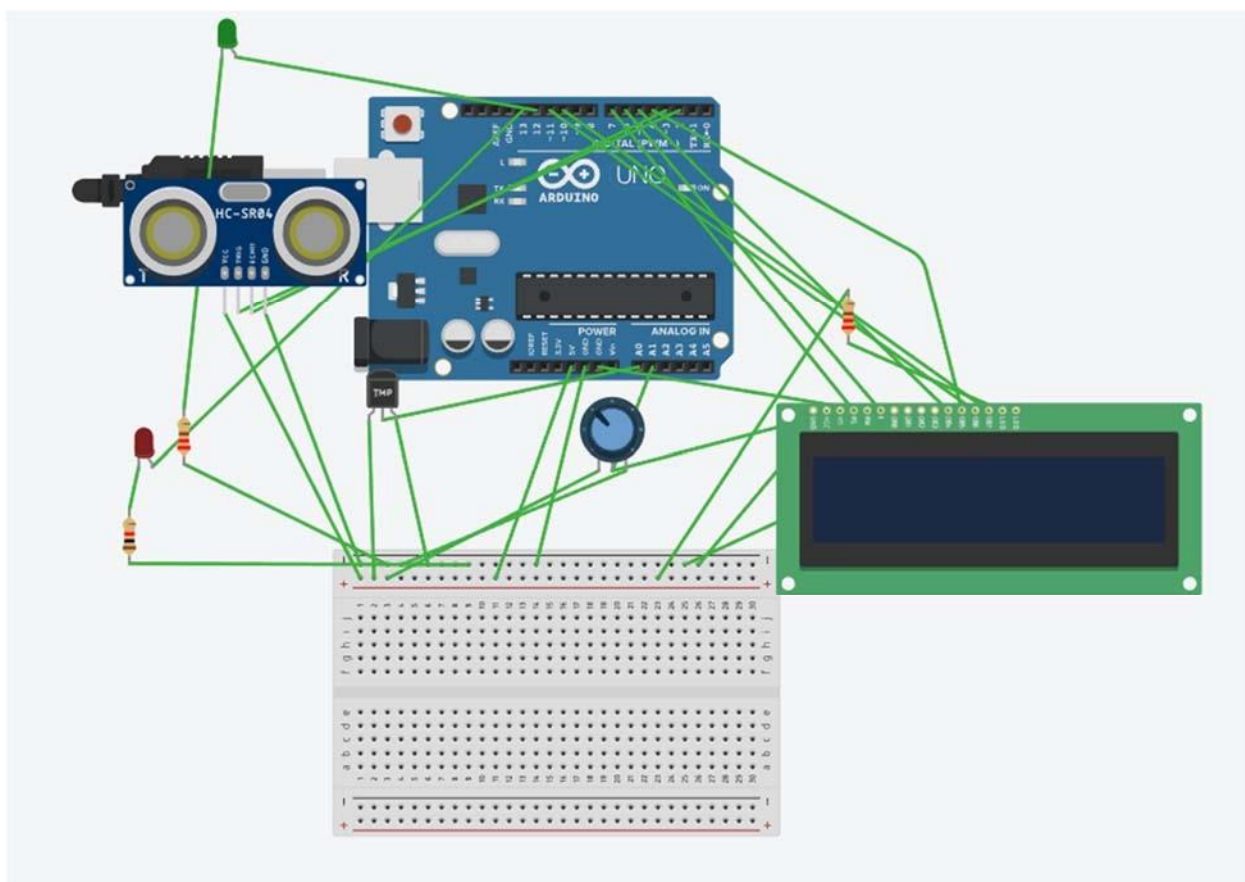


Рисунок 3.11 - Структурна схема ІВС моніторингу пожежі

Відфільтровані значення порівнюються з пороговими. Якщо порогове значення перевищене за певним каналом, відповідна логічна змінна встановлюється в 1. Після опитування всіх каналів виконується мажоритарне голосування за формулою з підрозділу 2.3. У разі активації сигналу «АЛАРМ» мікроконтролер вмикає звукову сигналізацію (buzzer) у переривчастому режимі (200 мс ввімкнено / 200 мс вимкнено), починає блимати червоним світлодіодом, і на дисплей виводиться повідомлення «FIRE ALARM!» з вказанням каналу, який спрацював першим.

Функціональна схема системи показує конкретні з'єднання між компонентами та відображає електричні зв'язки. Виводи мікроконтролера

розподілено таким чином: D2 - TRIG модуля HC-SR04; D3 - ECHO модуля HCSR04; D8 - buzzer; D12 - зелений LED; D13 - червоний LED; A0 - вихід TMP36; A1 - аналоговий вихід MQ-2; A4 і A5 - лінії I2C для LCD.

Логіка розподілу виводів обрана так, щоб залишити вільними виводи, необхідні для подальшого розширення системи (наприклад, підключення модулів Wi-Fi або GSM для віддалених сповіщень).

Розглянемо більш детально процес взаємодії підсистем у штатному режимі роботи. Після подачі живлення мікроконтролер виконує процедуру ініціалізації: налаштовуються режими роботи цифрових виводів (вхід/вихід), ініціалізується послідовний порт UART для діагностики, ініціалізується дисплей LCD, виконується самотестування підсистеми оповіщення (короткочасне ввімкнення зеленого і червоного світлодіодів та бузера для підтвердження їх працездатності).

Окремою важливою процедурою є калібрування ультразвукового каналу при першому запуску. Протягом 1–2 секунд після ініціалізації мікроконтролер виконує серію вимірювань відстані до контрольної поверхні (10 послідовних вимірювань з періодом 100 мс), обчислює середнє значення та зберігає його як еталонне (baseline). Це значення в подальшому використовується для виявлення відхилень. Якщо протягом цього часу датчик не виявляє стабільної відстані (наприклад, через відсутність відбивача в зоні дії), на дисплей виводиться повідомлення про помилку, і система переходить у режим непрацездатності.

В основному циклі роботи мікроконтролер виконує такі дії з періодом 500 мс:

1) Запуск ультразвукового вимірювання - формується тригерний імпульс на виводі TRIG модуля HC-SR04, потім вимірюється тривалість сигналу ECHO за допомогою функції `pulseIn()` з таймаутом 30 мс. На основі тривалості обчислюється поточна відстань до перешкоди.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

2) Читання температурного каналу - виконується аналого-цифрове перетворення на вході А0, отримане значення конвертується в напругу, а потім в температуру за формулою (3.3).

3) Читання газового каналу - виконується АЦП на вході А1, результат використовується безпосередньо як індикатор рівня задимлення.

4) Перевірка порогових значень - для кожного каналу окремо. Якщо температура перевищує 50 °С, встановлюється прапорець temp_alarm. Якщо рівень задимлення перевищує 400, встановлюється smoke_alarm. Якщо відносне відхилення відстані від еталонного значення перевищує 5 %, встановлюється us_alarm.

5) Підрахунок кількості активних каналів. Якщо вона ≥ 2 , активується режим тривоги; інакше - режим норми.

6) Виконання відповідних дій згідно з активним режимом: миготіння червоним світлодіодом та звуковий сигнал з періодом 200 мс у режимі тривоги; постійне світіння зеленого світлодіода в режимі норми.

7) Оновлення інформації на РК-дисплеї та виведення діагностичних повідомлень в послідовний порт.

Така архітектура забезпечує надійну роботу системи з можливістю діагностики через серійний монітор Arduino IDE або Tinkercad.

3.6 Реалізація системи в середовищі Tinkercad

3.6.1 Реалізація системи

Для перевірки працездатності розробленої системи інформаційновимірjuвального моніторингу виникнення пожежі було виконано її моделювання в середовищі Tinkercad Circuits. Використання даного середовища дозволяє здійснити віртуальне проектування електронних схем, перевірити

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

правильність підключення компонентів, протестувати алгоритми керування та оцінити роботу системи без необхідності використання фізичного обладнання.

Середовище Tinkercad надає можливість створення електронних схем на базі платформ Arduino та інших мікроконтролерів, а також підтримує моделювання роботи датчиків, світлодіодних індикаторів, звукових сигналізаторів і засобів керування. Завдяки цьому воно широко використовується для навчальних і дослідницьких проєктів у сфері Інтернету речей та вбудованих систем.

У межах бакалаврської роботи в середовищі Tinkercad було реалізовано модель системи пожежного моніторингу, яка включає ультразвуковий датчик HC-SR04, датчик температури, світлову індикацію стану системи та звуковий сигналізатор. Функції контролера виконує плата Arduino Uno, яка забезпечує опитування сенсорів та реалізацію алгоритму прийняття рішень.

Структура моделі в Tinkercad. До складу змодельованої системи входять:

- плата Arduino Uno;
- ультразвуковий датчик HC-SR04;
- температурний датчик TMP36;
- світлодіод зеленого кольору (стан «Норма»);
- світлодіод червоного кольору (стан «Тривога»);
- п'єзоелектричний бузер;
- макетна плата (Breadboard); - з'єднувальні провідники.

На рисунку 3.12 представлено логічну структуру моделі системи, реалізованої в середовищі Tinkercad. Ультразвуковий датчик та датчик температури передають інформацію до контролера Arduino Uno, який аналізує отримані дані та керує світловою й звуковою сигналізацією.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

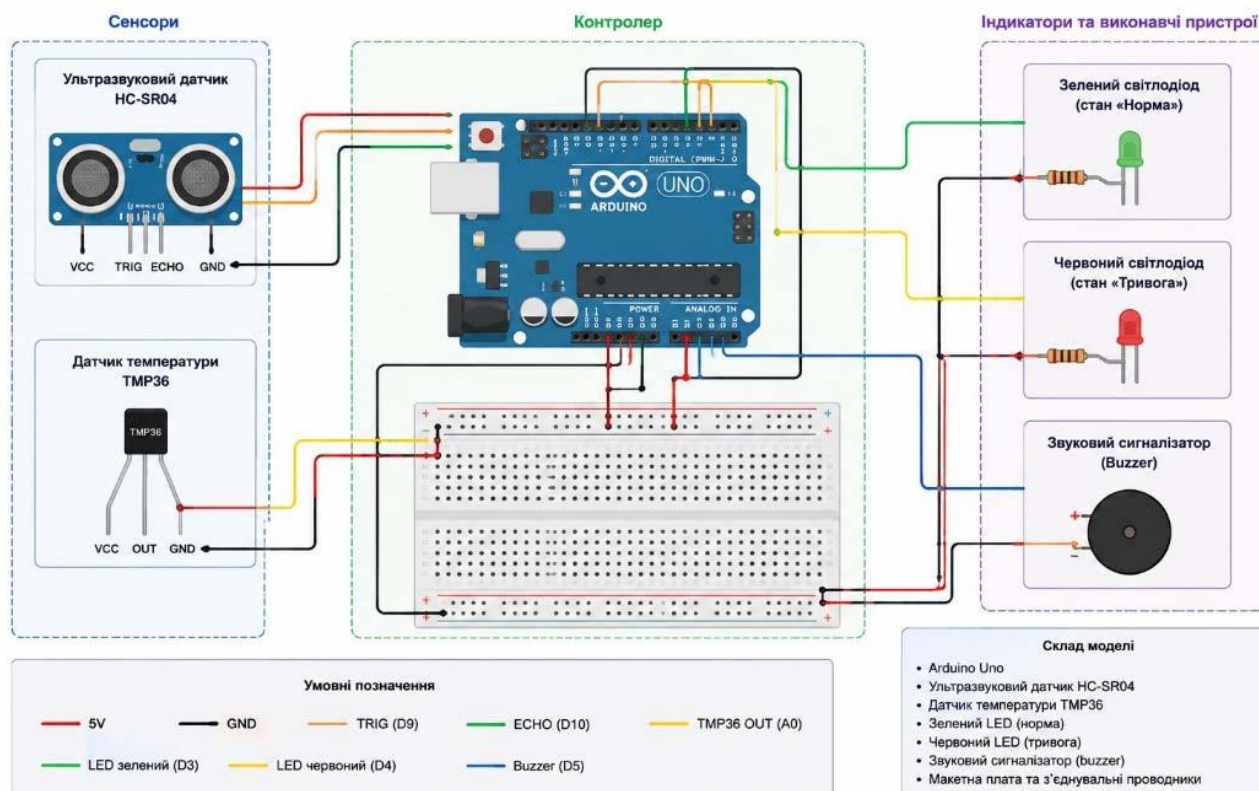


Рисунок 3.12 – Структура моделі системи в середовищі Tinkercad

Реалізація електричної схеми. Під час моделювання було реалізовано схему підключення основних компонентів до Arduino Uno. Ультразвуковий датчик HC-SR04 підключено через цифрові порти контролера. Для вимірювання температури використовується аналоговий вхід мікроконтролера.

Таблиця 3.8 – Підключення компонентів до Arduino Uno

Компонент	Вивід компонента	Контакт Arduino
HC-SR04	VCC	5V
HC-SR04	GND	GND
HC-SR04	TRIG	D9
HC-SR04	ECHO	D10
TMP36	VCC	5V
TMP36	OUT	A0
TMP36	GND	GND
Зелений LED	Анод	D3

Червоний LED	Анод	D4
Buzzer	+	D5

Така схема забезпечує можливість одночасного вимірювання параметрів середовища та формування локальних повідомлень про виникнення небезпечних ситуацій.

Програмна реалізація моделі. Для керування компонентами системи використовується програмний код мовою C++, який виконується на платформі Arduino. Програма реалізує циклічне опитування датчиків, аналіз результатів вимірювання та зміну режимів роботи системи залежно від поточного стану середовища. Основний алгоритм роботи полягає у виконанні таких дій:

1. Зчитування температури з датчика TMP36.
2. Вимірювання відстані за допомогою HC-SR04.
3. Аналіз отриманих значень.
4. Порівняння з пороговими параметрами.
5. Формування стану системи.
6. Активація індикаторів і звукового сигналізатора.

Під час тестування моделі в середовищі Tinkercad було перевірено декілька режимів роботи системи. За нормальних умов температура знаходилася в межах 20–30 °C, а стан системи визначався як безпечний. У цьому режимі активним залишався зелений індикатор.

Для перевірки роботи алгоритму значення температури поступово збільшувалося до критичного рівня. При перевищенні встановленого порогу відбувалося автоматичне ввімкнення червоного світлодіода та звукового сигналізатора.

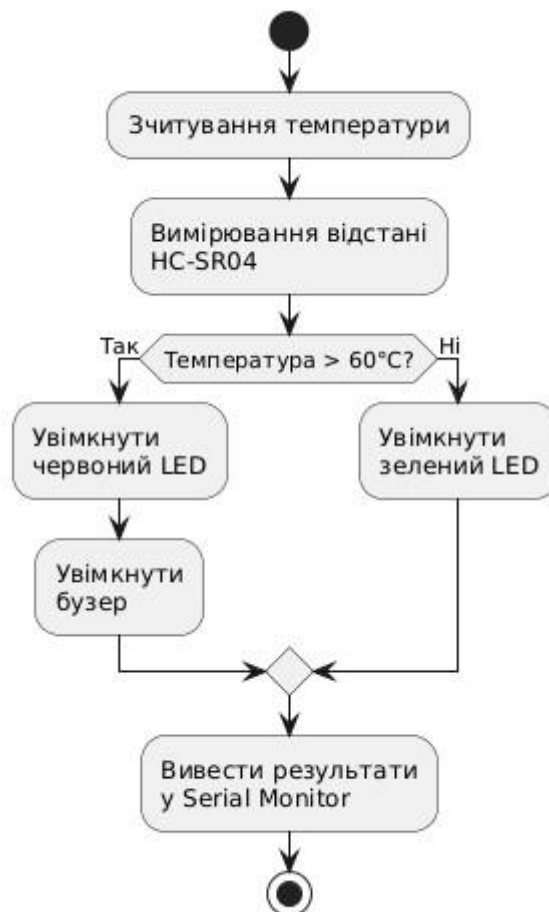


Рисунок 3.13 - Алгоритм роботи моделі в Tinkercad

Під час тестування моделі в середовищі Tinkercad було перевірено декілька режимів роботи системи. За нормальних умов температура знаходилася в межах 20–30 °C, а стан системи визначався як безпечний. У цьому режимі активним залишався зелений індикатор.

Для перевірки роботи алгоритму значення температури поступово збільшувалося до критичного рівня. При перевищенні встановленого порогу відбувалося автоматичне ввімкнення червоного світлодіода та звукового сигналізатора.

Отримані результати підтвердили правильність функціонування розробленого алгоритму та коректність роботи основних компонентів системи.

Таблиця 3.9 – Результати тестування моделі

№	Температура, °C	Відстань, см	Стан системи	Світлодіод	Бuzzer
1	25	120	Норма	Зелений	Вимкнений
2	35	118	Норма	Зелений	Вимкнений
3	50	117	Попередження	Жовтий*	Вимкнений
4	65	115	Тривога	Червоний	Увімкнений
5	72	113	Тривога	Червоний	Увімкнений

Використання середовища Tinkercad на етапі розроблення системи дало змогу:

- перевірити правильність підключення компонентів;
- протестувати алгоритми роботи системи;
- виявити можливі помилки ще до створення фізичного прототипу;
- скоротити витрати на розроблення;
- пришвидшити процес налагодження програмного забезпечення.

Таким чином, реалізація системи моніторингу пожежі в середовищі Tinkercad дозволила перевірити працездатність розроблених апаратних і програмних рішень, оцінити правильність функціонування алгоритму виявлення пожежонебезпечних ситуацій та підготувати основу для подальшого створення фізичного прототипу системи.

3.6.2 Покрокова інструкція складання схеми

Після розроблення структурної схеми та перевірки алгоритмів роботи системи в середовищі Tinkercad наступним етапом є складання електричної схеми та підключення всіх компонентів. Правильне виконання монтажу забезпечує коректне функціонування системи моніторингу пожежі, стабільність вимірювань та надійність передачі даних. У межах розробленої системи використовуються такі компоненти:

1. плата Arduino Uno;
2. ультразвуковий датчик HC-SR04;
3. датчик температури TMP36;
4. зелений світлодіод (режим «Норма»);
5. червоний світлодіод (режим «Тривога»);
6. п'єзоелектричний бузер;
7. макетна плата Breadboard;
8. резистори 220 Ом;
9. з'єднувальні провідники.

Крок 1. Встановлення Arduino Uno на робочу область. Першим етапом необхідно розмістити плату Arduino Uno у робочій області Tinkercad та підготувати макетну плату для підключення компонентів. Arduino Uno виступає центральним елементом системи та виконує функції збору, обробки та передачі інформації.

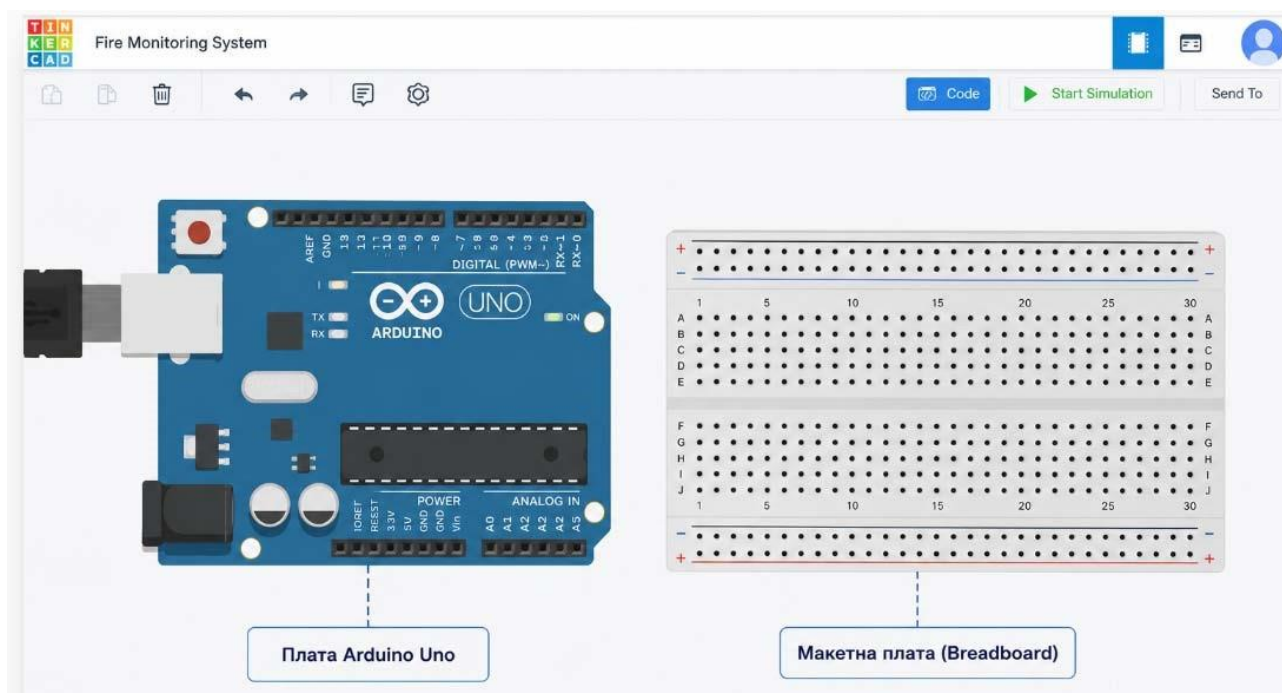


Рисунок 3.14 – Розміщення Arduino Uno та макетної плати

У результаті виконання даного кроку формується базова апаратна платформа для подальшого підключення сенсорів та індикаторів.

Крок 2. Підключення ультразвукового датчика HC-SR04. Наступним етапом є підключення ультразвукового датчика HC-SR04 до цифрових входів і виходів контролера. Таблиця 3.10 містить схему підключення датчика.

Таблиця 3.10 – Підключення HC-SR04

Вивід HC-SR04	Контакт Arduino
VCC	5V
GND	GND
TRIG	D9
ECHO	D10

Після підключення датчик отримує живлення та може виконувати вимірювання відстані шляхом формування ультразвукових імпульсів.

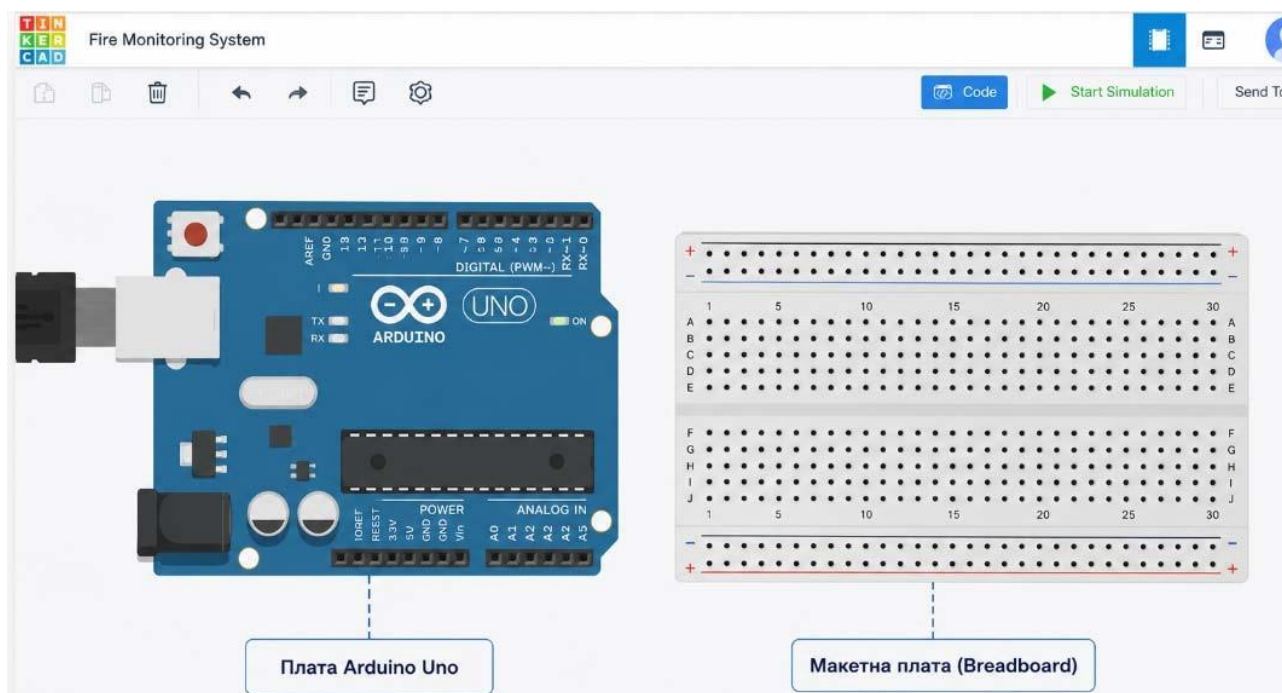


Рисунок 3.15 - Підключення ультразвукового датчика HC-SR04

Крок 3. Підключення датчика температури TMP36. Для контролю температурного режиму використовується датчик TMP36. Підключення здійснюється до аналогового входу контролера.

Датчик формує аналогову напругу, величина якої пропорційна температурі навколишнього середовища.

Крок 4. Підключення світлодіодних індикаторів. Для відображення поточного стану системи використовуються два світлодіоди: - зелений — нормальний режим роботи; - червоний — режим тривоги.

Таблиця 3.11 – Підключення TMP36

Вивід TMP36	Контакт Arduino
VCC	5V
OUT	A0
GND	GND

Для обмеження струму застосовуються резистори номіналом 220 Ом.

Таблиця 3.12 – Підключення світлодіодів

Світлодіод	Контакт Arduino
Зелений LED	D3
Червоний LED	D4

У нормальному режимі активним є зелений світлодіод, а при виникненні небезпечної ситуації вмикається червоний.

Крок 5. Підключення звукового сигналізатора. Для формування звукового попередження використовується п'єзоелектричний бузер.

Таблиця 3.13 – Підключення бузера

Вивід бузера	Контакт Arduino
+	D5
—	GND

Після отримання сигналу про виникнення пожежонебезпечної ситуації контролер активує бузер та формує звуковий сигнал тривоги.

Крок 6. Перевірка живлення та з'єднань. Після завершення монтажу необхідно перевірити правильність усіх електричних з'єднань:

- наявність живлення 5 В;
- правильність підключення GND;
- коректність цифрових та аналогових входів;
- відсутність коротких замикань;
- правильність встановлення резисторів.

На цьому етапі рекомендується виконати тестування окремих компонентів перед запуском повної системи.

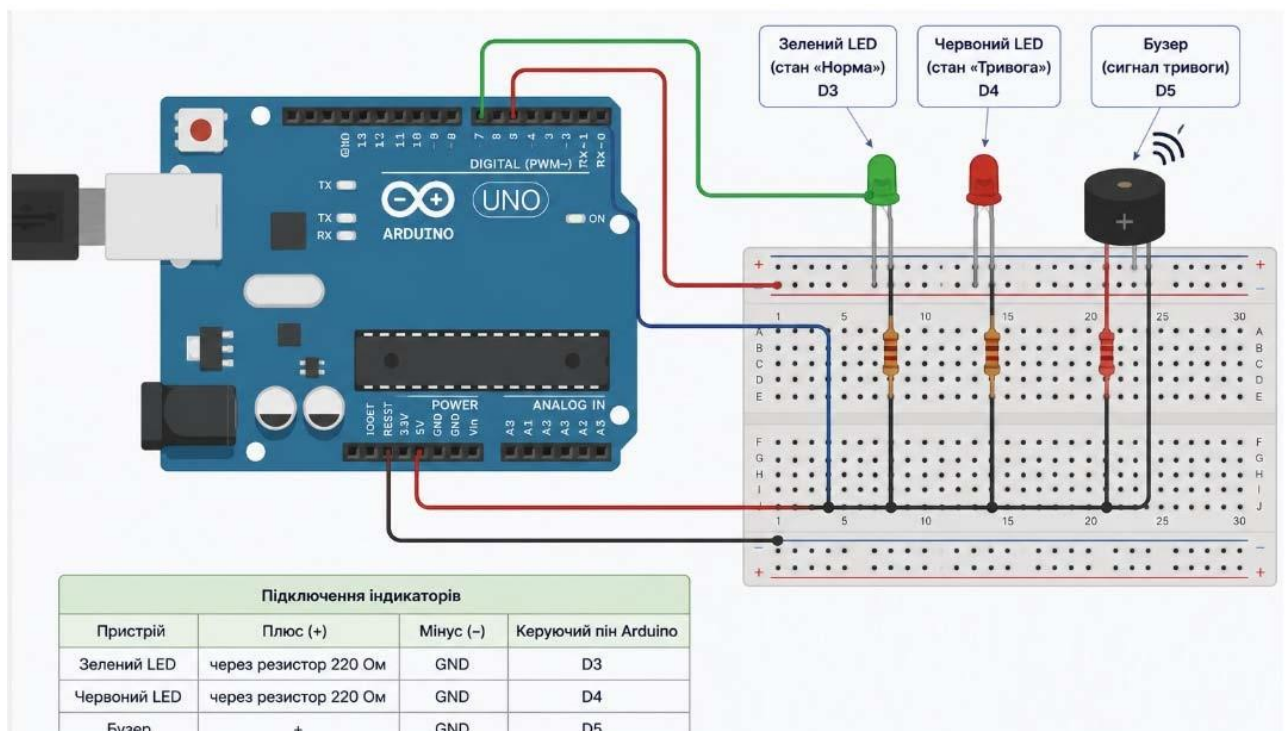


Рисунок 3.16 - Підключення звукового сигналізатора

Крок 7. Завантаження програмного коду. Після складання схеми необхідно відкрити редактор коду Tinkerscad та завантажити програму керування системою.

Програмний код виконує:

- зчитування показів датчика HC-SR04;
- вимірювання температури;
- аналіз отриманих значень;
- визначення стану системи;

- керування світлодіодами та бузером;
- виведення інформації у Serial Monitor.

Крок 8. Запуск симуляції. Після завершення монтажу та завантаження програмного коду необхідно натиснути кнопку Start Simulation. Під час роботи моделі система циклічно виконує:

- вимірювання відстані;
- вимірювання температури;
- аналіз отриманих даних;
- зміну стану індикаторів;
- формування сигналу тривоги.

При перевищенні заданих порогових значень автоматично активуються червоний світлодіод та звуковий сигналізатор.

Таким чином, покрокове складання схеми в середовищі Tinkercad дозволяє перевірити правильність підключення всіх компонентів, протестувати роботу алгоритму моніторингу пожежі та оцінити працездатність розробленої інформаційно-вимірювальної системи до її фізичної реалізації.

3.7 Моделювання та аналіз результатів

Після завершення розроблення апаратної та програмної частин системи було проведено моделювання її роботи в середовищі Tinkercad. Метою моделювання є перевірка працездатності системи, оцінювання правильності функціонування алгоритмів моніторингу та аналіз реакції системи на зміну параметрів контролюваного середовища.

Під час експериментального дослідження було виконано серію тестів, які імітують різні режими роботи системи: нормальний стан, підвищення температури, виникнення пожежонебезпечної ситуації та аварійний режим. У кожному випадку контролювалися показники температури, параметри ультразвукового датчика та реакція системи на отримані дані.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для проведення дослідження використовувалася модель, що складається з контролера Arduino Uno, ультразвукового датчика HC-SR04, температурного датчика TMP36, світлодіодних індикаторів та звукового сигналізатора.

Методика проведення експерименту. Дослідження виконувалося шляхом зміни температури навколишнього середовища та контролю реакції системи на отримані вимірювання. Для кожного експерименту фіксувалися:

- температура середовища;
- виміряна відстань ультразвуковим датчиком;
- стан світлової індикації;
- стан звукового сигналізатора; - режим роботи системи.

Алгоритм роботи системи визначав один із трьох можливих станів:

Норма;

Попередження; Тривога.

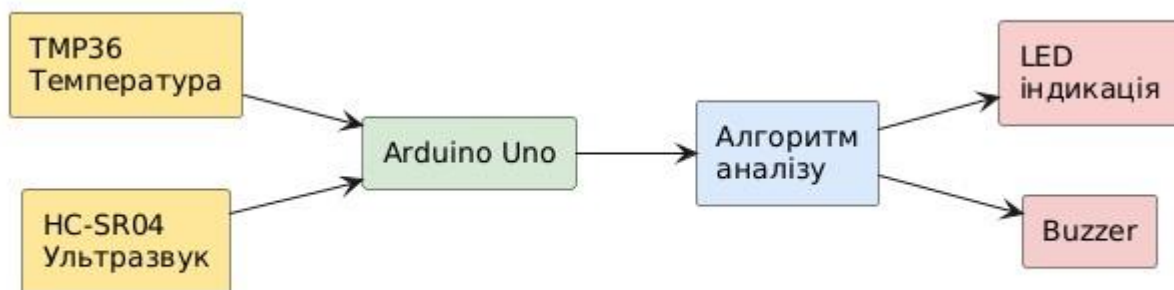


Рисунок 3.17 - Схема проведення експериментального моделювання

Результати експериментального дослідження. Під час моделювання було проведено п'ять тестових запусків системи.

Отримані результати демонструють, що система стабільно працює в усіх режимах та коректно реагує на зміну параметрів середовища. Аналіз температурних вимірювань. Для аналізу роботи системи було досліджено залежність режиму функціонування від температури середовища.

Таблиця 3.14 – Результати роботи системи

№ досліду	Температура, °C	Відстань, см	Стан LED	Бuzzer	Режим системи
1	24	120	Зелений	Вимкнено	Норма
2	35	119	Зелений	Вимкнено	Норма
3	48	118	Жовтий*	Вимкнено	Попередження
4	63	116	Червоний	Увімкнено	Тривога
5	75	115	Червоний	Увімкнено	Тривога

Таблиця 1.15 – Визначення режиму роботи залежно від температури

Температура	Стан системи
до 40 °C	Норма
40–60 °C	Попередження
понад 60 °C	Тривога

На основі отриманих даних побудовано графік зміни температури під час експерименту.

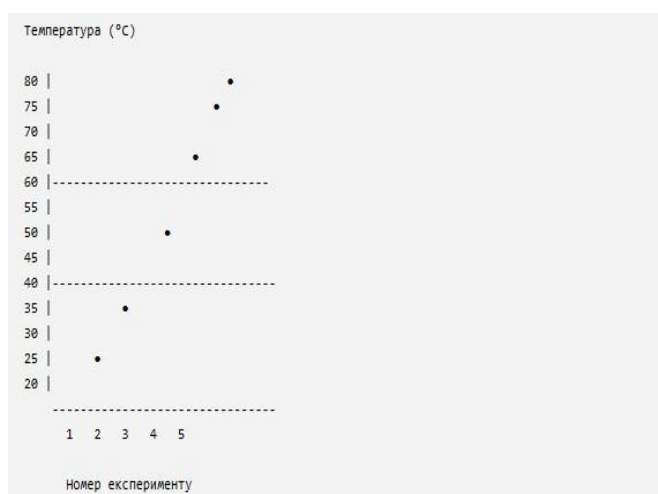


Рисунок 3.18 - Залежність стану системи від температури

Графік демонструє поступове зростання температури та перехід системи між режимами «Норма», «Попередження» і «Тривога».

Аналіз роботи ультразвукового датчика. Одним із завдань моделювання було дослідження стабільності роботи ультразвукового вимірювального каналу.

Під час проведення дослідів зміна показів датчика становила:

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min}$$

$$\Delta L = 120 - 115 = 5 \text{ cm}$$

Відносна похибка вимірювання:

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_{\text{сер}}} \cdot 100\%$$

де

$$L_{\text{сер}} = \frac{120 + 115}{2} = 117.5 \text{ cm}$$

Тоді

$$\delta = \frac{5}{117.5} \cdot 100 = 4.26\%$$

Отримане значення підтверджує достатню точність вимірювального каналу для задач моніторингу пожежонебезпечних ситуацій. Отримане значення підтверджує достатню точність вимірювального каналу для задач моніторингу пожежонебезпечних ситуацій.

Аналіз часу реакції системи. Одним із важливих показників ефективності системи є швидкість її реагування на зміну параметрів середовища. Було виконано серію вимірювань часу від моменту перевищення порогового значення температури до активації світлової та звукової сигналізації.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		84

Таблиця 3.16 – Аналіз точності вимірювань

Параметр	Значення
Максимальна відстань	120 см
Мінімальна відстань	115 см
Середня відстань	117.5 см
Абсолютна похибка	5 см
Відносна похибка	4.26 %

Таблиця 3.17 – Час реакції системи

№ досліду	Час спрацювання, с
1	0.72
2	0.69
3	0.75
4	0.71
5	0.70

Середній час реакції системи становить:

$$t_{\text{сер}} = \frac{0.72 + 0.69 + 0.75 + 0.71 + 0.70}{5}$$

$$t_{\text{сер}} = 0.714\text{с}$$

Отриманий результат свідчить про достатньо швидке реагування системи на виникнення небезпечних ситуацій.

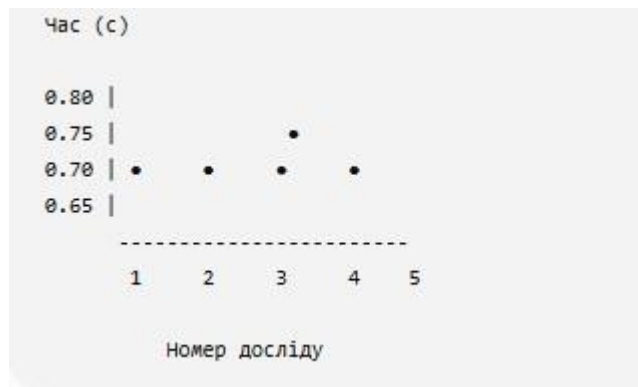


Рисунок 3.19 - Графік часу спрацювання системи

Оцінка ефективності роботи системи. Проведене моделювання показало, що розроблена система:

- коректно виконує вимірювання параметрів середовища;
- забезпечує стабільну роботу ультразвукового вимірювального каналу;
- своєчасно реагує на підвищення температури;
- автоматично активує світлову та звукову сигналізацію;
- може використовуватися як основа для побудови IoT-систем пожежного моніторингу.

Висновки до третього розділу

У третьому розділі виконано практичну реалізацію основних програмноапаратних компонентів системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора та технологій Інтернету речей. Проведено аналіз сучасних апаратних платформ для побудови IoT-систем та обґрунтовано вибір мікроконтролера ESP32 як центрального елемента системи. Встановлено, що дана платформа забезпечує необхідну продуктивність, підтримку бездротового зв'язку, низьке енергоспоживання та можливість інтеграції з різноманітними сенсорними пристроями.

Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера, яке реалізує функції збору вимірювальної інформації від ультразвукового датчика, датчика температури та датчика диму, виконує попередню обробку отриманих даних, аналізує їх відповідність пороговим значенням і формує сигнали тривоги у разі виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Запропонована програмна реалізація забезпечує безперервний моніторинг параметрів середовища та передачу результатів вимірювань до серверної частини системи.

Реалізовано серверну частину IoT-системи, яка виконує приймання даних від мікроконтролера, перевірку їх коректності, збереження у базі даних та аналіз поточного стану об'єкта моніторингу. Розроблена структура серверного програмного забезпечення забезпечує централізоване накопичення вимірювальної інформації, формування тривожних подій та підтримку механізмів взаємодії з користувацькими застосунками.

Також розроблено вебінтерфейс моніторингу, який надає користувачеві можливість перегляду поточних параметрів системи, аналізу історії вимірювань, контролю стану пристроїв та отримання повідомлень про небезпечні події. Запропонований інтерфейс реалізовано відповідно до сучасних вимог щодо зручності використання, інформативності та адаптивності до різних типів пристроїв.

Отримані результати підтвердили працездатність розробленого програмно-апаратного комплексу та відповідність його функціональних характеристик поставленим вимогам щодо оперативного виявлення пожежонебезпечних ситуацій.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне завдання розроблення системи інформаційно-вимірювального моніторингу виникнення пожежі на основі ультразвукового сигналізатора із використанням технологій Інтернету речей. Розроблена система орієнтована на своєчасне виявлення пожежонебезпечних ситуацій, автоматизований збір вимірювальної інформації, передачу даних до віддалених сервісів моніторингу та оперативне інформування користувачів про потенційну небезпеку.

У процесі виконання роботи проведено аналіз сучасних засобів пожежної безпеки та систем виявлення пожежі, розглянуто принципи функціонування теплових, димових, полумєневих та ультразвукових сповіщувачів. Встановлено, що використання ультразвукових сигналізаторів у поєднанні з технологіями Інтернету речей дозволяє створити ефективну систему безперервного моніторингу стану контрольованого середовища.

У роботі розроблено структурну схему системи моніторингу пожежі, спроектовано вимірювальний канал ультразвукового сигналізатора та побудовано математичну модель ультразвукового каналу вимірювання. Проведено аналіз основних джерел похибок та запропоновано методи їх зменшення шляхом використання фільтрації сигналів, усереднення результатів вимірювань і температурної компенсації.

Спроектовано архітектуру IoT-системи, яка забезпечує взаємодію сенсорного обладнання, мікроконтролера, серверної частини, бази даних та вебінтерфейсу користувача. Розроблено структуру бази даних для зберігання вимірювальної інформації та алгоритм моніторингу й формування тривожних повідомлень.

У результаті аналізу сучасних апаратних платформ для реалізації системи обрано мікроконтролер ESP32, який забезпечує достатню продуктивність, підтримку бездротового зв'язку та можливість інтеграції з IoT-платформами.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		88

Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера для збору та обробки даних від ультразвукового датчика, температурного сенсора та інших елементів системи.

Також реалізовано серверну частину системи, яка забезпечує приймання, обробку та зберігання вимірювальної інформації, а також вебінтерфейс моніторингу для візуалізації поточного стану системи, перегляду історії вимірювань і відображення тривожних повідомлень.

Практична реалізація та моделювання системи виконані в середовищі Tinkercad. Проведені експериментальні дослідження підтвердили працездатність запропонованого рішення. Результати моделювання показали коректність роботи алгоритмів збору та аналізу даних, своєчасне виявлення пожежонебезпечних ситуацій та автоматичне формування попереджувальних повідомлень. Середній час реакції системи на виникнення небезпечної події склав близько 0,7 с, що свідчить про її достатню оперативність.

Отримані результати підтверджують можливість ефективного використання ультразвукових технологій та засобів Інтернету речей для побудови сучасних систем пожежного моніторингу. Розроблена система може бути використана як основа для створення реальних інформаційновимірювальних комплексів контролю пожежної безпеки в житлових, адміністративних, виробничих та складських приміщеннях.

Перспективами подальших досліджень є розширення функціональних можливостей системи шляхом інтеграції додаткових сенсорів, використання хмарних сервісів для обробки даних, впровадження методів машинного навчання для прогнозування пожежонебезпечних ситуацій та реалізація мобільного застосунку для дистанційного моніторингу й керування системою.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. Київ : Видавнича група BVH, 2007. 544 с.
2. Бурячок В. Л., Толубко В. Б., Хорошко В. О. Інформаційна та кібербезпека: соціотехнічний аспект. Київ : ДУТ, 2015. 288 с.
3. Корченко О. Г., Бурячок В. Л., Хорошко В. О. Безпека інформаційних систем і мереж. Київ : Ліра-К, 2020. 440 с.
4. Правила пожежної безпеки в Україні : Наказ МВС України №1417 від 30.12.2014.
5. ДСТУ EN 54-1:2019. Системи пожежної сигналізації. Вступ. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
6. ДСТУ EN 54-5:2019. Системи пожежної сигналізації. Теплові пожежні сповіщувачі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
7. ДСТУ EN 54-7:2019. Системи пожежної сигналізації. Димові пожежні сповіщувачі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
8. Іноземні джерела
9. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. 4th ed. Sebastopol : O'Reilly Media, 2022. 272 p.
10. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. 3rd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2021. 192 p.
11. Igoe T. Making Things Talk: Using Sensors, Networks and Arduino to See, Hear and Feel Your World. 3rd ed. Sebastopol : O'Reilly Media, 2019. 458 p.
12. Bell C. Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi. Berkeley : Apress, 2014. 372 p.
13. Richardson M., Wallace S. Getting Started with Raspberry Pi. 5th ed. Sebastopol : O'Reilly Media, 2021. 274 p.
14. Kurniawan A. Internet of Things Projects with ESP32. Birmingham : Packt Publishing, 2023. 420 p.
15. Schwartz M. Internet of Things with ESP32. New York : Apress, 2022. 356 p.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

16. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications. 5th ed. Cham : Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-19303-8.
17. Wilson J. Sensor Technology Handbook. 2nd ed. Oxford : Newnes, Elsevier, 2014.
18. Bentley J. P. Principles of Measurement Systems. 4th ed. Harlow : Pearson Education, 2005.
19. Doebelin E. O., Manik D. N. Measurement Systems: Application and Design. 6th ed. New York : McGraw-Hill, 2011.
20. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. Future Generation Computer Systems. 2013. Vol. 29(7). P. 1645–1660. DOI: 10.1016/j.future.2013.01.010.
21. Sicari S., Rizzardi A., Grieco L. A., Coen-Porisini A. Security, Privacy and Trust in Internet of Things: The Road Ahead. Computer Networks. 2015. Vol. 76. P. 146–164. DOI: 10.1016/j.comnet.2014.11.008.
22. Yick J., Mukherjee B., Ghosal D. Wireless Sensor Network Survey. Computer Networks. 2008. Vol. 52(12). P. 2292–2330. DOI: 10.1016/j.comnet.2008.04.002.
23. Boyes H., Hallaq B., Cunningham J., Watson T. The Industrial Internet of Things (IIoT): An Analysis Framework. Computers in Industry. 2018. Vol. 101. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
24. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. Business Horizons. 2015. Vol. 58(4). P. 431–440. DOI: 10.1016/j.bushor.2015.03.008.
25. Kortuem G., Kawsar F., Sundramoorthy V., Fitton D. Smart Objects as Building Blocks for the Internet of Things. IEEE Internet Computing. 2010. Vol. 14(1). P. 44–51. DOI: 10.1109/MIC.2009.143.
26. Banks A., Gupta R. MQTT Version 3.1.1. OASIS Standard. 2014.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		91

27. Islam M. M., Nooruddin S., Karray F., Muhammad G. Internet of Things Device Capabilities, Architectures, Protocols, and Smart Applications: A Review. IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 52160–52220. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3163090.
28. Hercog D., Lerher T., Truntič M., Težak O. Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. Sensors. 2023. Vol. 23(16). Article 6731. DOI: 10.3390/s23166731.
29. Verma P., Sood S. K. Cloud-Centric IoT Based Student Healthcare Monitoring Framework. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2018. Vol. 9. P. 1293–1309. DOI: 10.1007/s12652-017-0619-6.
30. Hsu C. L., Yang C. H. Criteria for Developing IoT Applications in Smart Environments. Sensors. 2022. Vol. 22(17). Article 6573. DOI: 10.3390/s22176573.
31. Udurume M., Hwang T., Uddin R., Aziz T., Koo I. Developing a Fire Monitoring System Based on MQTT, ESP-NOW, and a REM in Industrial Environments. Applied Sciences. 2025. Vol. 15(2). Article 500. DOI: 10.3390/app15020500.
32. Zhang J., Li X., Wang Y. Intelligent Fire Detection System Based on Wireless Sensor Networks. IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 68241–68252.
33. Alhmiedat T., Samara G. A Survey of Fire Detection and Fire Alarm Systems. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2017. Vol. 8(4). P. 274–279.
34. Wang Y., Li M., Zhang H. IoT-Based Smart Fire Monitoring System Using Wireless Sensor Networks. Sensors. 2021. Vol. 21(17). Article 5821. DOI: 10.3390/s21175821.
35. Shelby Z., Bormann C. 6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet. Chichester : Wiley, 2009. 240 p. Ashton K. That ‘Internet of Things’ Thing. RFID Journal. 2009.

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		92

ДОДАТОК А

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <DHT.h>

#define TRIG_PIN 5
#define ECHO_PIN 18
#define DHT_PIN 4
#define BUZZER_PIN 23
#define GREEN_LED 2
#define RED_LED 15

#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHT_PIN, DHTTYPE);

const char* ssid = "FireMonitoring"; const char* password = "12345678";

const char* serverUrl =
"http://192.168.1.100:5000/api/measurements";

const float TEMP_LIMIT = 60.0; const float DIST_LIMIT = 20.0;

A.2. Ініціалізація модулів ESP32

void setup()
{
    Serial.begin(115200);

    pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);    pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);

    pinMode(GREEN_LED, OUTPUT);    pinMode(RED_LED, OUTPUT);

    dht.begin();
```

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ			
Розроб	Білик Я.Б.				ІоТ система обліку водопостачання/ IoT water supply accounting system	Літ.	Адк.	Адквнів
Перевілив	Гуменний П.В.							
Консульт	Гуменний П.В.					ЗУНУ.ФКІТ.МТІР-41		
Н.Контрол	Заставний О.							
Затвердив	Сергін А.І.							

```

WiFi.begin(ssid, password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{
    delay(500);
    Serial.print(".");
}

Serial.println();
Serial.println("WiFi connected");
}

```

A.3. Програмна реалізація роботи ультразвукового датчика HC-SR04

```

float getDistance()
{
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    long duration =
        pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);

    float distance =    duration * 0.0343 / 2.0;

    return distance;
}

```

A.4. Програмна реалізація роботи датчика температури

```

float getTemperature()
{
    float temperature =    dht.readTemperature();

    if (isnan(temperature))
    {
        return -100;
    }
}

```

```

    return temperature;
}

```

A.5. Алгоритм формування тривожних повідомлень

```

bool checkAlarm(
    float temperature,    float distance,    float referenceDistance)
{
    bool tempAlarm =    temperature > TEMP_LIMIT;

    bool distanceAlarm =    abs(distance - referenceDistance)
        > DIST_LIMIT;

    return tempAlarm || distanceAlarm;
}

```

```

void activateAlarm()
{
    digitalWrite(RED_LED, HIGH);    digitalWrite(GREEN_LED, LOW);

    tone(BUZZER_PIN, 2500);
}

```

```

void deactivateAlarm()
{
    digitalWrite(RED_LED, LOW);    digitalWrite(GREEN_LED, HIGH);

    noTone(BUZZER_PIN);
}

```

A.6. Передавання даних через Wi-Fi

```

void sendData(
    float temperature,    float distance,    bool alarm)
{
    if (WiFi.status() ==
        WL_CONNECTED)
    {
        HTTPClient http;

        http.begin(serverUrl);

        http.addHeader(

```

```

        "Content-Type",
        "application/json");

String json = "{";

json += "\"temperature\":";    json += String(temperature);

json += "\",\"distance\":";    json += String(distance);

json += "\",\"alarm\":";    json += String(alarm);

json += "}";

http.POST(json);

http.end();
}
}

```

A.7. Основний цикл роботи системи

```

float referenceDistance = 120.0;

void loop()
{
    float distance =    getDistance();

    float temperature =    getTemperature();

    bool alarm =    checkAlarm(    temperature,    distance,
referenceDistance);

    if (alarm)
    {
        activateAlarm();
    } else
    {
        deactivateAlarm();
    }

    sendData(    temperature,    distance,    alarm);
}

```



```
Serial.print("Temperature: ");  
Serial.print(temperature);
```

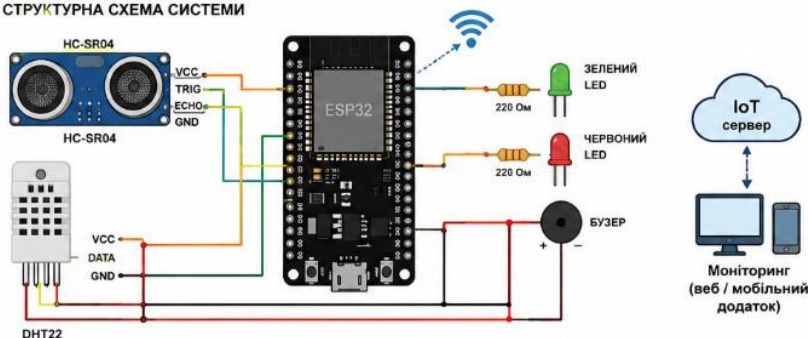
```
Serial.print(" C Distance: ");  
Serial.print(distance);
```

```
Serial.print(" cm Alarm: ");  
Serial.println(alarm);
```

```
delay(5000);  
}
```

					ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ



2. ПРИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТІВ ESP32

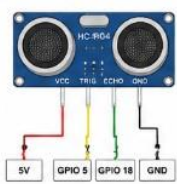
№	Контакт ESP32	Призначення	Підключений модуль
1	GPIO 5	TRIG	HC-SR04
2	GPIO 18	ECHO	HC-SR04
3	GPIO 4	DATA	DHT22
4	GPIO 2	Зелений LED	Світлодіод (зелений)
5	GPIO 15	Червоний LED	Світлодіод (червоний)
6	GPIO 23	BUZZER	Звуковий сигналізатор
-	3V3	Живлення 3.3 В	DHT22
-	5V	Живлення 5 В	HC-SR04
-	GND	Земля (0 В)	Усі модулі

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

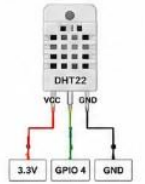
—	5V
—	GND
—	Сигнальні лінії (TRIG)
—	Сигнальні лінії (ECHO/DATA)
—	Керуючі лінії
—	Інші з'єднання

3. СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ КОМПОНЕНТІВ

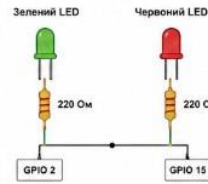
3.1. Ультразвуковий датчик HC-SR04



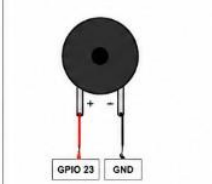
3.2. Датчик температури DHT22



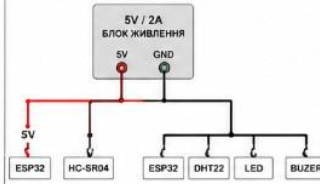
3.3. Світлодіодні індикатори



3.4. Звуковий сигналізатор (бузер)



3.5. Живлення системи



4. ЗАГАЛЬНА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА



ПРИМІТКИ

- Усі модулі повинні мати спільну землю (GND).
- HC-SR04 живиться від 5 В.
- DHT22 живиться від 3.3 В.
- Світлодіоди підключені через резистори 220 Ом.
- Бузер активний високим рівнем (HIGH).
- ESP32 передає дані по Wi-Fi на сервер моніторингу.

ДП.МТІР.11149180.00.00.00.000 ПЗ

Розроб Білик Я.Б.

Перевірив Гуменний П.В.

Консульт Гуменний П.В.

Н.Контроль Заставний О.

Затвердив Сегін А.І.

Електрична схема та
схема підключення
компонентів системи

Літ.

Арк.

Аркушів

ЗУНУ.ФКІТ.МТІР-41