

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютеризована система дистанційного виявлення лісових пожеж
з використанням IoT технологій

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Пазірович А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Паламар А.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тихи Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Деркач М.В.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«27» січня 2025 р

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Пазіровичу Андрію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система дистанційного виявлення лісових пожеж з використанням IoT технологій

Керівник роботи Паламар Андрій Михайлович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «27» січня 2025 року № 4/7-53

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>проф. каф. МТ Пилипець М.І.</i>		

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>27.01 – 02.02</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання</i>	<i>03.02 – 10.02</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютеризованої системи</i>	<i>11.02 – 28.02</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютеризованої системи</i>	<i>01.03 – 01.05</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>02.05 – 11.05</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</i>	<i>12.05 – 08.06</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>09.06 – 15.06</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>16.06 – 22.06</i>	<i>Викон.</i>
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>24.06.2025</i>	

Студент

(підпис)

Пазірович А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Паламар А.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пазірович А.І. Комп'ютеризована система дистанційного виявлення лісових пожеж з використанням IoT технологій: робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: інтернет речей, система виявлення пожеж, давач полум'я, давач диму, мікроконтролер, апаратне забезпечення, програмне забезпечення.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж із використанням технологій Інтернету речей. Метою роботи є створення ефективного інструменту для моніторингу та оперативного виявлення пожеж у лісових масивах.

У першому розділі проведено аналіз технічного завдання та сформульовано вимоги до системи, що забезпечують її працездатність та відповідність заданим умовам експлуатації. Виконано огляд існуючих аналогів подібних систем і визначено їхні переваги та недоліки. На основі цього обґрунтовано вибір елементної бази для розробки власного рішення.

У рамках практичної частини роботи розроблено апаратне забезпечення системи, що включає давачі, мікроконтролер, GPS модуль, а також елементи сигналізації. Розроблено алгоритм роботи системи та написано програмне забезпечення для збору, обробки та передачі даних на IoT сервер. Завершальним етапом стало тестування створеної системи, що підтвердило її функціональність та відповідність поставленим вимогам.

Результати роботи можуть бути використані для вдосконалення систем раннього попередження про пожежі у лісах, сприяючи мінімізації збитків від природних катастроф.

ANNOTATION

Pazirovych A.I. Computerized system for remote detection of forest fires using IoT technologies. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025.

Keywords: Internet of things, fire detection system, flame detector, smoke detector, microcontroller, hardware, software.

The qualification work is devoted to the development of a computerized system for remote detection of forest fires using the Internet of Things technologies. The aim of the work is to create an effective tool for monitoring and rapid detection of fires in forests.

The first section analyzes the terms of reference and formulates the requirements for the system to ensure its performance and compliance with the specified operating conditions. This section reviews existing analogs of similar systems and identifies their advantages and disadvantages. Based on this, the choice of the element base for developing our own solution is substantiated.

As part of the practical part of the work, the system hardware was developed, including sensors, a microcontroller, a GPS module, and signaling elements. An algorithm for the system was developed and software was written to collect, process, and transmit data to an IoT server. The final stage was testing the system, which confirmed its functionality and compliance with the requirements.

The results of the work can be used to improve early warning systems for forest fires, helping to minimize damage from natural disasters.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи виявлення лісових пожеж.....	10
1.2 Аналіз вимог до комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж.....	11
1.3 Огляд існуючих засобів для дистанційного виявлення лісових пожеж	13
1.3.1 Супутникові системи моніторингу.....	13
1.3.2 Системи відеоспостереження.....	14
1.3.3 Тепловізійні системи.....	14
1.3.4 Сенсорні мережі	15
1.3.5 Комбіновані системи.....	16
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Структура системи дистанційного виявлення лісових пожеж	19
2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи виявлення лісових пожеж.....	21
2.2.1 Платформа ESP32-S3 SIM7670G	21
2.2.2 Давач диму MQ-2	24
2.2.3 Давач полум'я KY-026.....	26
2.2.4 Давач температури DS18B20	29
2.2.5 Сонячна панель 6 В / 1 Вт	30
2.2.6 Акумулятор NCR18650B	32
2.3 Розробка електричної схеми пристрою	34
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	36

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Пазірович А.І.			Комп'ютеризована система дистанційного виявлення лісових пожеж з використанням IoT технологій			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевірів		Паламар А.М.								5	79	
Рецензент		Деркач М.В.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42				
Н. Контр.		Тиш Є.В.										
Зав. каф.		Осуківська Г.М.										

3.1 Розробка алгоритму роботи системи дистанційного виявлення лісових пожеж.....	36
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	39
3.2.1 Опис використаних бібліотек	39
3.2.2 Опис функції setup	40
3.2.3 Опис функції loop.....	42
3.2.4 Опис функції readSensors.....	43
3.2.5 Опис функції checkFireCondition	44
3.2.6 Опис функції captureAndSendPhoto.....	46
3.3 Реалізація можливостей дистанційного моніторингу	47
3.3.1 Реалізація взаємодії з платформою Thinger.....	47
3.3.2 Реалізація надсилання даних на Telegram	49
3.4 Тестування системи	50
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	53
4.1 Долікарська допомога при опіках.....	53
4.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок.....	55
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

GNSS – Global Navigation Satellite System

IoT – Internet of Things

LTE – Long Term Evolution

ДП – давач полум'я

ЛП – лісова пожежа

СВП – система виявлення пожеж

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Лісові пожежі є серйозною екологічною та економічною проблемою, яка завдає значної шкоди природному середовищу, тваринному світу та інфраструктурі. З кожним роком частота та масштаб таких пожеж зростають через зміну клімату, недбалість людей та інші фактори. Своєчасне виявлення осередків загорянь є ключовим етапом у боротьбі з пожежами, оскільки це дозволяє швидко реагувати на надзвичайні ситуації та зменшувати їхні наслідки. Традиційні методи моніторингу лісових масивів, такі як наземні патрулі чи супутниковий моніторинг, мають обмеження у швидкості реакції, покритті територій та вартості впровадження.

У цьому контексті розробка сучасних систем моніторингу та раннього виявлення пожеж із використанням технологій Інтернету речей (IoT) є вкрай актуальною. Використання IoT дозволяє створювати розподілені мережі сенсорів, які здатні забезпечувати безперервний збір даних, що підвищує ефективність моніторингу та знижує витрати на його реалізацію.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж із використанням IoT технологій, яка забезпечує оперативне виявлення осередків загорянь і передачу інформації для прийняття відповідних дій.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

- проаналізувати технічне завдання та сформулювати вимоги до проєктованої системи;
- провести огляд існуючих аналогів та визначити їх переваги та недоліки;
- обґрунтувати вибір елементної бази для розробки системи;
- розробити апаратне забезпечення, що включає сенсори, мікроконтролер та модуль GPS;

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити алгоритм роботи системи та написати програмне забезпечення для обробки й передачі даних;
- виконати моделювання та тестування створеної системи та оцінити її відповідність поставленим вимогам.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи виявлення лісових пожеж

Комп'ютеризовані системи дистанційного виявлення лісових пожеж знаходять застосування в різних сферах, де важливим є своєчасне виявлення осередку загоряння для запобігання масштабним катастрофам. З огляду на збільшення кількості лісових пожеж унаслідок змін клімату, антропогенного впливу та природних чинників, системи моніторингу відіграють важливу роль у ранньому виявленні осередків загоряння.

Однією з головних сфер застосування є лісове господарство. Встановлення автономних давачів у лісових масивах дозволяє моніторити стан навколишнього середовища в реальному часі та передавати інформацію про загоряння в диспетчерські центри. Це значно підвищує ефективність роботи лісових служб і дозволяє швидко реагувати на загрози, мінімізуючи площу пожежі.

Іншою важливою сферою є заповідники та природоохоронні території, де традиційні методи нагляду, такі як патрулювання, є недостатньо ефективними через великі площі та віддаленість об'єктів. Використання IoT-систем дозволяє зменшити ризики знищення унікальних природних екосистем, що особливо актуально для національних парків та біосферних заповідників.

Агропромисловий сектор також є зацікавленим у застосуванні подібних рішень, оскільки сільськогосподарські угіддя нерідко межують із лісовими масивами, а неконтрольовані пожежі можуть призводити до значних економічних втрат. Системи моніторингу можуть бути інтегровані з іншими аграрними IoT-рішеннями, що дозволяє комплексно підходити до управління ризиками.

У інфраструктурних об'єктах, таких як залізниці, нафто- і газопроводи, високовольтні лінії електропередачі, також актуальне застосування комп'ютеризованих систем виявлення пожеж. Випадкові займання поблизу таких

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз технічного завдання			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Пазірович А.І.								
Перевірив		Паламар А.М.							10	9
Рецензент		Деркач М.В.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.								
Зав. каф.		Осуківська Г.М.								

об'єктів можуть спричинити серйозні техногенні катастрофи, тому дистанційний моніторинг дає змогу швидко виявляти потенційні загрози та оперативно їх ліквідувати.

Значну роль подібні системи відіграють і в міському середовищі, особливо в парках, промислових зонах, складах лісоматеріалів та інших об'єктах, де існує ризик самозаймання або навмисного підпалу. Встановлення давачів дозволяє виявляти навіть незначні загоряння ще до того, як вони переростуть у масштабну пожежу.

Отже, сфери застосування комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж є надзвичайно широкими. Впровадження таких технологій сприяє збереженню природних ресурсів, підвищенню безпеки, мінімізації економічних втрат та зменшенню впливу пожеж на довкілля.

1.2 Аналіз вимог до комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж

Комп'ютеризована система дистанційного виявлення лісових пожеж повинна відповідати низці технічних і функціональних вимог, які зумовлені особливостями середовища експлуатації та специфікою поставленого завдання. Одним із основних призначень такої системи є вчасне виявлення потенційної пожежної загрози на основі аналізу даних з навколишнього середовища та оперативне інформування користувача з використанням сучасних засобів телекомунікації.

Насамперед система повинна забезпечувати періодичне опитування сенсорів для збору екологічних параметрів. Серед основних давачів, що можуть використовуватися в системі, можна виділити давач диму, сенсор полум'я і термодавач. Кожен з цих сенсорів має свою роль у загальному процесі моніторингу. Давач диму дозволяє виявляти підвищену концентрацію горючих газів і диму в повітрі, сенсор полум'я фіксує наявність відкритого вогню, а

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термодавач вимірює температуру довкілля. Перевищення будь-якого з попередньо заданих порогових значень по одному або декількох параметрах повинно трактуватись як ознака потенційної пожежі.

Однак, для забезпечення додаткової надійності та виключення хибних спрацювань, система повинна не лише зафіксувати аномальні значення, але й задокументувати ситуацію у вигляді фотографічного знімка. Для цього передбачено інтеграцію камери або модуля з аналогічною функціональністю. У випадку виявлення умов, що вказують на можливу пожежу, система має автоматично ініціювати процес захоплення зображення, яке буде надіслано разом із даними сенсорів.

Додатковою вимогою до системи є можливість передачі інформації в реальному часі до віддаленого користувача. Для цього застосовується модуль, який забезпечує зв'язок через мобільну мережу, що є критично важливим у віддалених районах без Wi-Fi покриття. Зібрані дані разом із координатами місцезнаходження пристрою повинні надсилатися до хмарної IoT-платформи для відображення на веб-інтерфейсі, а також дублюватися у повідомленні Telegram через спеціально створеного бота.

Крім інформаційної складової, система повинна також мати елементи звукової та світлової сигналізації, які спрацьовують локально на місці при виявленні пожежі. Для цього використовуються світлодіод і модуль п'єзодинаміка, які мають вмикатись автоматично для візуального та звукового оповіщення.

Отже, до основних вимог до розроблюваної комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж можна віднести: надійне зчитування екологічних параметрів, точне виявлення пожежі на основі комбінованих сенсорних даних, створення фотофіксації події, передавання зібраної інформації на хмарну платформу та в месенджер Telegram, а також активацію локального оповіщення. Усі ці функції мають бути реалізовані в межах компактного, енергоефективного пристрою з автономним живленням, що здатен стабільно працювати у складних природних умовах.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Огляд існуючих засобів для дистанційного виявлення лісових пожеж

На ринку існує низка рішень для дистанційного виявлення лісових пожеж, які базуються на різних технологіях, таких як супутниковий моніторинг, системи відеоспостереження, тепловізори, сенсорні мережі та комбіновані підходи.

1.3.1 Супутникові системи моніторингу

До таких рішень належать сервіси, що використовують дані супутників NASA, Європейського космічного агентства та інших організацій. Наприклад, система MODIS [1] забезпечує глобальний моніторинг температури земної поверхні та виявлення пожеж. Основними перевагами супутникових систем є їх здатність покривати великі території та надавати інформацію в реальному часі.



Рисунок 1.1 – Система моніторингу температури земної поверхні та виявлення пожеж MODIS

Проте їхній основний недолік полягає у низькій роздільній здатності зображень, що ускладнює точне визначення місцезнаходження пожежі. Крім того, супутникові системи мають значну затримку між циклами збору даних, а їх ефективність знижується за хмарної погоди.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.2 Системи відеоспостереження

Багато рішень використовують мережі відеокамер, які розміщуються на вежах або інших висотних конструкціях. Ці камери можуть працювати у видимому або інфрачервоному спектрі, що дозволяє виявляти дим чи полум'я. Одним із прикладів є система ForestWatch [2], яка застосовує алгоритми комп'ютерного зору для автоматичного виявлення пожеж (рис. 1.2).

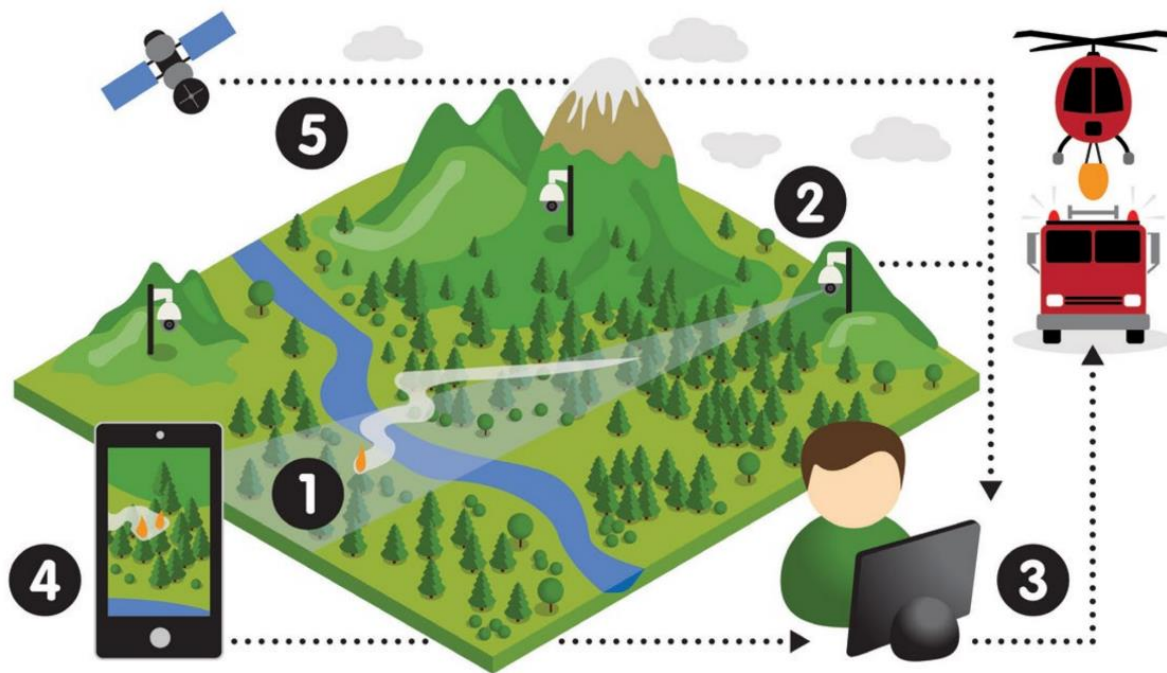


Рисунок 1.2 – Система автоматичного виявлення пожеж ForestWatch

Недоліком таких рішень є їхня залежність від погодних умов і обмежений радіус дії, що потребує встановлення значної кількості камер для покриття великих територій. Крім того, такі системи мають високу вартість обладнання та обслуговування.

1.3.3 Тепловізійні системи

Тепловізори дозволяють виявляти пожежі за підвищенням температури у певній зоні. Їх використовують у спеціалізованих системах, таких як FireHawk [3], які можуть інтегруватися з іншими засобами моніторингу (рис. 1.3).

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.3 – Тепловізійна система виявлення пожеж FireHawk

Основною перевагою є висока точність навіть у нічний час, але недоліком є висока вартість тепловізійного обладнання та його енергоспоживання, що обмежує використання в автономних системах.

1.3.4 Сенсорні мережі

Сучасні рішення часто базуються на мережах автономних сенсорів, які моніторять ключові параметри, такі як дим, температура чи гази. Наприклад, система FireSense [4] використовує датчі диму та температури, що передають дані через бездротову мережу (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Сенсорна система виявлення пожеж FireSense

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Основними недоліками таких систем є обмежений радіус дії сенсорів, потреба у великій кількості модулів для покриття території та складність у забезпеченні їхнього енергоживлення у польових умовах.

1.3.5 Комбіновані системи

Деякі сучасні розробки, такі як WIFIRE [5], поєднують дані з кількох джерел, включаючи супутники, дрони, сенсори та камери. Такі рішення забезпечують комплексний підхід до моніторингу, але вони є складними в реалізації та дуже дорогими (рис. 1.5).

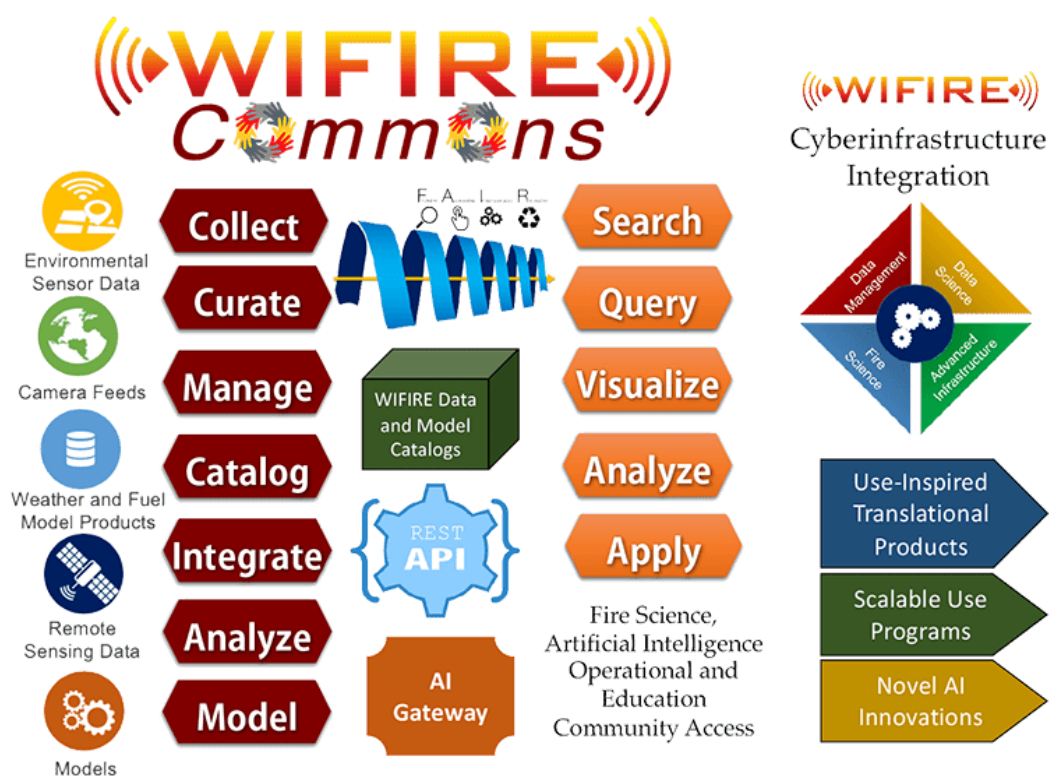


Рисунок 1.5 – Система WIFIRE

Отже, аналіз існуючих засобів дистанційного виявлення лісових пожеж свідчить, що всі вони мають певні недоліки, пов'язані з вартістю, складністю обслуговування, енергоспоживанням або залежністю від погодних умов. Це створює потребу у розробці системи, яка б поєднувала доступність, автономність, точність і ефективність, що є метою цієї кваліфікаційної роботи.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Завдання розробки комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж передбачає створення надійного, енергоефективного та автономного пристрою, здатного своєчасно виявляти ознаки займання в природному середовищі та передавати попереджувальну інформацію до відповідального працівника. Для реалізації такої системи було розглянуто декілька можливих підходів щодо апаратної платформи, засобів зв'язку, типів сенсорів, джерел живлення, а також програмного забезпечення для збирання, обробки та передачі даних.

На першому етапі аналізу розглядалися варіанти мікроконтролерних платформ, які мають достатню кількість цифрових і аналогових входів, підтримують бездротовий зв'язок і здатні працювати з камерою. Серед таких платформ були проаналізовані Arduino Uno, STM32, ESP8266, ESP32-S3. Вибір зупинився на модулі ESP32-S3 з вбудованим модемом SIM7670G, який забезпечує мобільний зв'язок через 2G/3G-мережі, що є критично важливим для експлуатації в умовах відсутності Wi-Fi. Крім того, ця платформа має достатній обсяг оперативної пам'яті, підтримує роботу з камерою та дозволяє реалізувати одночасну взаємодію з кількома сенсорами.

Щодо вибору сенсорів для фіксації потенційної пожежної загрози, було проаналізовано можливості різних давачів. Для виявлення диму розглядалися MQ-серії, зокрема MQ-2, MQ-135 і MQ-7. У результаті MQ-2 було обрано завдяки його чутливості до диму та легкості інтеграції. Для детекції відкритого полум'я оптимальним виявився KY-026 з фотодіодом, чутливим до інфрачервоного випромінювання. Для температурного контролю було обрано DS18B20 — надійний цифровий сенсор із широким діапазоном температур, простим протоколом обміну (1-Wire) і високою точністю.

Значну увагу було приділено способу передавання даних. Серед варіантів були: Wi-Fi, LoRa, ZigBee, GSM/3G. Wi-Fi був відхилений через обмежену зону покриття в лісових умовах, а LoRa і ZigBee — через потребу в інфраструктурі з

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

ретрансляторами. Мобільний зв'язок, який надає модуль SIM7670G, дозволив забезпечити незалежну передачу даних до хмарного серверу Thingier.io, обраного як IoT-платформа завдяки простому API, наявності бібліотек для ESP32 та можливості візуалізації отриманих даних у реальному часі.

Щодо функціоналу оповіщення користувача, розглядалися SMS-повідомлення, push-сповіщення та месенджери. Telegram виявився оптимальним вибором завдяки відкритому API, популярності серед користувачів та можливості передавати не лише текст, а й фото. Було прийнято рішення створити Telegram-бота, який отримує знімки та показники сенсорів у випадку тривоги.

Аналіз джерел живлення засвідчив доцільність використання сонячної панелі та акумулятора NCR18650B, що дозволяє забезпечити автономну роботу пристрою в польових умовах. Був також розглянутий варіант живлення від зовнішнього джерела, але він був відхилений через складність реалізації в ізольованих локаціях.

Аналіз можливих рішень дозволив сформувавши оптимальну конфігурацію системи, яка поєднує: ESP32-S3 SIM7670G як керуючий модуль, датчик MQ-2, KY-026 і DS18B20 для виявлення ознак пожежі, камеру для візуального підтвердження тривоги, сонячне живлення для автономності, хмарну платформу Thingier.io для зберігання та візуалізації даних, а також Telegram-бота для оперативного сповіщення. Обрана архітектура є збалансованою за критеріями надійності, вартості, енергоефективності та простоти розгортання.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Структура системи дистанційного виявлення лісових пожеж

Структурна схема розробленої комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж (рис. 2.1) побудована з урахуванням потреби у безперервному моніторингу навколишнього середовища та автономній роботі в польових умовах.

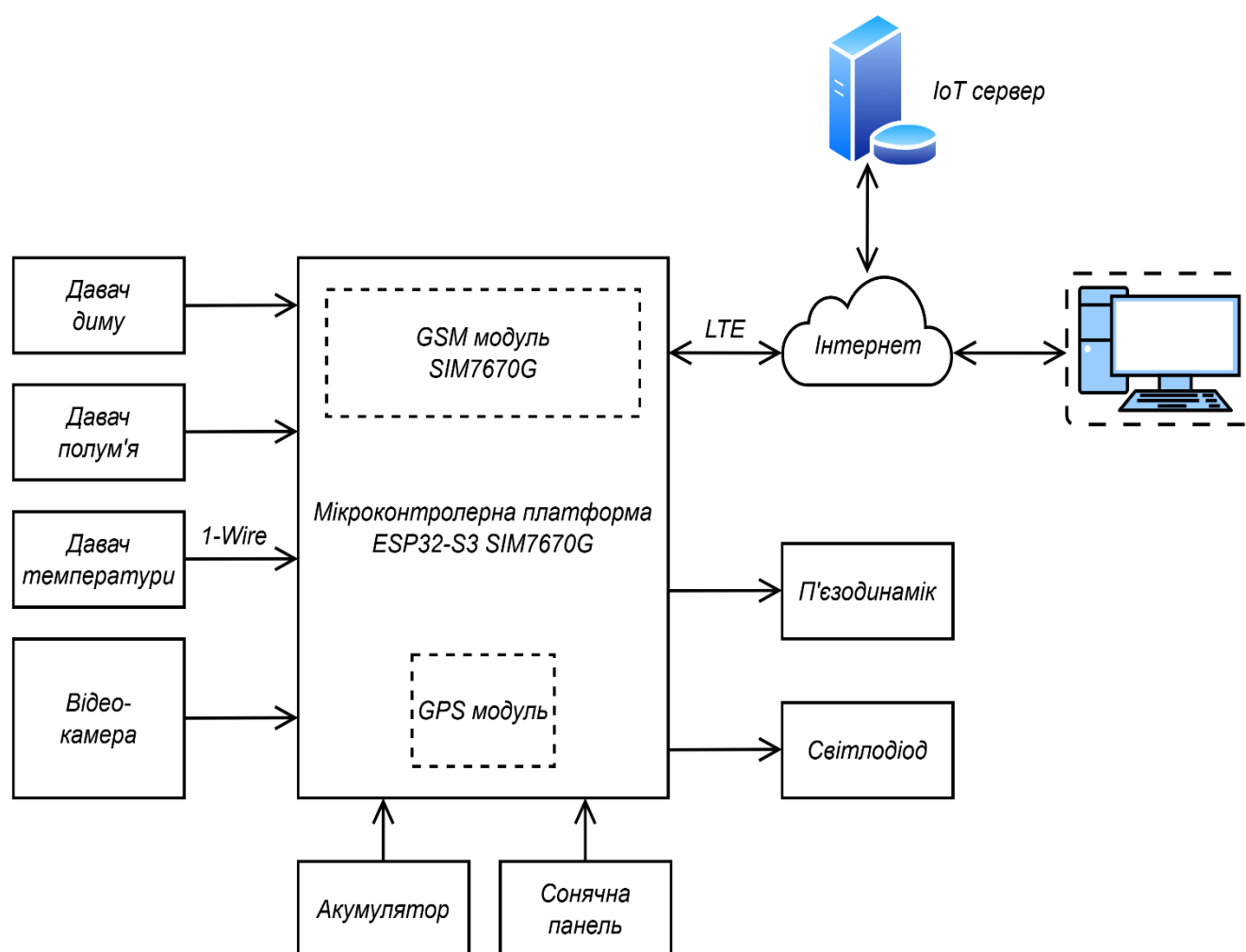


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи дистанційного виявлення лісових пожеж з використанням IoT технологій

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Пазірович А.І.				Проектна частина	Літ.	Арк.
Перевірив	Паламар А.М.						19
Рецензент	Деркач М.В.					Акрушів	
Н. Контр.	Тиш Є.В.					17	
Зав. каф.	Осуківська Г.М.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42	

У центрі системи знаходиться мікроконтролерний модуль ESP32-S3 з модемом SIM7670G, який забезпечує керування всіма периферійними пристроями, обробку даних із сенсорів та передавання інформації на хмарну IoT платформу за допомогою мобільного зв'язку (LTE).

До ESP32-S3 підключено три основні сенсори для моніторингу параметрів навколишнього середовища та камеру для візуального підтвердження тривоги. Давач диму виконує аналогове вимірювання концентрації горючих газів і диму в повітрі. Давач полум'я реагує на наявність інфрачервоного випромінювання, характерного для відкритого вогню, і видає цифровий сигнал при виявленні джерела полум'я. Давач температури, що працює через інтерфейс 1-Wire, забезпечує точне вимірювання температури повітря. Усі ці сенсори спільно забезпечують достовірне виявлення потенційної пожежі.

У разі виявлення небезпечної ситуації система активує виконавчі пристрої – яскравий світлодіод, що подає візуальний сигнал тривоги, та модуль п'єзодинаміка, який видає гучний звуковий сигнал для локального попередження. Паралельно з цим пристрій формує повідомлення про тривогу, яке включає показники з сенсорів, та передає його разом із географічними координатами на IoT платформу. Крім того, передбачається що камера буде автоматично робити фотознімок і передавати його разом із супровідним повідомленням у Telegram.

Живлення пристрою забезпечується автономним джерелом енергії. До системи підключено сонячну панель, яка заряджає акумулятор через відповідний модуль заряду. Такий підхід дозволяє системі працювати тривалий час без зовнішнього джерела живлення, що особливо важливо для використання в лісовій місцевості без доступу до електромережі.

Модуль ESP32-S3 SIM7670G забезпечує з'єднання з Інтернетом через мобільну мережу та передає зібрані дані на IoT-платформу, де вони зберігаються, аналізуються та можуть візуалізуватись у вигляді графіків чи таблиць. Завдяки цьому користувачі мають змогу в режимі реального часу отримувати інформацію про стан довкілля та своєчасно реагувати на загрозу виникнення пожежі.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом, структурна схема об'єднує сенсори, камеру, обчислювальний модуль, засоби сигналізації, автономне живлення та IoT-сервер в єдину інтегровану систему, яка здатна ефективно виявляти ознаки лісових пожеж та оперативно інформувати відповідальні служби або користувачів.

2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи виявлення лісових пожеж

2.2.1 Платформа ESP32-S3 SIM7670G

Платформа ESP32-S3 SIM7670G є потужним інструментом для побудови автономних комп'ютеризованих систем збору, обробки та передачі даних у складних або віддалених умовах [6]. Її конструкція поєднує функціональність сучасного мікроконтролера з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth (ESP32-S3) і широкосмугового стільникового модуля (SIM7670G), що забезпечує доступ до мобільного інтернету 2G/3G/4G та систем глобального позиціонування (GNSS). Такий підхід дозволяє реалізувати стабільний канал зв'язку для систем, які працюють поза межами традиційної мережевої інфраструктури — наприклад, у лісах, сільській місцевості або гірських районах (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Платформа ESP32-S3 SIM7670G

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Будова модуля включає (рис. 2.3):

- основну плату з мікроконтролером ESP32-S3;
- модем SIM7670G з SIM-слотом;
- антену для стільникового зв'язку;
- антену GNSS;
- роз'єм для живлення та програмування (USB Type-C);
- слоти розширення для підключення зовнішніх пристроїв;
- індикатори живлення та роботи модему.

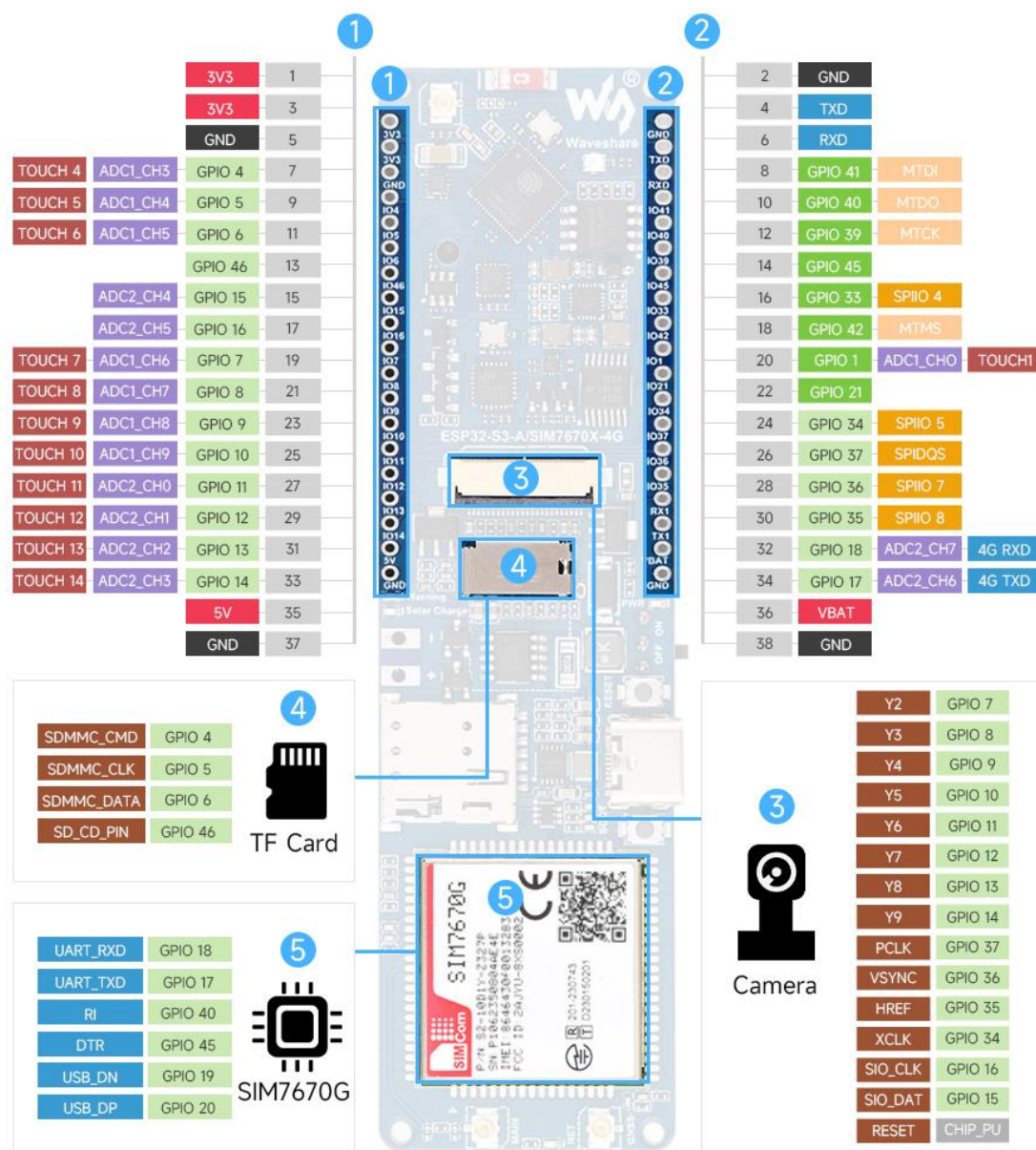


Рисунок 2.3 – Призначення виводів платформи ESP32-S3 SIM7670G

Завдяки підтримці LTE Cat.1, цей модем забезпечує прийнятну швидкість передачі (до 10 Мбіт/с на прийом), зберігаючи при цьому енергоефективність. Вбудована підтримка GPS/GLONASS/BeiDou дозволяє реалізувати точне геопозиціонування — критично важливу функцію для систем спостереження у лісі чи на відкритій місцевості. Основні параметри платформи ESP32-S3 SIM7670G приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики платформи ESP32-S3 SIM7670G

Характеристика	Значення
Процесор	ESP32-S3, 2 ядра Xtensa LX7, 240 МГц
Пам'ять	512 КБ SRAM, підтримка зовнішньої PSRAM
Wi-Fi	IEEE 802.11 b/g/n (2.4 ГГц)
Bluetooth	Bluetooth 5.0 LE
Периферія	SPI, I2C, UART, ADC, DAC, PWM, USB-OTG
Стільниковий модем	SIM7670G
Підтримка мереж	2G (GSM), 3G (WCDMA), 4G (LTE Cat.1)
GNSS	GPS, GLONASS, BeiDou
Максимальна швидкість передачі	LTE: до 10 Мбіт/с (прийом), 5 Мбіт/с (передача)
Інтерфейс зв'язку з ESP32	UART
Слот SIM-карти	Nano-SIM
Напруга живлення	5 В через USB або роз'єм VIN
Живлення SIM7670G	Автономне через LDO-стабілізатор
Розміри модуля	~70 x 50 мм

Перевага використання ESP32-S3 полягає в його високій продуктивності, наявності спеціалізованих периферій (SPI, I2C, UART, PWM, ADC, DAC тощо), а також вбудованого прискорювача для обробки штучного інтелекту. Це дозволяє не

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

лише передавати дані, а й обробляти їх локально — наприклад, проводити попередній аналіз зображень або відслідкувати хибні тривоги. Наявність SIM7670G дає змогу надсилати результати обробки через мобільну мережу, що особливо важливо для систем раннього сповіщення.

Платформа ESP32-S3 SIM7670G була обрана для реалізації комп'ютеризованої системи з огляду на:

- наявність універсальних бездротових інтерфейсів (Wi-Fi, LTE, GNSS);
- достатню обчислювальну потужність для локальної обробки даних;
- підтримку сучасних стандартів мобільного зв'язку та геопозиціонування;
- компактні розміри і можливість автономного живлення, що полегшує інтеграцію в польові системи моніторингу.

Завдяки цим характеристикам платформа ефективно виконує функції зв'язку, навігації та керування в умовах обмеженої інфраструктури, що робить його важливим компонентом в архітектурі сучасної комп'ютеризованої системи моніторингу.

2.2.2 Давач диму MQ-2

Давач диму MQ-2 є одним із найбільш поширених газових сенсорів, який використовується для виявлення диму та ряду інших горючих газів [7]. Його доступність, висока чутливість та простота інтеграції роблять його оптимальним вибором для використання у комп'ютеризованій системі дистанційного виявлення лісових пожеж (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Давач диму MQ-2

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Основним елементом MQ-2 є чутливий шар, виготовлений із діоксиду олова (SnO_2), розміщений на підігрівачому керамічному підкладці. Чутливий шар змінює опір залежно від концентрації горючих газів у навколишньому середовищі. Давач оснащений підігрівальним елементом, який забезпечує необхідну температуру для стабільної роботи сенсорного шару. Крім того, MQ-2 містить виводи для підключення до мікроконтролера або іншої електроніки. В табл. 2.2 зведені технічні характеристики давача MQ-2.

Таблиця 2.2 – Характеристики давача диму MQ-2

Параметр	Значення
Тип газу, що детектується	Горючий газ, дим
Діапазон чутливості	300-10000 ppm
Опір чутливого елемента	1 ... 20 кОм 50ppm
Час відгуку	$\leq 10\text{с}$
Опір нагрівача	$31\Omega \pm 3\Omega$
Струм нагрівача	$\leq 180\text{мА}$
Напруга нагрівача	$5\text{ В} \pm 0,2\text{ В}$
Потужність нагрівача	$\leq 900\text{ мВт}$
Робота температура	$-10 \sim + 50\text{ }^\circ\text{C}$

Принцип роботи давача базується на зміні опору чутливого шару при взаємодії із молекулами горючих газів. У присутності цих газів молекули адсорбуються на поверхні діоксиду олова, що призводить до зменшення опору. Це спричиняє зміну вихідної напруги, яка може бути зчитана та оброблена мікроконтролером. Електрична схема давача MQ-2 зображена на рис. 2.5.

Давач MQ-2 має два виходи:

- аналоговий вихід, який видає напругу, пропорційну концентрації диму;
- цифровий вихід, який сигналізує про перевищення встановленого порогу концентрації диму.

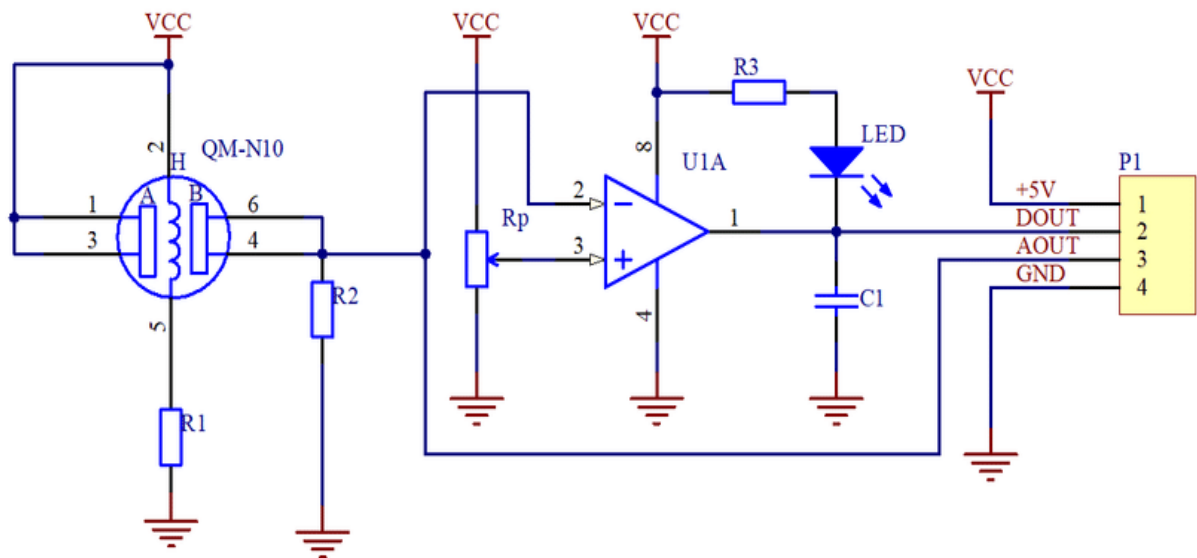


Рисунок 2.5 – Електрична схема давача MQ-2

Вибір MQ-2 для розробки системи дистанційного виявлення лісових пожеж обумовлений його основними перевагами. Цей давач є доступним та має низьку вартість, що важливо при масовому виробництві модулів для моніторингу. Висока чутливість до диму дозволяє швидко виявляти пожежу на ранній стадії. Дач легко підключається до мікроконтролерів завдяки доступним аналоговим і цифровим виходам. MQ-2 має широкий діапазон вимірювання, що забезпечує надійне виявлення різних рівнів диму та газів у повітрі. Дач стійкий до умов навколишнього середовища, що дозволяє застосовувати його в польових умовах.

Отже, MQ-2 є ефективним і надійним рішенням для побудови системи моніторингу лісових пожеж, забезпечуючи високу точність і надійність виявлення ознак пожежі.

2.2.3 Дач полум'я KY-026

Дач полум'я KY-026 є інфрачервоним сенсором, спеціально розробленим для виявлення вогню [8]. Завдяки своїй високій чутливості до інфрачервоного випромінювання, яке виділяється при горінні, цей давач широко використовується в системах пожежної сигналізації та моніторингу. Його компактність, простота інтеграції та точність роблять KY-026 ідеальним вибором для створення комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж (рис. 2.6).

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

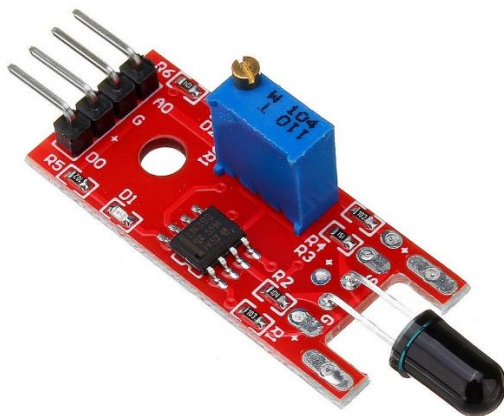


Рисунок 2.6 – Давач полум'я KY-026

Інфрачервоний фотодіод є основним чутливим елементом давача KY-026. Він реєструє інфрачервоне випромінювання, що характерно для полум'я. Підсилювач сигналу забезпечує точне визначення рівня інфрачервоного випромінювання. Компаратор перетворює аналоговий сигнал із фотодіода у цифровий, що дозволяє легко підключити давач до мікроконтролера. Світлодіоди на платі сигналізують про активність давача.

Давач має чотири пін-контакти: VCC (живлення), GND (земля), D0 (цифровий вихід) і A0 (аналоговий вихід). Технічні параметри давача полум'я KY-026 наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні параметри давача полум'я KY-026

Параметр	Значення
Час відгуку	≤ 2 с
Робоча напруга	3,3 – 5,5 В
Споживання струму	15 мА
Кут виявлення полум'я	60°
Довжини хвилі полум'я	760 нм до 1100 нм

KY-026 працює за принципом детектування інфрачервоного випромінювання, характерного для вогню. Коли полум'я знаходиться в зоні виявлення давача, фотодіод реєструє випромінювання, що спричиняє зміну рівня

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

електричного сигналу. Цей сигнал обробляється підсилювачем і компаратором, в результаті чого на цифровому виході давача з'являється сигнал, який може бути зчитаний мікроконтролером.

Давач також містить аналоговий вихід, що дозволяє визначати інтенсивність інфрачервоного випромінювання для більш точного аналізу. На рис. 2.7 зображена електрична схема давача полум'я KY-026.

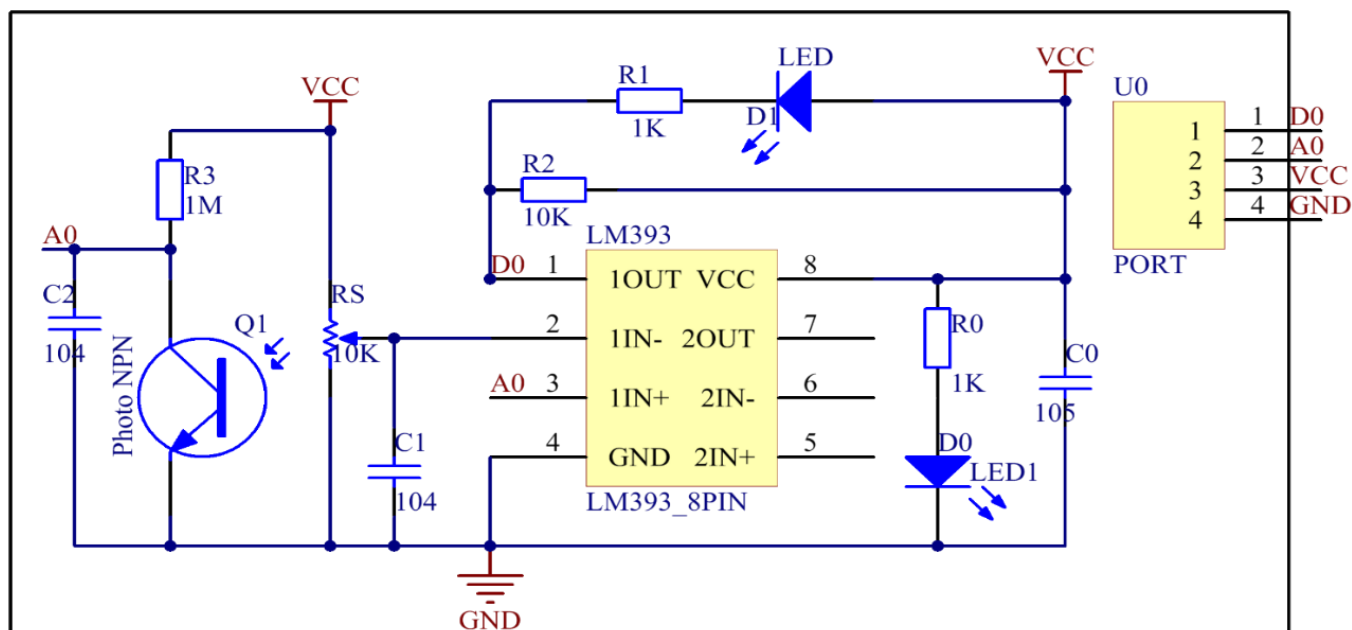


Рисунок 2.7 – Електрична давача полум'я KY-026

Давач KY-026 ефективно реєструє інфрачервоне випромінювання навіть на відносно великій відстані, що є критичним для виявлення пожеж. Завдяки цифровому виходу давач легко підключається до мікроконтролерів. Низька вартість забезпечує можливість масового використання цього давача в проєкті. Невеликий розмір дозволяє встановлювати KY-026 навіть у портативних пристроях. Давач може працювати в польових умовах протягом тривалого часу від автономного джерела живлення.

Загалом, KY-026 дозволяє оперативно і точно виявляти пожежі на початковій стадії. Його інтеграція до системи дистанційного моніторингу робить проєкт ефективним та економічно обґрунтованим.

2.2.4 Давач температури DS18B20

Давач температури DS18B20 [9] є високоточним цифровим сенсором (рис. 2.8), який широко використовується в різноманітних системах моніторингу. Цей давач ідеально підходить для використання в комп'ютеризованій системі дистанційного виявлення лісових пожеж, оскільки підвищення температури може бути додатковим фактором для ідентифікації пожежі.



Рисунок 2.8 – Давач температури DS18B20

Основу DS18B20 становить чутливий елемент, що перетворює температуру середовища в цифровий сигнал з високою точністю. Інтегрований аналого-цифровий перетворювач конвертує аналогові значення температури в цифровий сигнал для передачі. Мікросхема пам'яті зберігає унікальний 64-бітний ідентифікатор кожного давача, що дозволяє підключати кілька таких сенсорів до однієї шини. Інтерфейс 1-Wire забезпечує передачу даних та живлення по одному проводу, що спрощує монтаж. DS18B20 працює на основі напівпровідникового чутливого елемента, який реагує на зміну температури середовища. Температура вимірюється у діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$, а отримане значення передається у вигляді цифрового сигналу через інтерфейс 1-Wire. Параметри давача DS18B20B наведені табл. 2.4.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Параметри давача DS18B20

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання температури	-55°C до +125°C
Точність вимірювання	±0.5°C у діапазоні від -10°C..+85°C
Роздільна здатність	програмована (9–12 біт)
Інтерфейс	1-Wire
Напруга живлення	3,0–5,5 В
Час вимірювання	93.75 мс (при 9 бітах) до 750 мс (при 12 бітах)

Інтерфейс 1-Wire дозволяє під'єднувати декілька давачів до однієї шини, ідентифікуючи їх за допомогою унікального ідентифікатора. Цей протокол також забезпечує економію проводів, оскільки живлення давача може здійснюватися за тим самим проводом, що й передача даних.

Точність вимірювань у $\pm 0,5$ °C дозволяє отримувати надійні дані про підвищення температури, характерне для пожеж. Широкий температурний діапазон дозволяє використовувати давач у будь-яких умовах, зокрема для виявлення екстремальних значень температури під час пожеж. Інтерфейс 1-Wire зменшує кількість необхідних проводів для підключення, що спрощує монтаж системи. Унікальний ідентифікатор дозволяє підключати кілька давачів до однієї шини, що важливо для системи, яка охоплює великі території. Давач підходить для автономних систем, що працюють від батарей. Герметичний корпус давача забезпечує стійкість до вологи та пилу, що є важливим для лісових умов.

Завдяки своїм характеристикам DS18B20 є оптимальним вибором для додаткового контролю температури у системі виявлення лісових пожеж, підвищуючи її надійність та ефективність.

2.2.5 Сонячна панель 6 В / 1 Вт

Сонячна панель 6 В / 1 Вт є компактним джерелом електроенергії, яке використовує сонячну енергію для живлення електронних пристроїв [10]. Вона є

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

важливим компонентом автономних систем, зокрема тих, що працюють у важкодоступних місцях без постійного доступу до електромережі. У проєктованій комп'ютеризованій системі дистанційного виявлення лісових пожеж ця панель використовується для забезпечення безперервного живлення сенсорного модуля, що дозволяє значно продовжити термін автономної роботи (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Сонячна панель 6 В / 1 Вт

Фотоелементи сонячної панелі виготовлені на основі монокристалічного або полікристалічного кремнію, вони відповідають за перетворення сонячного світла в електричний струм. Прозорий шар із загартованого скла або полімерного матеріалу захищає фотоелементи від механічних пошкоджень, пилу та вологи. Підкладка виконує роль механічної основи панелі, забезпечуючи її жорсткість та стабільність. Контактні доріжки використовуються для передачі електроенергії від фотоелементів до вихідних контактів панелі.

Сонячна панель працює за принципом фотогальванічного ефекту. Коли світло сонця поступає на поверхню фотоелементів, енергія фотонів спричиняє рух

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електронів у напівпровідниковому матеріалі, що створює електричний струм. Отриманий постійний струм може безпосередньо використовуватися для живлення пристроїв або заряджання акумуляторів для подальшого використання в умовах відсутності сонячного освітлення.

Ефективність сонячної панелі залежить від кількох факторів: інтенсивності сонячного випромінювання, кута нахилу панелі відносно сонця, температурних умов та можливих затінь.

Використання сонячної панелі дозволяє забезпечити безперервне живлення сенсорного модуля без необхідності частої заміни батарей або зовнішнього джерела живлення. Невеликий розмір і мала вага дозволяють легко інтегрувати панель у конструкцію модулів, що будуть розміщені в лісі. Сонячна енергія є відновлюваним і екологічно чистим джерелом живлення, що особливо важливо для роботи у природних екосистемах.

Панель видає стабільну напругу 6 В, що дозволяє легко інтегрувати її в систему живлення з акумулятором та регулятором напруги. Панель може працювати в широкому діапазоні температур, що є критично важливим для лісових умов із можливими різкими змінами погоди. На відміну від традиційних джерел живлення, сонячна панель не потребує частого технічного обслуговування та заміни компонентів.

Використання сонячної панелі 6 В / 1 Вт у системі дистанційного виявлення лісових пожеж значно підвищує її автономність та надійність. Це рішення дозволяє забезпечити безперервний моніторинг території без потреби у додаткових джерелах енергії, що особливо важливо для розміщення давачів у важкодоступних зонах лісових масивів.

2.2.6 Акумулятор NCR18650B

Акумулятор Liitokala NCR18650B є літій-іонним елементом живлення типорозміру 18650, який відзначається високою ємністю (3400 мА·год), стабільною роботою та довготривалим ресурсом [11]. Він є ефективним рішенням для автономних пристроїв, зокрема для комп'ютеризованої системи дистанційного

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виявлення лісових пожеж. Завдяки високій енергетичній щільності та низькому саморозряду, цей акумулятор забезпечує тривалу роботу пристрою без частих заміन або обслуговування (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Акумулятор NCR18650B

Завдяки 3400 мА·год акумулятор забезпечує тривалу автономну роботу пристрою навіть за умов відсутності сонячного освітлення. Номінальні 3,7 В підходять для живлення мікроконтролерів, датчиків і бездротових модулів. Мінімальні енергетичні втрати під час роботи простою сприяють довговічності акумулятора. Стандартний розмір 18650 дозволяє легко вмонтувати акумулятор у корпус пристрою. Акумулятор може працювати з зарядними модулями, що запобігають перезарядженню, перегріву та глибокому розряду. Акумулятор підходить для роботи в системах, що застосовують відновлювані джерела енергії. Велика кількість циклів заряд-розряд забезпечує тривалий термін служби пристрою.

Отже, акумулятор NCR18650B є оптимальним джерелом живлення для комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж. Його висока енергоефективність, надійність і сумісність з автономними джерелами живлення гарантують безперебійну роботу системи в польових умовах.

2.3 Розробка електричної схеми пристрою

В основі електричної принципової схеми комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж лежить мікроконтролерний модуль ESP32-S3 з інтегрованим стільниковим модемом SIM7670G (позначений як U4), який виконує функції збору, обробки та передавання даних на IoT-платформу. До цього модуля під'єднано всі сенсори, сигнальні пристрої та елементи живлення (рис. 2.11).

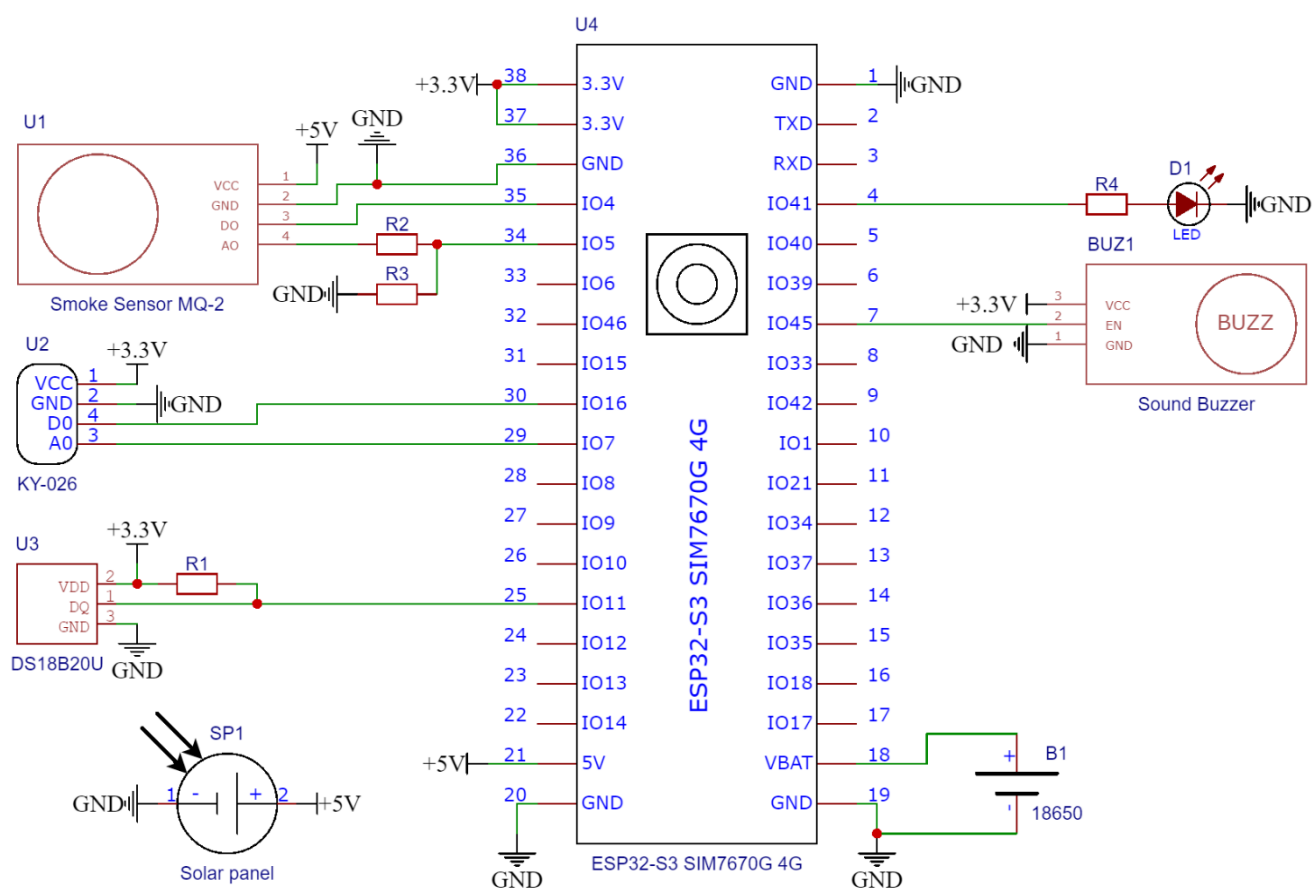


Рисунок 2.11 – Електрична схема пристрою для дистанційного виявлення лісових пожеж

Серед сенсорних елементів ключову роль відіграє давач диму MQ-2 (позначений як U1), який має два виходи: цифровий та аналоговий. Цифровий вихід MQ-2 під'єднано до входу IO4 модуля ESP32-S3 для виявлення перевищення

порогового рівня диму. Аналоговий вихід, що видає напругу, пропорційну концентрації диму, під'єднано до входу ІО5 через подільник напруги, який забезпечує узгодження рівнів сигналу з максимально допустимим значенням для АЦП ESP32-S3.

Давач полум'я KY-026 (U2) також має два виходи. Цифровий сигнал, який генерується при виявленні інфрачервоного випромінювання, подається на вхід ІО16 мікроконтролера. Аналоговий вихід, що дозволяє більш гнучко відстежувати рівень інтенсивності випромінювання, підключено до входу ІО7.

Для вимірювання температури використано цифровий датчик DS18B20 (U3), який працює за протоколом 1-Wire. Його вихід з'єднано з входом ІО11 модуля ESP32-S3. У схемі передбачено підтягувальний резистор R1, підключений між лінією даних та живленням, що забезпечує стабільність сигналу в шині.

Для локального сповіщення про тривогу у схемі передбачено два виконавчі пристрої. Світлодіод (D1) підключено до виходу ІО41, і він вмикається у разі виявлення небезпечної ситуації, забезпечуючи візуальний сигнал. П'єзодинамік (BUZ1) з'єднано з виходом ІО45 і використовується для звукового попередження.

Живлення системи реалізовано автономно. До неї підключено сонячну панель (SP1), яка служить джерелом енергії для підзарядки літій-іонного акумулятора NCR18650B (B1). Така конфігурація забезпечує можливість тривалої роботи пристрою без підключення до зовнішніх джерел живлення, що є критично важливим для розміщення системи у віддалених лісових регіонах.

Розроблена електрична принципова схема забезпечує узгоджену роботу всіх компонентів системи: від збору даних до передачі повідомлень та локальної індикації тривоги. Усі сенсори та виконавчі елементи підключено до ESP32-S3 через відповідні цифрові або аналогові входи/виходи, з дотриманням вимог електричної сумісності.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи дистанційного виявлення лісових пожеж

Проектування алгоритму роботи комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж із використанням IoT технологій є критичним етапом, що визначає її функціональність, надійність та оперативність реагування на загрозу. Основна мета алгоритму полягає у постійному моніторингу параметрів навколишнього середовища, виявленні ознак можливого займання, візуальній фіксації події та передачі попереджувального повідомлення на хмарний сервер та користувачу в Telegram. При цьому враховуються вимоги до енергоефективності, автономності та можливості роботи в умовах обмеженого доступу до електромережі чи Інтернету.

Алгоритм починається з ініціалізації всіх компонентів системи після ввімкнення або перезавантаження пристрою (рис. 3.1). На цьому етапі відбувається конфігурація входів/виходів мікроконтролера ESP32-S3 SIM7670G, ініціалізація інтерфейсів зв'язку (UART, 1-Wire, ADC), підключення до мобільної мережі через модем SIM7670G, встановлення з'єднання з платформою Thingier.io, а також запуск Telegram-бота для можливості надсилання повідомлень. Також проводиться тестування працездатності сенсорів та перевірка доступності камери.

Після успішної ініціалізації система переходить у режим циклічного опитування сенсорів (рис. 3.1). У кожному циклі зчитуються значення з цифрового і аналогового виходів датчика диму MQ-2, аналогового і цифрового виходів модуля полум'я KY-026, а також значення температури з цифрового датчика DS18B20. Отримані дані зберігаються в оперативній пам'яті та передаються на платформу Thingier.io. Передача здійснюється з фіксованою періодичністю для забезпечення безперервного моніторингу.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Пазірович А.І.			Практична частина	Літ.		Арк.	Акрушів
Перевірів		Паламар А.М.						36	15
Рецензент		Деркач М.В.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42			
Н. Контр.		Тиш Є.В.							
Зав. каф.		Осуківська Г.М.							

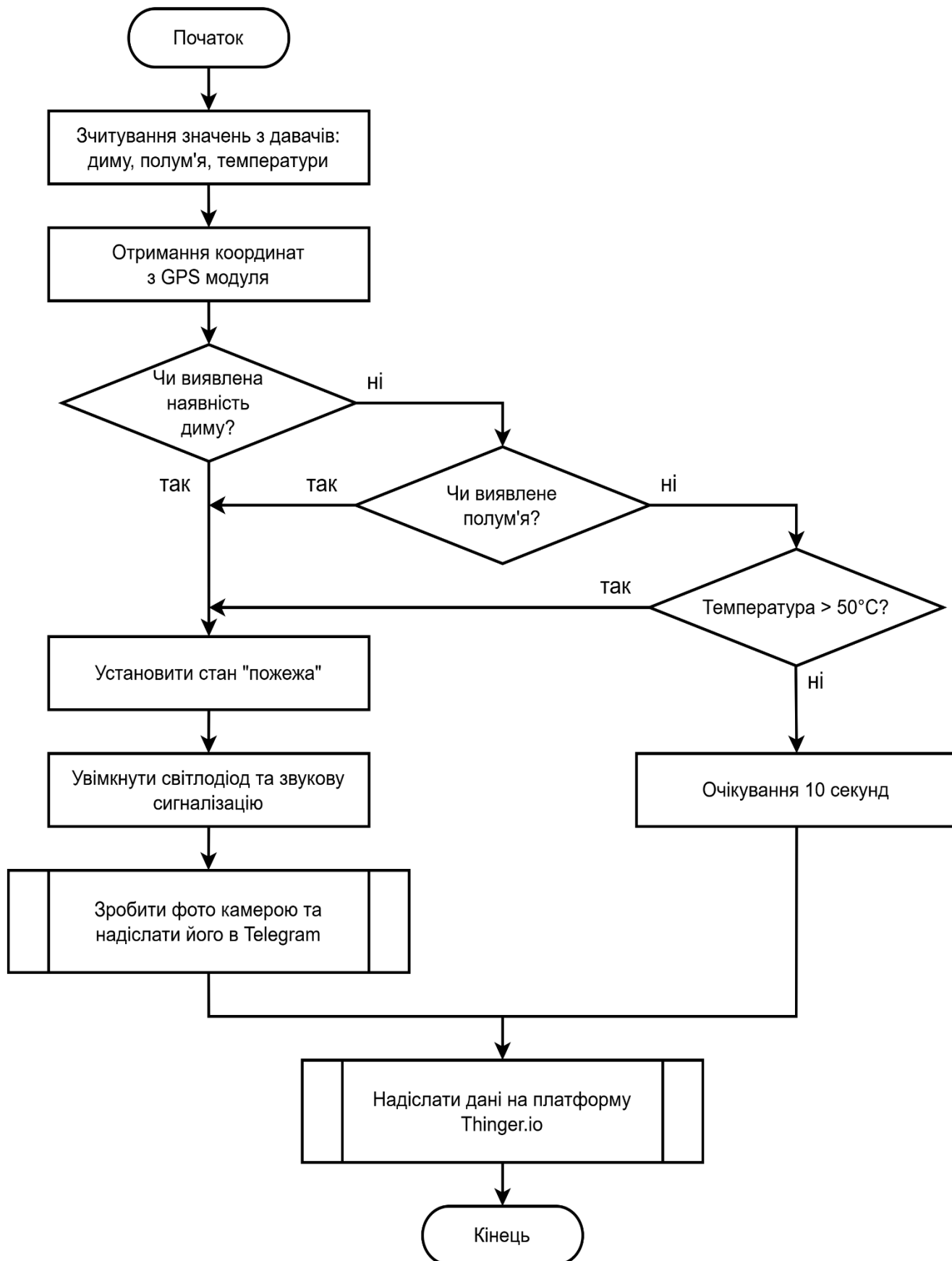


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи циклічної підпрограми loop у системі дистанційного виявлення лісових пожеж

На основі зчитаних даних відбувається аналіз показників на предмет перевищення встановлених порогових значень. Для давача MQ-2 визначено граничне значення концентрації диму в повітрі, вище якого вважається, що є загроза пожежі. Для модуля KY-026 визначено цифровий поріг виявлення інфрачервоного випромінювання, що свідчить про наявність відкритого полум'я. Для температурного давача встановлено критичну межу температури, перевищення якої також розглядається як потенційна ознака пожежі.

У разі перевищення хоча б одного з порогових значень система переходить у режим тривоги. Одночасно активуються візуальні та звукові засоби сповіщення: вмикається світлодіод та модуль п'єзодинаміка. Паралельно з цим активується камера, яка робить знімок або серію знімків у напрямку зони моніторингу. Отримане зображення зберігається у локальній пам'яті пристрою, після чого вбудовується у повідомлення для Telegram.

Надалі генерується повідомлення тривоги, яке включає: час і дату події, координати місця, значення всіх сенсорів, а також фотодоказ. Це повідомлення надсилається в Telegram через заздалегідь створеного бота, і користувач отримує його миттєво. Також дані передаються на платформу Thinger.io для подальшої візуалізації та зберігання. У разі відсутності зв'язку з Telegram API або платформою, повідомлення буферизується та надсилається повторно при відновленні з'єднання.

Після завершення обробки події система повертається до режиму циклічного моніторингу, однак протягом деякого часу вона продовжує перебувати у підвищеному режимі чутливості або блокуванні дублювання подій для уникнення зайвих повідомлень при стабільній пожежі.

розроблений алгоритм забезпечує високий рівень автоматизації процесу виявлення лісових пожеж, своєчасну реакцію на загрозу та доставку достовірної інформації до користувача. Завдяки використанню IoT-технологій, система може функціонувати автономно в умовах віддалених територій, не потребуючи постійної присутності оператора або додаткової інфраструктури.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розробка програмного забезпечення

3.2.1 Опис використаних бібліотек

У програмному коді, реалізованому для мікроконтролера ESP32, використовуються декілька зовнішніх бібліотек, кожна з яких виконує важливу функціональну роль у системі виявлення лісових пожеж. Ці бібліотеки забезпечують роботу з мережею Wi-Fi, сенсорами, камерою, GPS-модулем та платформами віддаленого моніторингу. Нижче подано короткий опис призначення кожної з них (рис. 3.2).

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <ThingyESP32.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include "esp_camera.h"
#include <base64.h>
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду з підключенням бібліотек

Бібліотека WiFi.h є стандартною бібліотекою для мікроконтролерів ESP32 і забезпечує підключення до бездротової мережі Wi-Fi. Вона дозволяє встановлювати з'єднання з маршрутизатором, отримувати IP-адресу та здійснювати мережеву комунікацію. Для безпечної передачі даних у хмарні сервіси використовується бібліотека WiFiClientSecure.h, яка дозволяє працювати з HTTPS-з'єднанням.

Для інтеграції з платформою Інтернету речей Thingy.io застосовується бібліотека ThingyESP32.h, яка забезпечує зручний інтерфейс для надсилання даних сенсорів, а також керування пристроями з хмарного середовища.

Робота з цифровим температурним сенсором DS18B20 реалізується за допомогою бібліотек OneWire.h та DallasTemperature.h. Перша з них реалізує протокол OneWire, необхідний для взаємодії з пристроями, що підтримують

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

однопровідний інтерфейс, тоді як друга надає більш високорівневий доступ до температурних даних з конкретного давача DS18B20.

Бібліотека `TinyGPS++.h` використовується для обробки сигналів з GPS-модуля. Вона дозволяє ефективно парсити дані з модуля у форматі NMEA та отримувати такі параметри, як широта, довгота, час, швидкість і висота. Для зручної роботи з додатковим апаратним UART, до якого підключено GPS-модуль, застосовується стандартна бібліотека `HardwareSerial.h`.

Однією з ключових частин системи є модуль камери, тому у програмі використовується бібліотека `"esp_camera.h"`, яка надає функціональність для конфігурації камери, зйомки фотографій і управління форматами зображення. Нарешті, для перетворення зображень у текстовий формат (наприклад, для надсилання через HTTP) використовується бібліотека `base64.h`, яка дозволяє кодувати масиви байтів у формат Base64.

Усі ці бібліотеки у сукупності забезпечують повноцінну роботу інтелектуальної системи виявлення пожеж, дозволяючи інтегрувати її з хмарними сервісами, сповіщати користувача через месенджер Telegram, а також зчитувати й передавати важливі дані з сенсорів у режимі реального часу.

3.2.2 Опис функції `setup`

Функція `setup()` в програмі відіграє ключову роль у первинній ініціалізації компонентів комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж. Вона виконується один раз при ввімкненні або перезавантаженні пристрою і готує мікроконтролер до виконання основної логіки, описаної у функції `loop()`.

На початку функції визначаються режими роботи основних вхідних та вихідних пінів. Встановлюється початковий стан цих виконавчих пристроїв у низький логічний рівень, щоб уникнути їхнього випадкового увімкнення (рис. 3.3).

Після цього ініціалізується температурний сенсор DS18B20 за допомогою. Потім за допомогою об'єкта `gpsSerial` активується UART-порт для взаємодії з GPS-модулем.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(MQ2_PIN, INPUT);
    pinMode(FLAME_SENSOR_PIN, INPUT);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);

    tempSensor.begin();
    gpsSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17); // GPS RX/TX

    // WiFi
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) delay(500);

    // Thingier
    thing.add_wifi(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    thing["temperature"] >> outputValue(temperature);
    thing["smoke"] >> outputValue(analogRead(MQ2_PIN));
    thing["flame"] >> outputValue(digitalRead(FLAME_SENSOR_PIN));
}

```

Рисунок 3.3 – Фрагмент коду функції setup()

Для забезпечення передачі даних до хмарної платформи Thingier.io і доступу до мережі виконується підключення до Wi-Fi. Після цього викликається метод thing.add_wifi(), який також використовується бібліотекою Thingier для аутентифікації з тією ж мережею.

Наступний блок коду налаштовує "ресурси" платформи Thingier.io, дозволяючи у режимі реального часу передавати значення температури, диму та наявності полум'я.

Окрему важливу частину займає налаштування камери. Це здійснюється шляхом створення та заповнення структури camera_config_t, де детально вказуються усі пін-конфігурації камери, частота сигналу XCLK, формат пікселів (JPEG), роздільна здатність кадру (QVGA) та якість зображення. Після цього викликається, яка ініціалізує драйвер камери.

На завершення виконується виклик, який вимикає перевірку SSL-сертифікатів. Це необхідно для спрощеної HTTPS-комунікації з Telegram Bot API.

Загалом, функція setup() забезпечує підключення до мережі, ініціалізацію сенсорів і камери, налаштування хмарної взаємодії через Thingier.io та підготовку до подальшої роботи всієї системи.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.3 Опис функції loop

Функція `loop()` є основним циклом виконання програми на мікроконтролері ESP32, у якому реалізується періодичне опитування сенсорів, аналіз отриманих даних і взаємодія з хмарними сервісами. Вона запускається безперервно після одноразового виконання функції `setup()`, що дає змогу реалізувати логіку моніторингу навколишнього середовища в режимі реального часу (рис. 3.4).

```
void loop() {  
  thing.handle();  
  readSensors();  
  checkFireCondition();  
  delay(10000); // кожні 10 сек  
}
```

Рисунок 3.4 – Лістинг коду функції `loop()`

На самому початку викликається метод `thing.handle()` з бібліотеки `Thingier.io`. Цей виклик є обов'язковим для підтримки з'єднання з хмарною платформою `Thingier.io`, обробки запитів, передавання даних та оновлення ресурсів. Без цього рядка система не зможе динамічно передавати значення температури, диму та наявності полум'я в режимі онлайн.

Наступним кроком викликається функція `readSensors()`, яка відповідає за зчитування значень з усіх підключених сенсорів — температурного датчика DS18B20, датчика диму MQ-2 та датчика полум'я. У цій функції значення записуються у відповідні змінні, які згодом використовуються як для відображення даних на `Thingier.io`, так і для подальшої обробки умов спрацювання тривоги. Таким чином, мікроконтролер отримує оновлену інформацію про поточний стан навколишнього середовища, зокрема про наявність диму, високої температури чи відкритого полум'я.

Після зчитування сенсорних даних викликається функція `checkFireCondition()`. У цьому блоці реалізовано логіку прийняття рішення щодо потенційної пожежної ситуації. Якщо хоча б один із показників (дим, температура або полум'я) перевищує наперед визначене порогове значення, система ідентифікує загрозу займання. У відповідь на виявлену загрозу вмикаються

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконавчі пристрої: світлодіод як візуальний індикатор та п'єзодинамік як звукова сирена. Крім того, у цій функції реалізовано фотофіксацію ситуації за допомогою камери та надсилання відповідного повідомлення через Telegram-бота, а також передавання URL зображення і значень сенсорів на платформу Thinger.io. У результаті, користувач отримує своєчасне сповіщення про можливу пожежу разом із візуальним підтвердженням.

Останній рядок у функції `loop()` забезпечує паузу в 10 секунд між циклами опитування та обробки. Така затримка дозволяє уникнути надмірного навантаження на систему та хмарні сервіси, водночас забезпечуючи достатню частоту оновлення даних для оперативного реагування.

Функція `loop()` забезпечує циклічну перевірку стану навколишнього середовища, ініціює сповіщення у разі небезпеки, підтримує зв'язок із платформою Thinger.io та виконує ключові дії системи виявлення лісових пожеж з використанням технологій Інтернету речей.

3.2.4 Опис функції `readSensors`

Функція `readSensors()` відповідає за зчитування даних з основних сенсорів, що забезпечують контроль навколишнього середовища в системі дистанційного виявлення лісових пожеж. До цих сенсорів належать температурний датчик DS18B20, датчик диму MQ-2 та полум'я, а також модуль GPS для визначення координат пристрою. Зібрані дані є основою для подальшої оцінки стану середовища, прийняття рішення про наявність загрози пожежі та формування відповідного повідомлення користувачу (рис. 3.5).

```
void readSensors() {  
    tempSensor.requestTemperatures();  
    temperature = tempSensor.getTempCByIndex(0);  
    smokeValue = analogRead(MQ2_PIN);  
    flameValue = digitalRead(FLAME_SENSOR_PIN);  
    while (gpsSerial.available() > 0) gps.encode(gpsSerial.read());  
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду функції `readSensors()`

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

У першому рядку функції здійснюється запит до температурного сенсора на зчитування актуального значення температури. Цей запит активує давач, після чого в наступному рядку отримується виміряне значення температури для пристрою з індексом 0 на шині 1-Wire. Отримане значення зберігається у змінну `temperature`, яка надалі використовується в алгоритмах аналізу.

Наступні два рядки забезпечують зчитування показників з газового давача MQ-2 і сенсора полум'я. В сукупності, ці два давачі дозволяють надійно виявляти ознаки загоряння в зоні дії пристрою.

Останній фрагмент функції призначений для обробки вхідних даних з GPS-модуля. У цьому циклі перевіряється, чи є в буфері вхідного UART-потoku нові байти. Якщо є, кожен байт зчитується методом `gpsSerial.read()` і передається об'єкту `gps`, що реалізований за допомогою бібліотеки `TinyGPS++`. Цей об'єкт виконує розбір (парсинг) вхідних повідомлень формату NMEA і зберігає поточні координати (широту та довготу), а також інші параметри позиціонування, такі як кількість супутників чи швидкість. Таке рішення дозволяє зберігати в програмі завжди актуальну інформацію про місцезнаходження пристрою.

Отже, функція `readSensors()` виконує повний цикл збору вимірювальної інформації з основних сенсорів системи, забезпечуючи своєчасне оновлення даних для подальшого аналізу ситуації. Ці дані не лише використовуються для визначення загрози пожежі, а й передаються на хмарну платформу та у вигляді повідомлення надсилаються користувачу в разі спрацювання системи.

3.2.5 Опис функції `checkFireCondition`

Функція `checkFireCondition()` реалізує логіку виявлення пожежі на основі аналізу даних з кількох сенсорів: температурного давача, сенсора диму і полум'я. Її основна мета — оцінити поточний стан навколишнього середовища та визначити, чи присутні ознаки займання. У разі виявлення загрози функція активує сигналізацію та викликає процедуру захоплення та надсилання зображення з камери (рис. 3.6).

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void checkFireCondition() {
    if (smokeValue > 3000 || flameValue == LOW || temperature > 50.0) {
        if (!fireDetected) {
            fireDetected = true;
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
            captureAndSendPhoto();
        }
        else {
            fireDetected = false;
            digitalWrite(LED_PIN, LOW);
            digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        }
    }
}

```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду функції checkFireCondition()

Основна умова виявлення пожежі сформульована в першому рядку тіла функції. Тут перевіряються три критичних показники. Перший — значення smokeValue, яке вказує на рівень газів, що виникають при горінні; якщо воно перевищує 3000 (в умовних одиницях АЦП), це може свідчити про наявність диму. Другий — значення flameValue; якщо воно дорівнює LOW, це означає, що сенсор виявив інфрачервоне випромінювання, характерне для відкритого полум'я. Третій — температура навколишнього середовища, яка вважається критичною при перевищенні 50 °С. Усі три умови об'єднані оператором логічного «або», отже достатньо виконання хоча б однієї з них для активації тривоги.

У разі виконання умови і якщо пожежа ще не була виявлена раніше (!fireDetected), у функції відбувається фіксація стану тривоги через встановлення прапорця fireDetected. Далі активується світлова та звукова сигналізація, які відповідно вмикають світлодіод та п'єзодинамік. Після цього викликається функція, яка здійснює захоплення зображення камерою та ініціює процес його передавання на хмарну платформу і в Telegram. Якщо жодна з умов пожежі не виконується, програма переходить до гілки else, де прапорець fireDetected скидається у значення false, а також вимикаються сигналізаційні пристрої.

Отже, функція checkFireCondition() є центральним елементом алгоритму реагування на пожежу. Вона забезпечує оперативне прийняття рішення про тривожну ситуацію, активує відповідну індикацію та запускає процес інформування користувача.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.6 Опис функції captureAndSendPhoto

Функція `captureAndSendPhoto()` відповідає за захоплення зображення за допомогою камери, формування повідомлення з даними сенсорів та надсилання цього повідомлення разом із фото до Telegram. Вона викликається лише у разі виявлення пожежі, що забезпечує економію ресурсів та мінімізацію хибних спрацювань (рис. 3.7).

```
void captureAndSendPhoto() {
    camera_fb_t *fb = esp_camera_fb_get();
    if (!fb) return;

    String message = "🔥 *ПОЖЕЖА ВИЯВЛЕНА!*\\n";
    message += "🌡 Температура: " + String(temperature) + " °C\\n";
    message += "💨 Дим: " + String(analogRead(MQ2_PIN)) + "\\n";
    message += "🔥 Полум'я: " + String(digitalRead(FLAME_SENSOR_PIN) == LOW ? "Виявлено" : "Немає") + "\\n";

    if (gps.location.isValid()) {
        message += "📍 Координати: \\n";
        message += String(gps.location.lat(), 6) + ", ";
        message += String(gps.location.lng(), 6) + "\\n";
    }

    sendPhotoToTelegram(fb->buf, fb->len, message);
    esp_camera_fb_return(fb);
}
```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду функції `captureAndSendPhoto()`

На початку функції виконується команда, яка ініціює процес захоплення кадру з камери й зберігає отриманий фрейм у буфер `fb`. Якщо з якихось причин отримати зображення не вдалось (тобто `fb` дорівнює `nullptr`), функція достроково завершується.

Далі формується текст повідомлення `message`, яке має інформативний та структурований вигляд. Після формування повідомлення викликається функція `sendPhotoToTelegram()`. Ця функція відповідає за безпосереднє надсилання всього пакета в Telegram через бот-інтерфейс.

Після завершення операції з фотографією виконується команда, яка звільняє пам'ять, зайняту буфером кадру, і готує камеру до наступного знімка. Це є обов'язковим кроком, що запобігає витоку ресурсів на ESP32.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Реалізація можливостей дистанційного моніторингу

3.3.1 Реалізація взаємодії з платформою Thingier

В якості хмарної платформи Інтернету речей для віддаленого моніторингу було обрано Thingier.io. Це сучасна платформа з відкритим API та зручним веб-інтерфейсом, яка забезпечує взаємодію мікроконтролерів, сенсорів і хмарного середовища в режимі реального часу. Thingier.io дозволяє швидко налаштувати збирання, зберігання та візуалізацію телеметричних даних, що є критично важливим у задачах моніторингу навколишнього середовища.

Основним завданням у межах цієї системи є передача даних про температуру, наявність диму та полум'я до хмари для подальшого аналізу та віддаленого спостереження. Платформа Thingier.io чудово справляється з цим завданням, забезпечуючи зручну інтеграцію з мікроконтролерами ESP32 через спеціальну бібліотеку, що значно спрощує розробку та економить час.

Серед переваг Thingier.io варто відзначити безкоштовний тарифний план з можливістю підключення кількох пристроїв, просту реєстрацію, швидку інтеграцію з пристроями, високий рівень надійності передачі даних та можливість перегляду значень у реальному часі через браузер.

Вибір Thingier.io як основної IoT-платформи для цієї системи обґрунтовується її простотою впровадження, відкритістю, наявністю документації та підтримки ESP32, а також функціональністю, достатній для реалізації задач екологічного моніторингу. Платформа забезпечує надійне збереження критичних даних та їх доступність для візуального контролю, що значно підвищує ефективність та оперативність реагування у випадку виявлення пожежі.

У процесі реалізації комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж було виконано налаштування хмарної IoT-платформи Thingier.io для забезпечення прийому та візуалізації телеметричних даних з мікроконтролера ESP32. Основна мета цього етапу полягала в організації зручного середовища для моніторингу показників температури, наявності диму та виявлення полум'я.

Насамперед було створено обліковий запис на офіційному веб-сайті платформи Thingier.io. Після успішної реєстрації було додано новий пристрій, для

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якого автоматично згенерувались унікальні облікові дані — ім'я користувача, ідентифікатор пристрою та токен доступу. Ці дані було використано для ініціалізації підключення з боку ESP32 у програмному коді.

The screenshot shows the 'Device Details' form in the Thingier.io interface, divided into three sections: Device Configuration, Device Information, and Advanced Options. In the Device Configuration section, 'Device Type' is set to 'IOTMP Device (Thingier.io protocol)', 'Device Id' is 'ESP32-S3', and 'Device Credentials' is a red-bordered field with a 'Random' button. The Device Information section has 'Device Name' as 'Forest Fire Detector' and 'Device Description' as 'Computerized system of forest fires remote detection using IoT technologies by Pazirovych A.I.'. The Advanced Options section includes 'Asset Type', 'Asset Group', and 'Product' dropdowns, all currently showing 'Select ...', and an 'Enabled' toggle switch that is turned on. A blue 'Add Device' button is at the bottom left.

Рисунок 3.8 – Процес створення та налаштування пристрою в Thingier.io

У веб-інтерфейсі платформи було налаштовано три ресурси — temperature, smoke та flame. Для кожного з них було вказано тип (output), щоб платформа могла відображати значення, які передає мікроконтролер. Потім, у програмі на ESP32 було реалізовано відповідне оголошення цих ресурсів через бібліотеку ThingierESP32.

Після цього було виконано підключення ESP32 до мережі Wi-Fi за допомогою вбудованого WiFi-модуля, і пристрій почав передавати актуальні значення параметрів до хмарної платформи. В інтерфейсі Thingier.io стала доступною можливість у реальному часі переглядати ці значення у вигляді чисел, а також створювати прості графіки для їхньої візуалізації.

Процес налаштування Thingier.io було успішно завершено, і платформа почала виконувати роль центрального хмарного вузла для отримання даних від пристрою, що забезпечило можливість віддаленого моніторингу стану навколишнього середовища з потенційною пожежною небезпекою.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.2 Реалізація надсилання даних на Telegram

У межах реалізації комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж було створено та налаштовано Telegram-бота, який виконує функцію сповіщення користувача у разі виявлення небезпечної ситуації. Цей компонент системи дозволив організувати оперативну передачу повідомлень, які містять текстову інформацію та фотознімки з місця потенційної пожежі.

Процес створення бота розпочався із взаємодії з офіційним сервісом Telegram — BotFather, за допомогою якого було ініційовано створення нового бота. Після команди `/newbot` було задано назву бота та унікальне ім'я користувача. У відповідь система згенерувала токен авторизації — унікальний рядок, який дозволяє виконувати HTTP-запити до Telegram API. Цей токен було збережено й надалі використано в програмному коді ESP32 (рис. 3.9).

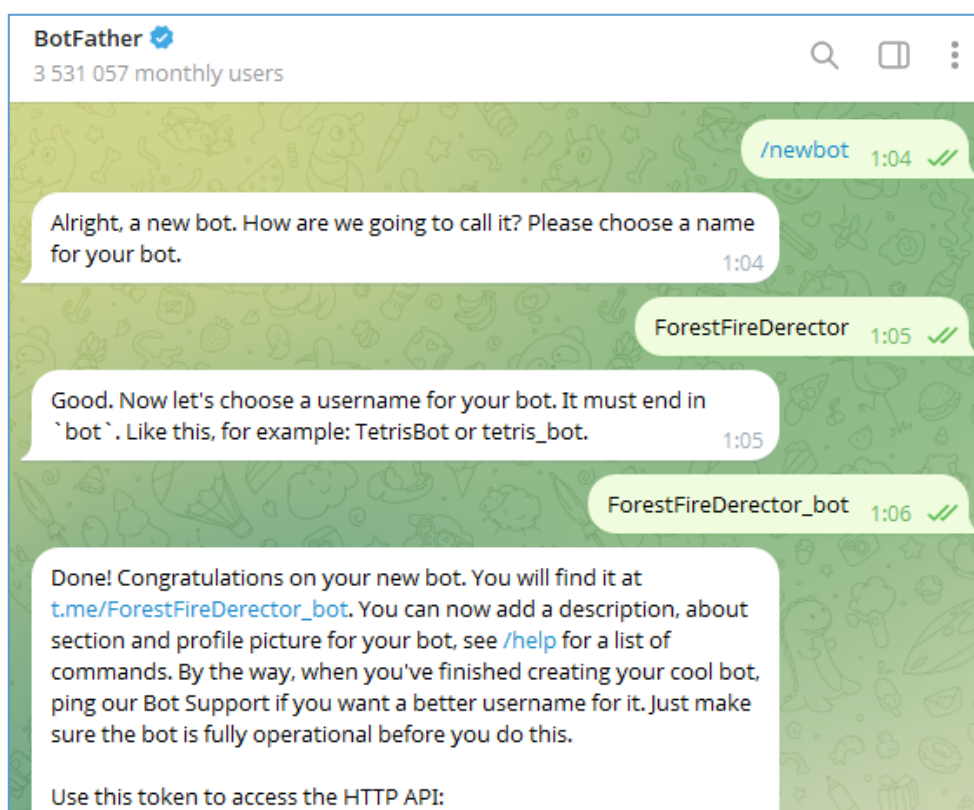


Рисунок 3.9 – Процес створення Telegram бота

Після цього було визначено ідентифікатор користувача або групи (chat ID), на який надсилатимуться повідомлення. Для цього використовували спеціальний

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бот, наприклад @userinfobot, який відображає chat ID при надсиланні йому повідомлення.

Далі було реалізовано програмну частину надсилання повідомлень з ESP32 через HTTPS-з'єднання. З цією метою у програмі використовувалась бібліотека WiFiClientSecure для встановлення захищеного з'єднання з сервером Telegram. Було написано функцію sendPhotoToTelegram(), яка формувала multipart-запит до Telegram API методом POST, включаючи в нього текстове повідомлення та зображення у форматі JPEG, що захоплювалось камерою.

Створений Telegram-бот було повністю інтегровано в систему. У разі перевищення порогових значень температури, виявлення диму або полум'я ESP32 автоматично генерував повідомлення, робив фотознімок з камери та надсилав ці дані користувачеві у Telegram. Це дозволило забезпечити максимально швидке інформування про потенційну пожежу, навіть за відсутності фізичного доступу до пристрою.

3.4 Тестування системи

Процес тестування розробленої комп'ютеризованої системи дистанційного виявлення лісових пожеж було проведено з метою перевірки її працездатності, стабільності передачі даних та оперативності сповіщення у разі виявлення загрози.

До початку складання фізичного прототипу було виконано її моделювання в інтерактивному середовищі Circuit Designer. Це дозволило на ранньому етапі виявити можливі логічні помилки в електричній схемі, протестувати базову логіку роботи пристрою, оцінити взаємодію між окремими елементами системи та зекономити ресурси під час апаратної реалізації. У середовищі Circuit Designer було створено повну електричну модель проєктованої системи (рис. 3.10).

До складу моделі увійшли мікроконтролер ESP32-S3, цифровий температурний сенсор DS18B20, аналогово-цифровий датчик диму MQ-2, модуль виявлення полум'я KY-026, світлодіод, п'єзодинамік, модуль мобільного зв'язку

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SIM7670G, акумуляторна батарея типу NCR18650B та сонячна панель для живлення.

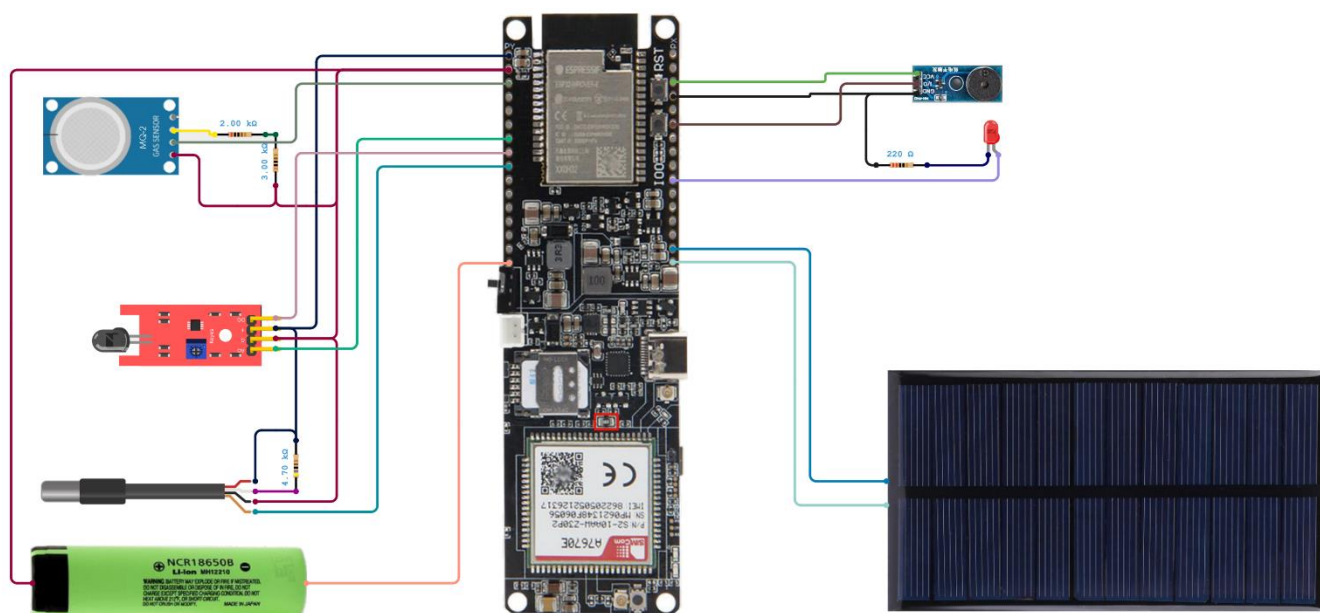


Рисунок 3.10 – Модель системи дистанційного виявлення лісових пожеж

Для кожного з елементів було підібрано найближчий за параметрами віртуальний аналог із бібліотеки середовища. Усі з'єднання виконувалися відповідно до розробленої електричної принципової схеми. Результати моделювання підтвердили правильність логіки роботи системи та її електричної реалізації.

На основі створеної моделі був розроблений фізичний прототип системи дистанційного виявлення лісових пожеж (рис. 3.11). В ньому був перевірений процес зчитування даних із сенсорів температури, диму та полум'я. Для цього до системи навмисно підносили джерело тепла, запалювали сірники та створювали локальне задимлення. Система коректно реагувала на ці подразники: фіксувала перевищення температури понад 50 °C, зміну сигналу з давача полум'я на "LOW", а також підвищення аналогового сигналу з MQ-2 до понад 3000. Ці значення успішно оброблялись мікроконтролером, що підтверджувалося активацією світлодіода, вмиканням звукового сигналу та запуском функції фіксації події.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

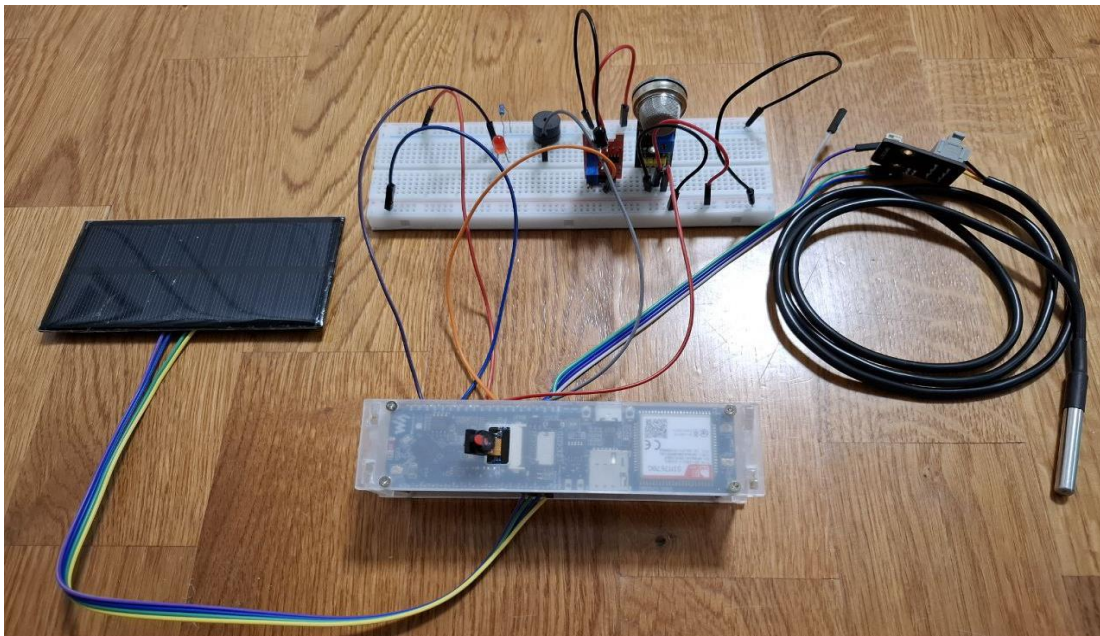


Рисунок 3.11 – Прототип системи дистанційного виявлення лісових пожеж

Наступним етапом перевірки стала робота камери. Під час імітації пожежі камера автоматично робила фотознімок і передавала його разом із супровідним повідомленням у Telegram. У повідомленні відображалася температура, рівень задимленості, наявність полум'я, а також координати, отримані з GPS-модуля. У тестах перевірялося як передавання фото при стабільному Wi-Fi-з'єднанні, так і реакція системи на короточасні затримки чи розриви зв'язку. У всіх випадках повідомлення надходили до Telegram-акаунта з незначною затримкою до 2–3 секунд після виявлення пожежі.

Також було протестовано взаємодію з хмарною платформою Thinger.io. Система успішно передавала на платформу актуальні значення температури, диму та полум'я. Значення оновлювались приблизно кожні 10 секунд, як передбачено в коді. Завдяки цьому користувач мав змогу в реальному часі контролювати показники стану навколишнього середовища.

Загалом тестування показало високу надійність роботи системи, її здатність оперативно виявляти потенційно небезпечні ситуації та швидко інформувати відповідального працівника. Виявлені під час тестування незначні затримки в передаванні даних у Telegram не мали критичного впливу на загальну ефективність функціонування системи.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при опіках

Опік – це ушкодження тканин, яке спричинене дією високої температури, електроструму, хімічних речовин, рентгенівських і сонячних променів. Опіки можуть бути первинними (миттєвими) та вторинними. Вторинні опіки є результатом займання одягу та охоплення полум'ям тіла.

Термічні опіки виникають при дії на відкриті ділянки тіла високої температури (полум'я, потрапляння на шкіру гарячої рідини, розпечених предметів).

Залежно від тяжкості розрізняють чотири ступені опіку:

I — почервоніння шкіри і її набряк;

II — пухирі, наповнені жовтуватою рідиною;

III — утворення некрозу шкіри (струпів);

IV — обвуглювання тканин.

Опіки завжди супроводжуються сильними болями в пошкодженій частині тіла. Чим більше обпечена поверхня і чим глибше пошкодження тканин, тим важчий опік. Опіки 1/3—1/2 поверхні тіла і більше є небезпечними для життя потерпілого. Загальний стан потерпілого при значних опіках дуже тяжкий. Можливе виникнення шоку.

Необхідно швидко вивести або винести потерпілого з зони вогню, припинити контакт з гарячими речовинами. При займанні одягу треба негайно його загасити і зняти тліючі залишки. Залишки одягу, що прилипли до тіла ні в якому разі не можна здирати, а обережно зрізати ножицями. На обпечену поверхню накласти ватно-марлеву пов'язку, змочену в спирті. Якщо є 0,5 % розчин новокаїну, то ним зрошують обпечену поверхню.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Пазірович А.І.								
Перевірив		Паламар А.М.							53	7
Консульт.		Пилипець М.І.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.								
Зав. каф.		Осуківська Г.М.								

При опіках незначного розміру I ступеня можна обмежитись змазуванням обпеченої частини шкіри 2-3 % розчином марганцевокислого калію та накладанням стерильної пов'язки (на обличчя пов'язку накладати не слід).

У випадку значних опіків потерпілого потрібно загорнути в чисте простирадло, а зверху — в теплу ковдру. В разі значних опіків кінцівок потрібно накласти на них транспортні шини.

Потерпілі зі значними опіками, які супроводжуються тяжким загальним станом, повинні отримувати необмежену кількість пиття: водно-соляний розчин (одна чайна ложка солі та 1/2 чайної ложки соди на 1 л води), гарячий та солодкий чай. Для зменшення болю дати потерпілому таблетку знеболюючого або 100-150 мл вина чи горілки. Таких потерпілих, а також потерпілих з опіками II-IV ступенів, незалежно від площі пошкодження, потрібно негайно направити до медичного закладу. Під час транспортування не допускати переохолодження потерпілого, до обпечених ділянок не можна торкатися руками, не можна проколювати пухирі і відривати шматки одягу, що прилипли до місць опіку, не можна накладати мазі, порошки, робити примочки [34].

При обмежених опіках, спричинених окропом, обпечену поверхню тіла охолоджують холодною водою з-під крану впродовж 10 хв. Після цього накладають асептичну суху пов'язку, застосовуючи чисту бавовняну тканину, бинт, індивідуальний пакет. У випадку поширених опіків потерпілого загортають у чисте простирадло, вкриваючи ковдрою зверху, та дають пити чай.

Хімічні опіки виникають внаслідок дії на дихальні шляхи, шкіру і слизові оболонки концентрованих неорганічних та органічних кислот, лугів, фосфору, інших речовин. При горінні або вибухах хімічних речовин утворюються термохімічні опіки. Основні зовнішні ознаки хімічних опіків аналогічні термічним опікам. За глибиною ураження тканин хімічні опіки також поділяються на чотири ступені.

Опіки кислотами дуже глибокі, на місці опіку утворюється сухий струп. Від азотної кислоти він має світло-жовтий колір, сірчаної кислоти — сіро-білий з

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наступною зміною до коричнево-чорного кольору. Обпечені лугами частини тіла мають блідий колір. При опіку лугами тканина волога, тому ці опіки переносяться важче, ніж опіки кислотами.

Якщо одяг потерпілого просочився хімічною речовиною, його треба швидко зняти, розрізати чи розірвати на місці події. Потім механічно видаляють речовини, що потрапили на шкіру (наприклад, вапно), енергійно змивають їх струменем води (краще під тиском — з водопроводу, насоса) не менше як 10-15 хвилин, поки не зникне специфічний запах. Якщо є можливість, то після промивання водою обпечені частини обмивають такими розчинами: у випадках опіку кислотами — 2 % розчином соди чи мильною водою; у випадках опіку лугами — 1-2 % розчином оцтової, лимонної чи борної кислоти. В разі опіку фосфором роблять примочки з 5 % розчину марганцевокислого калію. Після цього на обпечену поверхню потрібно накласти суху пов'язку [34].

При потраплянні хімічної речовини у дихальні шляхи необхідно прополоскати горло водним 3 % розчином борної кислоти, цим же розчином промити очі. У випадку хімічного опіку стравоходу та шлунка потрібно пити сирі яйця або соняшникову олію.

Не можна змивати хімічні сполуки, які займаються або вибухають при контакті з вологою. Якщо невідомо, яка хімічна речовина викликала опік, і немає нейтралізуючого засобу, на місце опіку необхідно накласти чисту суху пов'язку. Потерпілих з хімічними опіками необхідно негайно направити в медичний заклад.

4.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

Пожежа — це неконтрольований процес горіння, який спричиняє нищення матеріальних цінностей та загибель людей. Серед причин виникнення пожеж можна виділити природні явища (посуха, блискавка), порушення правил пожежної безпеки, недбалу поведінку людей з вогнем. Відомо, що лише 7-8 % пожеж спричинені блискавками і близько 90 % виникає внаслідок діяльності людини [35].

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежна безпека організацій та підприємств, у яких використовуються електроустановки, забезпечується шляхом здійснення організаційно-технічних та інших заходів з попередження виникнення пожеж, зменшення можливих матеріальних збитків, забезпечення безпеки людей, зниження негативних екологічних наслідків, створення умов для успішного гасіння пожеж та швидкого виклику пожежних підрозділів, а також евакуації з території виникнення та ймовірного розповсюдження пожежі людей, матеріальних цінностей і документів.

Система дистанційного виявлення лісових пожеж передбачає використання блоків живлення для подачі напруги необхідного рівня. Таке електрообладнання при неналежному нагляді, наприклад, при короткому замиканні, може стати епіцентром спалаху.

При виникненні пожежі можна виділити два методи, які застосовуються для гасіння електроустановок:

- гасіння електроустановок відведених від напруги мережі;
- гасіння електроустановок, які знаходяться під напругою.

Електроустановки повинні бути під'єднані до заземлення з гнучкого мідного голого провідника з поперечним перерізом не менше 25 мм², який підключається до заземлених конструкцій. Місця підключення до заземлених конструкцій, які визначаються фахівцями енергетичних об'єктів разом з представниками гарнізону пожежної охорони, вносяться до графічної частини плану пожежогасіння та позначаються знаком заземлення [35].

Для забезпечення безпеки пожежників та персоналу, який бере участь у гасінні пожежі електроустановок під напругою, застосовуються ізолюючі індивідуальні електрозахисні засоби (діелектричні килими, калоші, боти, рукавиці). Кількість індивідуальних ізолюючих захисних засобів та заземлень і місця їх зберігання затверджуються керівниками енергетичних об'єктів враховуючи подачу вогнегасних засобів на електроустановки, які перебувають під напругою. Випробування електрозахисного обладнання виконується енергетичним об'єктом в установленому порядку [36].

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі виникнення пожежі на електроустановці особа, яка першою виявила факт загорання, повинна негайно повідомити відповідальних за пожежну безпеку осіб та керівника для уникнення подальшого загорання. Гасіння електрообладнання під напругою із застосуванням ручних стволів повинне виконуватися за умови [36]:

- застосування ефективних прийомів і способів подачі в зону горіння вогнегасних речовин;
- дотримання електробезпечних відстаней від електрообладнання, яке знаходиться під напругою, до пожежників, які використовують ручні пожежні стволи;
- забезпечення надійного заземлення пожежних автомобілів і стволів;
- використання індивідуальних ізолюючих електрозахисних засобів під час гасіння пожежі електроустановок без зняття напруги.

В якості вогнегасних речовин під час гасіння електроустановок, які знаходяться під напругою, доцільно застосовувати: розпилені порошкові суміші й інертні гази, струмені води, комбіновану суміш, яка являє собою розпилену воду з порошком. Застосування усіх видів піни під час гасіння електроустановок під напругою за участю людей ручними засобами забороняється, через те що піна й розчин піноутворювача мають підвищену електропровідність в порівнянні з розпиленою водою.

При гасінні пожежі на електроустановках під напругою потрібно застосовувати прийоми та засоби подачі в зону горіння вогнегасних речовин, що забезпечують ефективне гасіння пожежі і безпечну роботу пожежників.

Компактні струмені води доцільно використовувати лише під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою до 110 кВ, але лише в тих випадках, коли до осередку горіння не має можливості наблизитися для подачі розпиленої води. В цьому випадку пожежник повинен перебувати на безпечній відстані від найближчих струмоведучих частин електроустановок, до яких може торкнутися струмінь води [36].

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для гасіння пожеж електроустановок, що знаходяться під напругою, можна застосовувати воду з водопровідних мереж, а також із штучних і природних водойм. Забір води насосами пожежних автомобілів з водойм варто здійснювати зі спеціально обладнаних пірсів.

При гасінні пожежі на електроустановках, які перебувають під напругою до 220 кВ включно, тривалість перебування пожежників на бойових позиціях не лімітується. Заземлення ручних пожежних насосів і стволів пожежних автомобілів при гасінні пожеж на електроустановках, які знаходяться під напругою, повинно виконуватись за допомогою гнучких мідних провідників з поперечним перерізом не менше 12 мм², оснащених спеціальними струбцинами для під'єднання до заземлених конструкцій: шурфів, обсадних труб артезіанських свердловин, металевих опор повітряних ліній електропередач, гідрантів водогінних мереж [36].

Місця під'єднання до заземлених конструкцій повинні затверджуватися спеціалістами енергетичного об'єкта, позначатися відповідними знаками заземлення і вноситись у графічну частину плану пожежогасіння. Ручні пожежні насоси й стволи пожежних автомобілів необхідно заземлювати окремо. В процесі подачі води від внутрішнього водопроводу заземлюються лише стволи.

Індивідуальні електрозахисні ізолюючі засоби (діелектричні боти, рукавиці) потрібно застосовувати для електробезпечності пожежників та персоналу, який безпосередньо бере участь у гасінні пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою.

Автомобілі пожежних частин, що охороняють енергетичні об'єкти, повинні бути укомплектовані індивідуальними ізолюючими захисними засобами відповідно до чисельності бойової обслуги, яка безпосередньо бере участь у процесі гасіння пожежі [37].

Необхідна кількість індивідуальних ізолюючих захисних засобів на енергооб'єктах, у тому числі для пожежних підрозділів, що залучаються до гасіння пожеж з інших частин, затверджується під час розробки планів пожежогасіння.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою, обслуговуючий персонал зобов'язаний у першу чергу повідомити про пожежу начальника зміни (диспетчера, чергового) й пожежну охорону, а потім вжити усіх необхідних заходів відповідно до плану пожежогасіння (картки пожежогасіння).

За необхідності гасіння пожежі повітряно-механічною піною, з об'ємним заповненням приміщення (тунелю) піною виконується попереднє закріплення піногенераторів, їх заземлення, а також заземлення насосів пожежних машин. Водій пожежної машини повинен працювати в діелектричному взутті і рукавицях.

Після прибуття до місця виклику першого пожежного підрозділу старший начальник (заступник начальника частини, начальник варті) повинен швидко зв'язатися з начальником зміни або посадовою особою, яка відповідає за виконання робіт, з метою уточнення ситуації на пожежі, одержання інструктажу та письмового допуску на виконання гасіння пожежі на електроустановках, що перебувають під напругою [37].

Після узгодження маршрутів руху до осередку горіння та розміщення бойових позицій, із яких пожежники виконуватимуть подачу вогнегасних речовин, керівник групи повинен провести інструктаж всього особового складу, який бере участь у гасінні пожежі, й віддати розпорядження на бойове розгортання.

З метою набуття вольових якостей, удосконалення тактичних навичок, підвищення фахової майстерності і забезпечення психологічної підготовки з врахуванням дотримання правил безпеки праці особовий склад пожежних підрозділів гарнізону зобов'язаний безпосередньо на енергетичному об'єкті не рідше одного разу на рік проходити спеціальний інструктаж.

Працівники, які експлуатуватимуть комп'ютеризовану систему дистанційного виявлення лісових пожеж, повинні дотримуватися вимог пожежної безпеки при гасінні електроустановок.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено комп'ютеризовану систему дистанційного виявлення лісових пожеж на основі IoT-технологій. В результаті проведених досліджень було:

- проведено аналіз існуючих методів і систем виявлення лісових пожеж, визначено їх переваги та недоліки;
- обґрунтовано вибір апаратної платформи, датчиків та комунікаційних модулів для реалізації системи;
- розроблено апаратну частину, що включає мікроконтролерний модуль, датчі полум'я, диму, температури, GPS-модуль та модуль бездротового зв'язку;
- реалізовано програмне забезпечення для збору, обробки та передавання даних на сервер;
- виконано моделювання та тестування системи, що підтвердило її працездатність та відповідність вимогам технічного завдання.

Отже, розроблена система відповідає поставленим вимогам, є ефективним рішенням для дистанційного моніторингу пожежної безпеки та має потенціал для подальшого вдосконалення.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Terra & Aqua Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). URL: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/modis/> (дата звернення: 07.04.2025).
2. ForestWatch – Envirovision Solutions. URL: <https://evsolutions.biz/forestwatch/> (дата звернення: 08.04.2025).
3. Firehawk Aerospace. URL: <https://firehawkaerospace.com/> (дата звернення: 10.03.2025).
4. Firesense – fire detection equipment. URL: <https://www.firesense.co.uk/> (дата звернення: 11.04.2025).
5. WIFIRE Lab Leverages Data To Advance Fire Science And Fight Wildfires. URL: <https://www.thebigredguide.com/insights/wifire-lab-leverages-data-advance-fire.1603468213.html> (дата звернення: 12.04.2025).
6. Плата розробника ESP32-S3 SIM7670G 4G LTE Cat-1/WiFi/Bluetooth/GNSS. URL: <https://arduino.ua/prod7182-plata-rozrobnika-esp32-s3-sim7670g-4g-lte-cat-1wifiblueoothgnss> (дата звернення: 25.04.2025).
7. Keystudio MQ-2 Combustible gas and Smoke for Arduino. URL: <https://www.keyestudio.com/products/free-shipping-keyestudio-mq-2-combustible-gas-and-smoke-for-arduino> (дата звернення: 26.04.2025).
8. Модуль датчика вогню. URL: <https://arduino.ua/prod1118-modyl-datchika-ognya> (дата звернення: 26.04.2025).
9. Температурний датчик водонепроникний DS18B20. URL: <https://arduino.ua/prod414-temperatyrnii-datchik-vodonepronicnii-ds18b20> (дата звернення: 26.04.2025).
10. Сонячна панель 6В/1Вт 110х60мм. URL: <https://arduino.ua/prod1468-solnechnaya-panel-6v-1vt> (дата звернення: 26.04.2025).
11. Акумулятор Liitokala NCR18650B 3400мАч із захистом. URL: <https://arduino.ua/prod2285-akkymylyator-panasonic-ncr18650b-3400-mah> (дата звернення: 26.04.2025).

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

13. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.

14. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 1. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 256 с.

15. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

16. Palamar A., Karpinsky M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

17. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

18. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

19. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

20. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія.
Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

21. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

22. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

23. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

24. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

25. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

26. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

27. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

29. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851. P. 6-16.

30. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

31. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2024), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

32. Palamar M., Nakonetchnyi Y., Palamar A., Strembitskyi M., Apostol Y. Modernization of the azimuth drive design for the antenna system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2025. Vol 117, No 1, P. 54–61.

33. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.

34. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.

35. Бедрій Я.І. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-е вид. перероб. і доп. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2018. 240 с.

					КС КРБ 123.230.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедрою КС

_____ Осухівська Г.М.

“ _____ ” _____ 2025 р.

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ
ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 8 листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н. Паламар А.М.

“ _____ ” _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-42

_____ Пазірович А.І.

“ _____ ” _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютеризована система дистанційного виявлення лісових пожеж з використанням IoT технологій».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.230.00.00.

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Пазірович Андрій Іванович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/7-53 від «27» січня 2025 року.

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 24.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Оформлення технічної документації до кваліфікаційної роботи бакалавра здійснюється згідно діючих вимог вітчизняних та міжнародних стандартів. Технічна документація до кваліфікаційної роботи бакалавра включає в себе текст пояснювальної записки та креслення, які максимально інформативно та стисло відображають основні результати розробки комп'ютеризованої системи система дистанційного виявлення лісових пожеж. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проектування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЕСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ДЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Система призначена для раннього виявлення лісових пожеж на основі аналізу даних з датчиків полум'я, диму та температури. Вона працює в автоматичному режимі, без необхідності постійного втручання оператора, що дозволяє значно підвищити швидкість реагування на займання та знизити ризики значних матеріальних та екологічних збитків.

2.2 Мета створення системи

Основною метою розробки є створення автономної комп'ютеризованої системи, здатної здійснювати:

- безперервний моніторинг стану навколишнього середовища;
- оперативне виявлення пожежі та визначення її координат;

- передачу даних на IoT-сервер для подальшого аналізу та реагування.
- автономну роботу на основі використання відновлюваних джерел енергії.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктами моніторингу є лісові масиви, природоохоронні зони, аграрні угіддя та промислові об'єкти, що межують з лісами. Система працюватиме у відкритих просторах з потенційними складними погодними умовами, що потребує захисту компонентів від вологи, пилу та механічних пошкоджень.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Комп'ютеризована система дистанційного виявлення лісових пожеж повинна забезпечити:

- автономну роботу без постійного підключення до електромережі;
- високу точність виявлення загоряння;
- стійкість до впливу навколишнього середовища;
- швидку передачу даних для оперативного реагування.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структура системи дистанційного виявлення лісових пожеж включає в себе:

- давачі полум'я, диму та температури;
- мікроконтролер для обробки даних;
- GPS-модуль для визначення координат;
- модуль зв'язку для передавання інформації;

- джерело автономного живлення.

Загалом, структура системи повинна реалізовувати функції дистанційного виявлення лісових пожеж. Основні функціональні вимоги характеризуються наступними критеріями:

- надійність;
- чутливість та швидкість реакції;
- автоматизація;
- керованість;
- сумісність.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Обмін даними між компонентами системи дистанційного виявлення лісових пожеж повинен здійснюватися з використанням бездротових технологій передачі інформації.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система дистанційного виявлення лісових пожеж повинна працювати в наступних режимах:

- режим очікування – моніторинг параметрів довкілля;
- режим тривоги – фіксація загоряння, активація сигналізації, передача координат;
- режим енергозбереження – перехід у мінімальне споживання енергії за відсутності змін у навколишньому середовищі.

Ці вимоги до режимів функціонування допомагають забезпечити ефективну та надійну роботу системи в різних умовах та ситуаціях.

3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Система дистанційного виявлення лісових пожеж має значний потенціал для подальшого розвитку та модернізації. Зокрема, система може бути інтегрована з іншими засобами система спостереження (відеокамерами, супутниками), що дозволить створити єдину інтелектуальну систему моніторингу параметрів довкілля.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна бути захищена від фізичних чи механічних пошкоджень на рівні апаратного та програмного забезпечення. Надійність системи повинна забезпечувати відновлюваність функціонування у випадку збою апаратного чи програмного забезпечення.

Показники надійності системи дистанційного виявлення лісових пожеж повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,8 %.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функції та задачі, які повинна виконувати система, передбачають:

- контроль параметрів довкілля;
- виявлення ознак пожежі;
- генерація та передача аварійних повідомлень;
- локальна індикація (звуковий та світловий сигнал).

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Вимоги до елементної бази розробки:

- режими роботи і умови експлуатації вибраних елементів повинні відповідати вказаним в ТЗ;

- вибрана елементна база має забезпечувати необхідні режими роботи системи;
- елементна база по можливості має бути широковживаною, доступною і дешевою. Необхідно також враховувати можливість заміни вибраних елементів на аналогічні (вітчизняні чи імпортного виробництва).

Вимоги до мікроконтролера:

- мікроконтролер має підтримувати RISC архітектуру команд;
- мікроконтролер повинен містити необхідний набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.) та потрібну кількість керованих портів введення /виведення.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 1. структурна схема системи;
 2. схема електрична принципова;
 3. блок-схема алгоритму роботи;
 4. результати моделювання системи.

*Примітка: В комплект конструкторської документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Техніко-економічні показники

Собівартість розробки системи повинна становити не більше 9000 грн.

Термін експлуатації системи повинен бути не менший 11 років.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	27.01.2025 – 02.02.2025
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02.2025 – 10.02.2025
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютеризованої системи	11.02.2025 – 28.02.2025
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, тестування комп'ютеризованої системи	01.03.2025 – 01.05.2025
5.	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	02.05.2025 – 11.05.2025
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	12.05.2025 – 08.06.2025
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	09.06.2025 – 15.06.2025
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	16.06.2025 – 22.06.2025
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	24.06.2025

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Перелік елементів

Додаток В

Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера ESP32 для реалізації системи дистанційного виявлення лісових пожеж з використанням IoT технологій.

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <ThingyESP32.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include "esp_camera.h"
#include <base64.h>

// --- Wi-Fi ---
#define WIFI_SSID "wifi_ssid"
#define WIFI_PASSWORD "wifi_password"

// --- Thingy.io ---
#define USERNAME "pazirovych"
#define DEVICE_ID "ESP32-S3 "
#define DEVICE_CREDENTIAL "xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx"
ThingyESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);

// --- Telegram Bot ---
const char* botToken = "xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx_token";
const char* chatId = "xxxxxxxx";
WiFiClientSecure client;

// --- Sensors ---
#define MQ2_PIN 34
#define FLAME_SENSOR_PIN 35
#define LED_PIN 4
#define BUZZER_PIN 13
#define ONE_WIRE_BUS 32
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature tempSensor(&oneWire);
float temperature = 0.0;

// --- GPS ---
HardwareSerial gpsSerial(1);
TinyGPSPlus gps;

// --- Camera ---
#define PWDN_GPIO_NUM -1
#define RESET_GPIO_NUM -1
#define XCLK_GPIO_NUM 0
```

```

#define SIOD_GPIO_NUM      26
#define SIOC_GPIO_NUM      27
#define Y9_GPIO_NUM        35
#define Y8_GPIO_NUM        34
#define Y7_GPIO_NUM        39
#define Y6_GPIO_NUM        36
#define Y5_GPIO_NUM        21
#define Y4_GPIO_NUM        19
#define Y3_GPIO_NUM        18
#define Y2_GPIO_NUM         5
#define VSYNC_GPIO_NUM     25
#define HREF_GPIO_NUM      23
#define PCLK_GPIO_NUM      22

bool fireDetected = false;

// --- Setup ---
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(MQ2_PIN, INPUT);
    pinMode(FLAME_SENSOR_PIN, INPUT);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);

    tempSensor.begin();
    gpsSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17); // GPS RX/TX

    // WiFi
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) delay(500);

    // Thingier
    thing.add_wifi(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
    thing["temperature"] >> outputValue(temperature);
    thing["smoke"] >> outputValue(analogRead(MQ2_PIN));
    thing["flame"] >> outputValue(digitalRead(FLAME_SENSOR_PIN));

    // Camera init
    camera_config_t config;
    config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
    config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
    config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
    config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
    config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
    config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;
    config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;
    config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;
    config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;
    config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;
    config.pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM;
    config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;

```

```

config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;
config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;
config.pin_sscb_sda = SIOD_GPIO_NUM;
config.pin_sscb_scl = SIOC_GPIO_NUM;
config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;
config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;
config.xclk_freq_hz = 20000000;
config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
config.frame_size = FRAMESIZE_QVGA;
config.jpeg_quality = 12;
config.fb_count = 1;

esp_camera_init(&config);

client.setInsecure(); // для Telegram без сертифіката
}

// --- Loop ---
void loop() {
    thing.handle();
    readSensors();
    checkFireCondition();
    delay(10000); // кожні 10 сек
}

void readSensors() {
    tempSensor.requestTemperatures();
    temperature = tempSensor.getTempCByIndex(0);
    while (gpsSerial.available() > 0) gps.encode(gpsSerial.read());
}

void checkFireCondition() {
    int smokeValue = analogRead(MQ2_PIN);
    int flameValue = digitalRead(FLAME_SENSOR_PIN);

    if (smokeValue > 3000 || flameValue == LOW || temperature > 50.0)
    {
        if (!fireDetected) {
            fireDetected = true;
            digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
            digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
            captureAndSendPhoto();
        }
    } else {
        fireDetected = false;
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    }
}

// --- Capture and Send to Telegram ---
void captureAndSendPhoto() {
    camera_fb_t *fb = esp_camera_fb_get();

```

```

if (!fb) return;

String message = "🔥 *ПОЖЕЖА ВИЯВЛЕНА!*\\n";
message += "🌡 Температура: " + String(temperature) + " °C\\n";
message += "🌀 Дим: " + String(analogRead(MQ2_PIN)) + "\\n";
message += "🔥 Полум'я: " + String(digitalRead(FLAME_SENSOR_PIN)
== LOW ? "Виявлено" : "Немає") + "\\n";

if (gps.location.isValid()) {
    message += "📍 Координати: \\n";
    message += String(gps.location.lat(), 6) + ", ";
    message += String(gps.location.lng(), 6) + "\\n";
}

sendPhotoToTelegram(fb->buf, fb->len, message);
esp_camera_fb_return(fb);
}

void sendPhotoToTelegram(uint8_t *image, size_t length, String
caption) {
    String serverPath = "https://api.telegram.org/bot" +
String(botToken) + "/sendPhoto";

    String head = "--ESP32\\r\\nContent-Disposition: form-data;
name=\\\"chat_id\\\"\\r\\n\\r\\n" + String(chatId) + "\\r\\n";
    head += "--ESP32\\r\\nContent-Disposition: form-data;
name=\\\"caption\\\"\\r\\n\\r\\n" + caption + "\\r\\n";
    head += "--ESP32\\r\\nContent-Disposition: form-data;
name=\\\"photo\\\"; filename=\\\"fire.jpg\\\"\\r\\nContent-Type:
image/jpeg\\r\\n\\r\\n";
    String tail = "\\r\\n--ESP32--\\r\\n";
    uint32_t totalLen = head.length() + length + tail.length();
    client.connect("api.telegram.org", 443);
    client.printf("POST /bot%s/sendPhoto HTTP/1.1\\r\\n", botToken);
    client.println("Host: api.telegram.org");
    client.println("Content-Type: multipart/form-data;
boundary=ESP32");
    client.print("Content-Length: ");
    client.println(totalLen);
    client.println();
    client.print(head);
    size_t bytesSent = 0;
    while (bytesSent < length) {
        size_t chunkSize = min(1024, length - bytesSent);
        client.write(image + bytesSent, chunkSize);
        bytesSent += chunkSize;
    }
    client.print(tail);
    delay(1000);
    while (client.available()) Serial.write(client.read());
    client.stop();
}

```