

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-

ТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет робототехніки та приладобудування

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

До захисту допущено: За-

відувач кафедри

_____ Надія Бурау

«___» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизована система детектування диму»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПГ-21 Київський В.Г.

Керівник:

д.т.н., професор, Аврутов В.В.

Рецензент:

асист., Клочко

Т.Р.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань

Студент _____

Київ – 2026

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факкультет робототехніки та приладобудування

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

_____ Надія Бурау

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Київського В'ячеслава Геннадійовича

1. Тема роботи **«Автоматизована система детектування диму»**, керівник роботи Аврутов Вадим Вікторович, докт. тех. наук, професор, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту: 05.06.2026 р.

3. **Вихідні дані до роботи:** Розробити автоматизовану систему детектування диму на основі газового датчика MQ-2 з можливістю виявлення диму та горючих газів, що працює при напрузі живлення 5 В та забезпечує передачу інформації через Wi-Fi. Система повинна бути оснащена звуковою сигналізацією, а також можливістю дистанційного моніторингу через мобільний додаток. Обчислювальний модуль

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Київський</i>				<i>Автоматизована система детектування диму (Пояснювальна записка)</i>		<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Аврутов</i>							<i>Аркушів</i>
<i>Н. Контр.</i>					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського ФРП</i>			
<i>Затверд.</i>								

системи реалізувати на базі ESP32-WROOM-32D з підтримкою Wi-Fi.

4. Зміст проєкту:

4.1. Інформаційно-аналітичний огляд сучасних систем детектування диму та пожежної сигналізації.

4.2. Огляд та вибір елементної бази.

4.3. Проектування елементів складальної одиниці.

4.4. Апаратне та програмне налагодження системи.

4.5. Перевірка працездатності системи та аналіз результатів.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1. Структурна та електрично-принципова схеми автоматизованої системи детектування диму (2хА1);

5.2. Блок-схема автоматизованої системи детектування диму (1хА1);

5.3. Складальне креслення та креслення деталей (1хА1);

5.4. Ілюстрації, що додатково розкривають суть проєкту (А1).

6. Дата видачі завдання: 28.01.2026

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Інформаційно-аналітичний огляд сучасного стану автоматизованої системи детектування диму.	10.03.2026	
2.	Побудувати електрично-принципову та структурну схеми автоматизованої системи детектування диму.	29.04.2026	
3.	Огляд та вибір елементної бази, проектування елементів складальної одиниці, апаратне та програмне налагодження системи	25.05.2026	
4.	Перевірка працездатності системи та аналіз результатів.	01.06.2026	

Студент

В'ячеслав Київський

Керівник дипломного проєкту

Вадим Аврутов

Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата

ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ

Арк.

2

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ	11
1.1 Теоретичні основи побудови автоматизованої системи детектування диму	11
1.2 Огляд компонентів автоматизованої системи детектування диму: вимірювальні засоби.....	13
1.2.1 Датчики диму, види	13
1.2.2 Оптичні датчики	14
1.2.3 Іонізаційні датчики	15
1.2.4 Аспіраційні датчики диму	17
1.2.5 Лінійні датчики диму	19
1.2.6 Газові датчики	21
1.2.7 Датчик температури та вологості DHT22	24
1.2.8 Вибір елементної бази: вимірювальний засіб.....	26
1.3 Обчислювальні засоби.....	29
1.3.1 Мікроконтролери та мікропроцесори.....	29
1.3.2 Огляд ESP32-WROOM-32D.....	31
1.3.3 Огляд мікроконтролерів Arduino	33
1.3.4 Вибір обчислювального модулю	35
1.4 Сервер та мобільний додаток в автоматизованій системі.....	37
1.5 Огляд виконавчих елементів системи	39
1.5.1 Звукові сигналізатори (зумер)	39
1.5.2 Світлова індикація.....	41
1.5.3 Вибір виконавчого елемента оповіщення	42
Висновки до першого розділу	44
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ, РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ....	45
2.1 Структурна схема приладу.....	45
2.2 Проєктування електричної частини пристрою	46
2.2.1 Розрахунок споживаної потужності та вибір джерела живлення.....	47
2.2.2 Схема підключення компонентів до мікроконтролера	50
2.2.3 Електрична принципова схема пристрою	52
2.3 Розроблення програмного забезпечення мікроконтролера.....	54

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		3

2.3.1 Вибір середовища та мови програмування.....	54
2.3.2 Алгоритм роботи системи.....	57
2.3.3 Зчитування та обробка даних із датчиків	59
2.3.4 Логіка спрацювання сигналізації	61
2.3.5 Структура програмного коду.....	62
2.3.6 Заходи для запобігання хибним спрацюванням	64
2.4 Реалізація віддаленого моніторингу на платформі Blynk.....	65
2.4.1 Підключення мікроконтролера до Wi-Fi та хмарного сервера Blynk .	65
2.4.2 Налаштування веб-інтерфейсу та мобільного додатка	67
2.4.3 Передавання даних і сповіщення користувача про небезпеку	69
2.5 Проєктування корпусу пристрою	71
2.5.1 Вибір середовища проєктування.....	71
2.5.2 Розроблення 3D-моделі корпусу	73
2.6 Складання та компонування пристрою	77
2.7 Перевірка працездатності та демонстрація роботи системи	79
2.7.1 Калібрування датчика диму MQ-2	79
2.7.2 Результати випробувань	80
2.7.3 Аналіз отриманих результатів.....	82
2.8 Напрями вдосконалення системи	83
2.8.1 Удосконалення елементної бази.....	83
2.8.2 Удосконалення конструкції корпусу.....	85
2.8.3 Адаптація порогів спрацювання.....	85
2.8.4 Розширення каналів оповіщення.....	86
2.8.5 Автоматизоване оповіщення аварійних служб	86
2.8.6 Узагальнення напрямів удосконалення	87
Висновки до другого розділу	88
ВИСНОВКИ.....	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	90
ДОДАТОК А.....	95
ДОДАТОК Б	99
ДОДАТОК В	100
ДОДАТОК Г	101
ДОДАТОК Ґ	102
ДОДАТОК Д.....	103

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ДОДАТОК Е 104

ДОДАТОК Є 105

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена розробленню автоматизованої системи детектування диму на базі мікроконтролера ESP32 з можливістю дистанційного моніторингу та оповіщення користувача.

Метою роботи є створення компактного й доступного пристрою, здатного автоматично виявляти задимлення та небезпечне підвищення температури в приміщенні, подавати звукове оповіщення й передавати сповіщення користувачу через мережу Інтернет.

У роботі проаналізовано принципи виявлення диму та елементну базу, спроектовано апаратну частину системи на основі мікроконтролера ESP32-WROOM-32D, датчика диму MQ-2, датчика температури й вологості DHT22 та звукового сигналізатора. Виконано розрахунок споживаної потужності й вибір джерела живлення, розроблено електричну принципову схему та програмне забезпечення мікроконтролера, що реалізує логіку спрацювання за кількома критеріями — рівнем задимлення, абсолютною температурою та швидкістю її зростання. Реалізовано віддалений моніторинг і сповіщення на платформі Blynk, спроектовано й виготовлено корпус методом тривимірного друку.

Працездатність системи підтверджено експериментально за кількома сценаріями виявлення небезпеки. Визначено напрями подальшого вдосконалення пристрою.

Ключові слова: автоматизована система, детектування диму, ESP32, датчик MQ-2, DHT22, Blynk, Інтернет речей, мікроконтролер, пожежна безпека, дистанційний моніторинг.

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ABSTRACT

The qualification work is devoted to the development of an automated smoke detection system based on the ESP32 microcontroller with remote monitoring and user notification capabilities.

The aim of the work is to create a compact and affordable device capable of automatically detecting smoke and dangerous temperature rise in a room, producing an audible alarm and sending notifications to the user over the Internet.

The work analyses smoke detection principles and the component base, and designs the hardware part of the system based on the ESP32-WROOM-32D microcontroller, the MQ-2 smoke sensor, the DHT22 temperature and humidity sensor, and an audible alarm. The power consumption was calculated and a power supply selected, the electrical schematic diagram and the microcontroller software were developed, implementing alarm logic based on several criteria — smoke level, absolute temperature, and its rate of rise. Remote monitoring and notifications were implemented on the Blynk platform, and the enclosure was designed and manufactured using three-dimensional printing.

The system's operability was confirmed experimentally under several hazard-detection scenarios. Directions for further improvement of the device were identified.

Keywords: automated system, smoke detection, ESP32, MQ-2 sensor, DHT22, Blynk, Internet of Things, microcontroller, fire safety, remote monitoring.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ADC — (Analog-to-Digital Converter) аналого-цифровий перетворювач

API — (Application Programming Interface) прикладний програмний інтерфейс

BLE — (Bluetooth Low Energy) технологія бездротового зв'язку з низьким енергоспоживанням

DAC — (Digital-to-Analog Converter) цифро-аналоговий перетворювач

FDM — (Fused Deposition Modeling) пошарове наплавлення матеріалу

GPIO — (General Purpose Input/Output) вивід загального призначення

GSM — (Global System for Mobile Communications) глобальна система мобільного зв'язку

HTTP — (HyperText Transfer Protocol) протокол передавання гіпертексту

IDE — (Integrated Development Environment) інтегроване середовище розробки

IoT — (Internet of Things) інтернет речей

LED — (Light-Emitting Diode) світлодіод

MEMS — (Micro-Electro-Mechanical Systems) мікроелектромеханічні системи

MQTT — (Message Queuing Telemetry Transport) протокол передавання телеметрії

PETG — (Polyethylene Terephthalate Glycol) поліетилентерефталат-гліколь

PLA — (Polylactic Acid) полілактид

PWM — (Pulse-Width Modulation) широтно-імпульсна модуляція

SPI — (Serial Peripheral Interface) послідовний периферійний інтерфейс

UART — (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) універсальний асинхронний приймач-передавач

USB — (Universal Serial Bus) універсальна послідовна шина

Wi-Fi — (Wireless Fidelity) технологія бездротової локальної мережі

АЦП — аналого-цифровий перетворювач

МК — мікроконтролер

ПЗ — програмне забезпечення

САПР — система автоматизованого проектування

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ВСТУП

Дим є одним із ключових факторів, що супроводжують процес горіння, і його своєчасне виявлення має вирішальне значення для забезпечення пожежної безпеки в різних сферах діяльності людини. Контроль за наявністю диму дозволяє виявити загрозу пожежі на ранніх етапах її розвитку, що значно знижує ризик пошкодження матеріальних цінностей та загрози життю людей [1].

У промислових умовах наявність диму може свідчити про порушення технологічного процесу або аварійні ситуації. Наприклад, у виробничих приміщеннях, пов'язаних із обробкою матеріалів або використанням високих температур, поява диму може сигналізувати про перегрів обладнання або початок займання [2]. Вчасне виявлення таких ситуацій дозволяє запобігти серйозним наслідкам і забезпечити безперервність виробництва.

Важливе значення системи детектування диму мають і в енергетичному секторі, складських приміщеннях, серверних кімнатах та інших об'єктах із підвищеним рівнем пожежної небезпеки. У таких умовах навіть незначне задимлення може призвести до значних збитків, тому автоматизовані системи контролю є необхідною складовою безпеки [3].

У побутових умовах контроль диму також відіграє важливу роль. Сучасні житлові приміщення, обладнані великою кількістю електроприладів, мають підвищений ризик виникнення пожеж. Використання систем детектування диму в розумних будинках дозволяє не лише оперативно реагувати на небезпеку, але й інтегрувати такі системи з іншими елементами автоматизації, зокрема системами оповіщення та дистанційного керування [4].

Автоматизовані системи детектування диму базуються на використанні різних типів сенсорів, які аналізують фізичні властивості повітря, такі як наявність частинок диму або зміна оптичних характеристик середовища. Завдяки розвитку мікроконтролерних технологій та бездротового зв'язку з'явилась можливість створення компакт-

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

них, доступних та ефективних систем, які можуть працювати автономно та передавати інформацію користувачу в режимі реального часу [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Розроблення даного проєкту має на меті створення автоматизованої системи детектування диму, яка буде складатися з апаратної частини у вигляді пристрою з датчиком диму, мікроконтролером та виконавчими елементами, а також програмної частини для обробки даних і передачі повідомлень користувачу. Система передбачає можливість інтеграції з мобільними пристроями для підвищення ефективності реагування.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 1

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ

1.1 Теоретичні основи побудови автоматизованої системи детектування диму

Побудова ефективної автоматизованої системи детектування диму базується на інтеграції трьох основних підсистем: вимірювальних засобів (датчиків диму), обчислювального модуля (мікроконтролера (МК) або іншого пристрою обробки сигналу) та виконавчих елементів (сигналізації, систем оповіщення, модулів передачі даних) [1].

Вибір та взаємодія цих компонентів визначається особливостями об'єкта контролю, умовами експлуатації та вимогами до швидкодії системи. У загальному випадку автоматизована система детектування диму повинна забезпечувати безперервний моніторинг повітряного середовища, аналіз отриманих даних та своєчасне реагування на виникнення небезпечної ситуації.

У системах пожежної безпеки дим є одним із основних індикаторів загоряння, оскільки він з'являється на ранніх стадіях процесу горіння. Це дозволяє здійснювати раннє виявлення пожежі та значно скорочує час реагування [3].

У типовій системі детектування диму можна виділити один контур керування — контроль наявності диму в повітрі, що спрощує структуру системи та дозволяє зосередитися на швидкодії та точності вимірювань.

У складі автоматизованої системи детектування диму можна виділити кілька основних складових, які забезпечують її повноцінне функціонування. До них належать вимірювальні засоби, обчислювальний модуль та виконавчі елементи. Кожен із

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

цих компонентів виконує окрему функцію, але їхня узгоджена робота забезпечує ефективність системи в цілому [1].

Вимірювальні засоби представлені датчиками диму, які призначені для фіксації змін у повітряному середовищі, що виникають у процесі горіння. Такі зміни можуть проявлятися у вигляді появи мікрочастинок, зниження прозорості повітря або зміни його хімічного складу. Датчик перетворює ці фізичні явища в електричний сигнал, який може бути оброблений електронною системою. Принцип дії більшості датчиків диму ґрунтується на зміні параметрів чутливого елемента під впливом диму, зокрема опору або інтенсивності світлового потоку [1], [2]. У практиці найчастіше використовуються оптичні, іонізаційні та напівпровідникові газові сенсори, кожен з яких має свої особливості застосування [2], [3].

Центральним елементом системи є обчислювальний модуль, який зазвичай реалізується на базі мікроконтролера (МК). Він здійснює прийом сигналів від датчика, виконує їх аналіз відповідно до заданого алгоритму та приймає рішення щодо подальших дій. Залежно від логіки роботи, це може бути порівняння із заданим порогом, усереднення значень або фільтрація перешкод. Після обробки даних МК формує керуючий сигнал для виконавчих пристроїв [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Приклад організації автоматизованої системи детектування диму наведено на рис. 1.1 [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

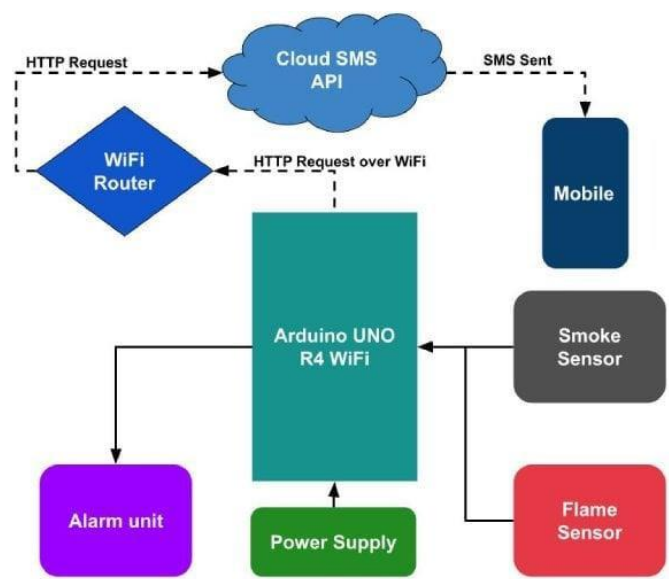


Рисунок 1.1 Функціональна схема системи детектування диму [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

Завершальною ланкою системи є виконавчі елементи, які забезпечують реакцію на виявлену загрозу. До них належать звукові та світлові індикатори, а також засоби передачі повідомлень користувачу. Їх функція полягає в оперативному оповіщенні про появу диму або інтеграції з іншими системами безпеки. У сучасних рішеннях така передача повідомлень може реалізовуватися за допомогою технологій інтернету речей (IoT), що дає змогу здійснювати дистанційний моніторинг стану системи [5].

1.2 Огляд компонентів автоматизованої системи детектування диму: вимірювальні засоби

1.2.1 Датчики диму, види

Датчики диму це пристрої, які використовуються для виявлення диму або інших ознак пожежної небезпеки в повітряному середовищі. Їх основне завдання полягає в тому, щоб зафіксувати появу продуктів горіння на ранньому етапі та передати сигнал до системи оповіщення або керування [1]. У складі автоматизованої системи детектування диму такі датчики виконують роль вимірювального засобу, оскільки саме вони першими реагують на зміну стану повітря.

Принцип роботи датчиків диму залежить від їх конструкції та типу чутливого елемента. Загалом вони реагують на появу частинок диму, зміну прозорості повітря, зміну світлового потоку або зміну електричних параметрів середовища. Після виявлення таких змін датчик формує електричний сигнал, який може бути переданий на мікроконтролер, пожежну панель або інший обчислювальний модуль [2].

У пожежних системах датчики диму застосовуються для контролю житлових, офісних, складських, виробничих та інших приміщень. Їх використання дозволяє виявити пожежу раніше, ніж вона перейде у відкриту фазу горіння, оскільки дим часто з'являється ще до значного підвищення температури або появи полум'я [3].

Залежно від принципу виявлення частинок диму датчики поділяють на кілька основних типів. Найчастіше виділяють такі види датчиків диму [2]:

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

- оптичні;
- іонізаційні;
- аспіраційні;
- лінійні;
- газові.

Усі перелічені типи датчиків виконують одну загальну функцію, але роблять це різними способами. Оптичні та іонізаційні датчики частіше використовують у класичних системах пожежної сигналізації, аспіраційні та лінійні рішення доцільні для великих або спеціалізованих об'єктів, а газові сенсори серії MQ зручні для невеликих автоматизованих систем і навчальних проєктів. У подальших підрозділах буде детальніше розглянуто принцип роботи окремих типів датчиків, їх переваги, недоліки та доцільність використання в розроблюваній автоматизованій системі детектування диму.

1.2.2 Оптичні датчики

Оптичні датчики диму, які ще називають фотоелектричними, є одним із найпоширеніших типів пожежних сповіщувачів. Їх принцип роботи базується на виявленні частинок диму за рахунок зміни світлового потоку всередині вимірювальної камери. У таких датчиках використовується джерело світла, найчастіше світлодіод, а також фоточутливий елемент, який приймає сигнал. Коли в камеру потрапляє дим, частинки починають розсіювати або послаблювати світло, і це фіксується датчиком як ознака пожежної небезпеки [1], [3].

У практичному застосуванні оптичні датчики добре підходять для виявлення тліючих пожеж, під час яких утворюється помітна кількість видимого диму. У джерелах наводяться приклади таких ситуацій, як загоряння меблів або електричних проводів. Саме тому цей тип датчиків широко використовується в системах пожежної безпеки, де важливо виявити загрозу ще до переходу пожежі у більш небезпечну стадію [1].

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

У складі автоматизованої системи детектування диму оптичний датчик виконує функцію первинного вимірювального елемента. Після появи диму він формує електричний сигнал, який далі надходить на мікроконтролер або інший модуль обробки. Це дозволяє не лише активувати звукову сигналізацію, а й передавати повідомлення користувачу або запускати інші дії системи безпеки. Такі датчики є зручними для інтеграції в автоматизовані та інтелектуальні системи, оскільки вони забезпечують достатньо простий принцип виявлення диму та надійний результат [1], [5].



Рисунок 1.3 – Оптичний датчик диму [7]

1.2.3 Іонізаційні датчики

Іонізаційні датчики диму є одним із типів пожежних сповіщувачів, які використовують зміну електричних параметрів повітряного середовища для виявлення диму. На відміну від оптичних датчиків, які працюють зі світловим потоком, іонізаційні датчики реагують на зміну струму всередині спеціальної іонізаційної камери. Такий принцип дозволяє фіксувати дуже дрібні частинки диму, які можуть з'являтися під час швидкого горіння матеріалів [3].

Основою роботи іонізаційного датчика є невелика кількість радіоактивного матеріалу, найчастіше америцію-241. Він іонізує повітря між електродами всередині ка-

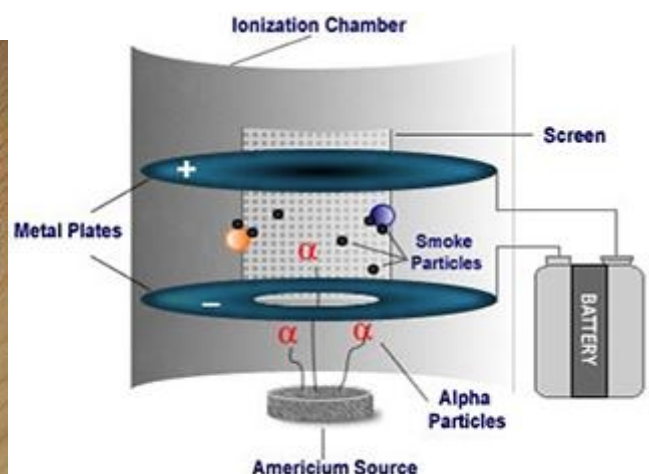
					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

мери, унаслідок чого між ними проходить слабкий електричний струм. У нормальному стані цей струм залишається відносно стабільним. Коли в камеру потрапляють частинки диму, частина іонів приєднується до них, через що струм змінюється. Електронна схема фіксує цю зміну та формує сигнал тривоги [3].

Конструктивно іонізаційний датчик містить вимірювальну камеру, електроди, джерело іонізації, електронну схему обробки сигналу та елемент оповіщення. У побутових автономних сповіщувачах таким елементом зазвичай є звуковий сигналізатор, а в системних датчиках сигнал може передаватися на центральний блок пожежної сигналізації або мікроконтролер. У складі автоматизованої системи детектування диму такий датчик може виконувати роль первинного сенсора, який передає інформацію про зміну стану повітря до обчислювального модуля.

Іонізаційні датчики вважаються більш чутливими до пожеж із відкритим полум'ям, під час яких утворюються дуже дрібні частинки диму. Водночас для тліючих пожеж, де утворюється більше видимого диму, частіше ефективнішими є оптичні датчики. Саме тому в сучасних системах пожежної безпеки інколи використовують комбіновані сповіщувачі, які поєднують різні принципи виявлення диму [1], [3].

До переваг іонізаційних датчиків можна віднести високу чутливість до дрібних частинок диму, швидку реакцію на деякі типи пожеж та відносно просту електронну схему. Однак такі датчики мають і певні недоліки. Насамперед це використання радіоактивного джерела, через що виникають додаткові вимоги до експлуатації та утилізації. Також такі датчики можуть бути менш ефективними при повільному тлінні матеріалів порівняно з оптичними сенсорами [3].



Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата

ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ

Арк.

16

а)

б)

Рисунок 1.4 – Іонізаційний датчик диму:

а) внутрішня будова датчика [3]; б) принцип роботи іонізаційної камери [9]

1.2.4 Аспіраційні датчики диму

Аспіраційні датчики диму відрізняються від звичайних точкових сповіщувачів тим, що вони не очікують, поки дим сам потрапить у корпус датчика. У таких системах повітря з контрольованого приміщення постійно відбирається через мережу спеціальних трубок із отворами, після чого подається до центрального блока детектування. У середині цього блока проба повітря аналізується на наявність частинок диму [11]. Завдяки такому принципу аспіраційні системи можуть виявляти небезпечні зміни ще на дуже ранньому етапі, коли дим може бути майже непомітним для людини або звичайного датчика [13].

Основними елементами аспіраційної системи є трубопровід для забору повітря, отвори для відбору проб, аспіратор або вентилятор, фільтр, вимірювальна камера та електронний блок обробки сигналу. Аспіратор створює потік повітря всередині трубопроводу, завдяки чому повітря з різних точок приміщення постійно потрапляє до датчика. Після цього система аналізує повітря на наявність димових частинок і, у разі перевищення допустимого рівня, формує сигнал тривоги [11], [11].

У багатьох аспіраційних системах використовується оптичний принцип виявлення диму, оскільки частинки диму здатні розсіювати світло у вимірювальній камері. Тобто за своєю логікою аналізу такі системи частково схожі на оптичні датчики, але відрізняються способом доставки повітря до сенсора. Якщо звичайний оптичний датчик контролює лише простір біля місця встановлення, то аспіраційна система може контролювати більшу площу через мережу трубок [13].

Такі системи доцільно застосовувати там, де потрібне дуже раннє виявлення пожежі або де звичайні точкові датчики можуть працювати менш ефективно. Наприклад, аспіраційні датчики використовують у серверних приміщеннях, дата-центрах,

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

архівах, музеях, складських приміщеннях, виробничих зонах, а також у приміщеннях із високими стелями або сильними потоками повітря [11], [11]. У таких умовах дим може нерівномірно поширюватися по приміщенню, тому активний забір повітря через трубки дозволяє зробити контроль більш стабільним.

Ще однією перевагою аспіраційних систем є можливість встановити сам блок детектування у зручному для обслуговування місці, а в контрольованій зоні залишити лише трубки та точки забору повітря. Це корисно для приміщень, де доступ до стелі або обладнання ускладнений. Також такі системи можуть мати кілька рівнів тривоги, наприклад попередження, тривога та пожежний сигнал. Це дає змогу не тільки зафіксувати вже небезпечну ситуацію, а й відреагувати раніше, коли пожежа ще не встигла сильно розвинутись [11].

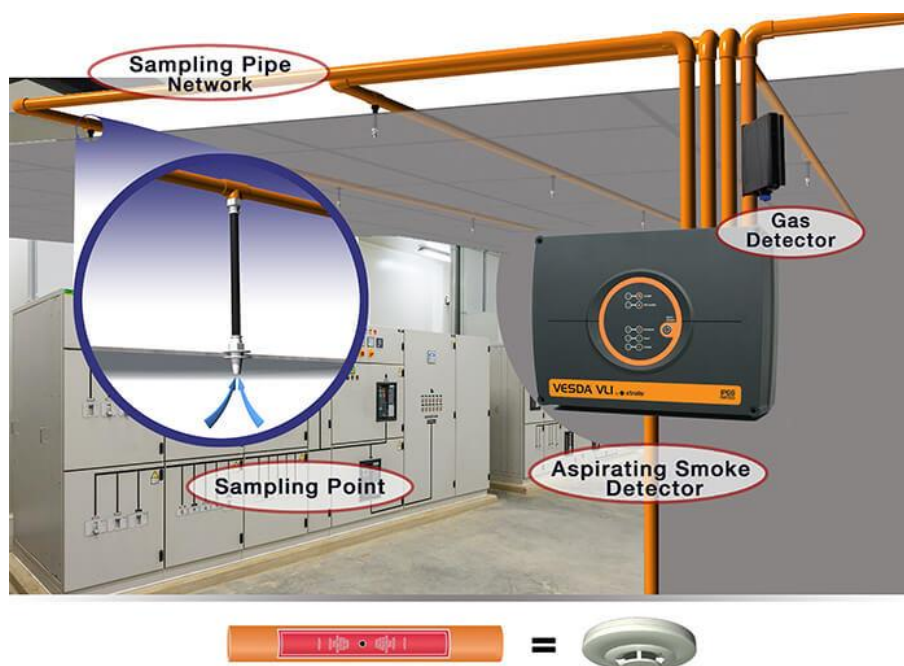


Рисунок 1.5 – Приклад розміщення трубопроводу аспіраційної системи детектування диму в будівлі [11]

Попри високу ефективність, аспіраційні датчики мають і певні недоліки. Вони складніші за звичайні точкові датчики, потребують правильного проектування трубопроводу, налаштування повітряного потоку та регулярного обслуговування. Також їх вартість зазвичай вища, ніж у простих автономних або побутових датчиків диму. Через це аспіраційні системи частіше використовуються не в простих навчальних проєктах, а на об'єктах, де раннє виявлення пожежі має особливо велике значення.

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Для розроблюваної автоматизованої системи детектування диму аспіраційний датчик можна розглядати як більш професійне та складне рішення. Він добре підходить для великих або відповідальних об'єктів, але для студентського проєкту на базі мікроконтролера його застосування є менш доцільним через вищу ціну, складніший монтаж і потребу в трубопровідній системі. Тому в межах даної роботи аспіраційні датчики розглядаються як приклад промислового рішення, а для практичної реалізації доцільніше використовувати простіший сенсор, наприклад газовий датчик серії MQ який буде розглядатись далі.

1.2.5 Лінійні датчики диму

Лінійні датчики диму, або променеві димові сповіщувачі, застосовуються для контролю великих приміщень, де встановлення значної кількості точкових датчиків є незручним або економічно недоцільним. Такі пристрої використовують оптичний промінь, який проходить через контрольовану зону. Якщо в приміщенні з'являється дим, він частково послаблює або перекриває цей промінь, після чого система формує сигнал пожежної тривоги [14], [16].

Конструктивно лінійний димовий сповіщувач може складатися з двох окремих блоків: блока випромінювача та блока приймача. Вони розміщуються на протилежних сторонах контрольованої зони, а між ними проходить інфрачервоний промінь. У нормальному стані приймач отримує стабільний сигнал від випромінювача та порівнює його з рівнем, який відповідає чистому повітряному середовищу. Коли між цими блоками з'являється дим, потік інфрачервоного випромінювання слабшає, і датчик переходить у режим пожежної тривоги [14].

Крім двокомпонентних лінійних сповіщувачів, існують також однокомпонентні моделі. У них випромінювач і приймач розміщені в одному корпусі, а на протилежній стороні встановлюється відбивач. У такій схемі промінь іде від датчика до відбивача, повертається назад і контролюється приймальним елементом. Якщо дим потрапляє в оптичний шлях, рівень сигналу зменшується, і при досягненні заданого порогу формується сигнал тривоги [14], [16].

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Лінійні датчики особливо зручні для приміщень із великою площею або високою стелею. Їх можуть використовувати у складських комплексах, виробничих цехах, торговельних залах, спортивних спорудах, вокзалах та інших великих об'єктах. У таких умовах дим може поширюватися під стелею на значній відстані, тому променевий принцип контролю дозволяє охопити більшу зону порівняно з одним точковим датчиком [15].

Важливою умовою правильної роботи лінійного сповіщувача є наявність прямої видимості між його елементами. Якщо між випромінювачем і приймачем, або між датчиком і відбивачем, з'являється сторонній предмет, система може сприйняти це як несправність або тривогу. Також на роботу таких датчиків можуть впливати пил, забруднення оптичних елементів, неправильне налаштування та зміщення конструкцій будівлі. Тому під час монтажу необхідно правильно вибирати місце встановлення та забезпечувати стабільний оптичний зв'язок [16].

Окремо слід зазначити, що деякі сучасні лінійні системи можуть мати додаткові функції компенсації забруднення або контролю рівня сигналу. Наприклад, у технічній документації променевого датчика System Sensor зазначено, що мікроконтролер може відстежувати силу сигналу та коригувати пороги спрацювання при повільних змінах, які виникають через накопичення пилу або бруду на оптичних елементах [16]. Це підвищує стабільність роботи системи та зменшує ризик помилкових спрацювань.

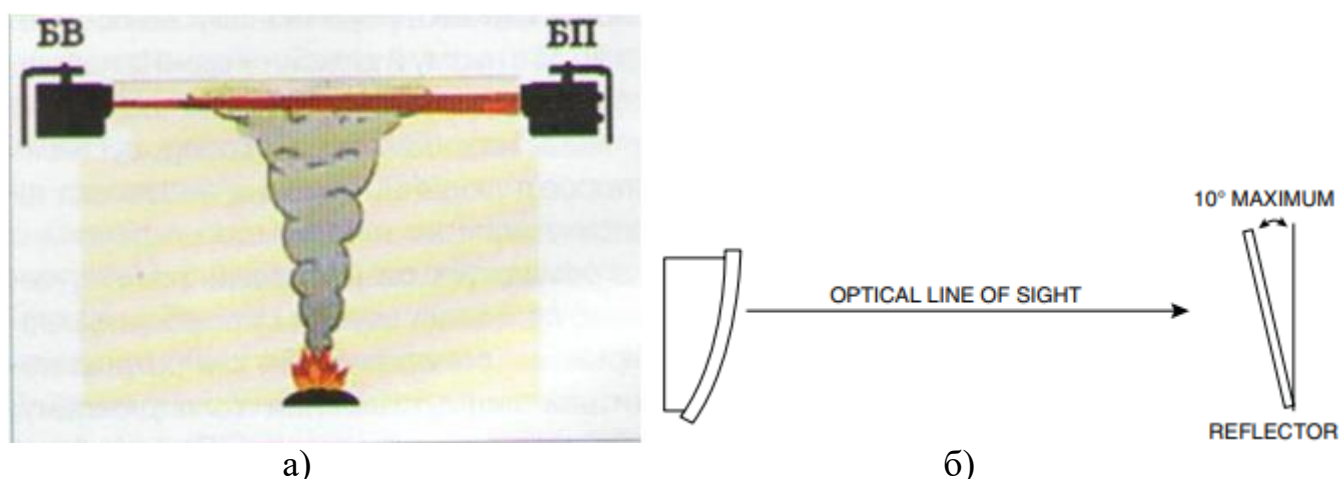


Рисунок 1.6 – Лінійний димовий сповіщувач:

а) блок-схема роботи двокомпонентного сповіщувача [14]; б) приклад розміщення відбивача[16]

Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата

ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ

Арк.

20

Порівняно з точковими датчиками, лінійні сповіщувачі мають перевагу в контролі великих площ, оскільки один такий пристрій може перекривати значну частину приміщення. Проте для невеликих навчальних або побутових систем вони є менш зручними, оскільки потребують точного встановлення, налаштування оптичної осі та стабільних умов експлуатації. Саме тому в межах розроблюваної автоматизованої системи детектування диму лінійні датчики доцільно розглядати як приклад професійного рішення для великих об'єктів, але не як основний варіант для практичної реалізації студентського пристрою.

1.2.6 Газові датчики

Газові датчики є окремим типом вимірювальних засобів, які використовуються для виявлення певних газів у повітряному середовищі. У контексті систем детектування диму такі сенсори можуть реагувати не лише на сам дим, а й на горючі гази або продукти згоряння, які можуть з'являтися під час пожежі чи витоку небезпечних речовин. На відміну від оптичних датчиків, які аналізують зміну світлового потоку, газові сенсори працюють за рахунок зміни електричних властивостей чутливого елемента при контакті з газами [17], [18].

Одними з найпоширеніших у навчальних і простих автоматизованих проєктах є датчики серії MQ. Вони часто використовуються разом із мікроконтролерами, оскільки мають відносно просту схему підключення, невисоку вартість і можуть видавати як аналоговий, так і цифровий сигнал. Серед таких датчиків для розроблюваної системи найбільший інтерес становить MQ-2, оскільки він може реагувати на дим, зріджений нафтовий газ, пропан, метан, водень, спиртові пари та чадний газ [17].

Принцип роботи MQ-2 базується на використанні напівпровідникового чутливого шару. У джерелах зазначено, що такий датчик належить до MOS-сенсорів, тобто сенсорів на основі оксиду металу. Його чутливий елемент змінює електричний опір при контакті з певними газами. Коли концентрація газу або диму в повітрі збільшується, електропровідність сенсора також змінюється, а ця зміна може бути перетворена в електричний сигнал для подальшої обробки [17], [18].

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

У конструкції MQ-2 важливу роль відіграє нагрівальний елемент. Він потрібний для підтримання робочої температури чутливого шару. Після подачі живлення датчик певний час прогрівається, після чого його показники стають більш стабільними. У технічній документації виробника вказано, що для стандартного режиму роботи датчик використовує напругу живлення нагрівача 5 В, а також має просту схему підключення з навантажувальним резистором [18]. Через наявність нагрівача такі сенсори споживають більше енергії, ніж прості цифрові датчики, але для стаціонарної системи це не є критичним недоліком.

Модуль MQ-2 зазвичай має чотири основні виводи. Вивід VCC використовується для живлення модуля, GND підключається до загальної землі, АО формує аналоговий сигнал, а DO використовується як цифровий вихід. Аналоговий вихід дозволяє отримувати змінну напругу, яка залежить від концентрації газу або диму в повітрі. Цифровий вихід працює простіше: він змінює свій стан після перевищення заданого порогу, який можна налаштувати за допомогою потенціометра на модулі [17], [19].

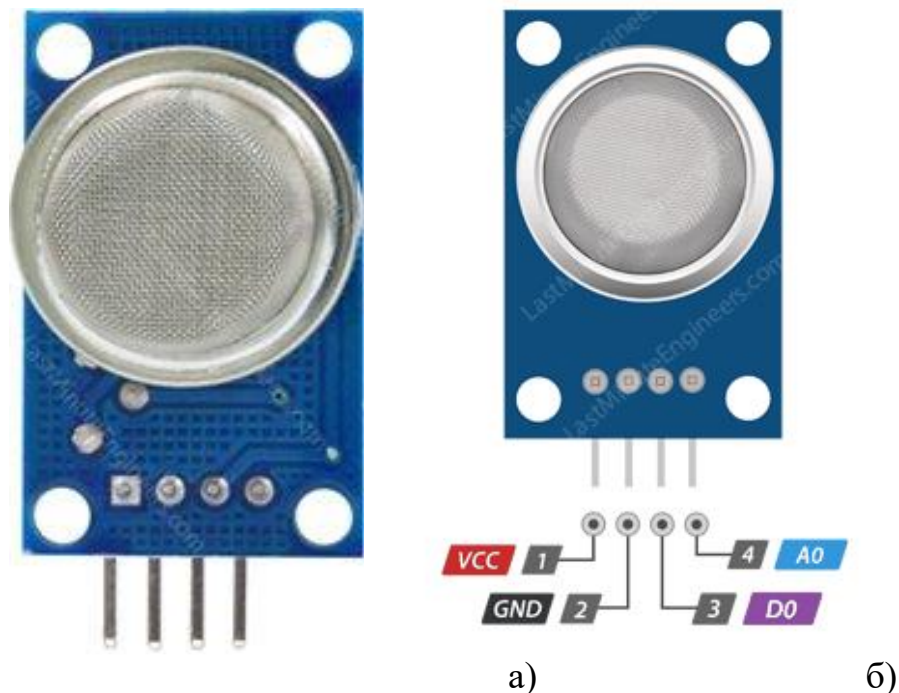


Рисунок 1.7 – Газовий датчик MQ-2:
а) зовнішній вигляд модуля; б) призначення виводів датчика [17]

Для автоматизованої системи детектування диму на базі мікроконтролера зручнішим є використання аналогового виходу, оскільки він дає змогу не просто визначати факт спрацювання, а й аналізувати зміну рівня сигналу. Наприклад, мікроконтролер може періодично зчитувати значення з аналогового входу, порівнювати його із заданим порогом і після перевищення цього порогу активувати звуковий сигналізатор або передавати повідомлення користувачу. Цифровий вихід також може бути використаний, але він більше підходить для простих схем, де потрібно лише визначити, чи перевищена встановлена межа [17], [19].

Таблиця 1.1 – Основні характеристики газового датчика MQ-2

Характеристика	Значення
Чутливий матеріал	SnO ₂
Основні речовини для виявлення	Дим, пропан, метан, водень, LPG, спиртові пари, чадний газ
Споживана потужність нагрівача	до 950 мВт
Тип виходу модуля	Аналоговий та цифровий
Попередній прогрів за документацією виробника	Не менше 48 годин для стабілізації
Діапазон виявлення	300–10000 ppm для горючих газів
Напруга живлення датчика	5 В
Напруга нагрівача	5 В AC або DC
Опір нагрівача	30 Ом ± 3 Ом

Основною перевагою MQ-2 є простота використання. Для роботи з ним не потрібно складної електронної схеми, оскільки готовий модуль уже має необхідні елементи для первинної обробки сигналу. Також він добре підходить для навчальних проєктів, тому що має багато прикладів підключення до Arduino, ESP32 та інших мікроконтролерних платформ. Крім цього, датчик може працювати як у режимі аналогового вимірювання, так і в режимі порогового спрацювання [17], [19].

Водночас у MQ-2 є певні обмеження. Він не визначає точно, який саме газ присутній у повітрі, оскільки реагує на декілька типів газів одночасно. Через це його краще використовувати не як професійний прилад для точного вимірювання концентрації конкретної речовини, а як сенсор для виявлення загальної небезпечної зміни повітряного середовища. Також на точність роботи можуть впливати температура, вологість, час прогріву та калібрування [17], [18].

У межах даної роботи газовий датчик MQ-2 є доцільним варіантом для використання в автоматизованій системі детектування диму. Він має достатню чутливість до диму та горючих газів, просте підключення, невисоку вартість і добре сумісний із мікроконтролерами. Для студентського проєкту це є важливою перевагою, оскільки дозволяє реалізувати робочу демонстраційну систему без складного обладнання та дорогих професійних датчиків.

1.2.7 Датчик температури та вологості DHT22

DHT22 — це цифровий датчик температури та вологості, який широко використовується у системах автоматизації, IoT-пристроях та системах моніторингу мікроклімату. Даний датчик дозволяє вимірювати температуру навколишнього середовища та відносну вологість повітря з подальшою передачею даних у цифровому вигляді до мікроконтролера [31].

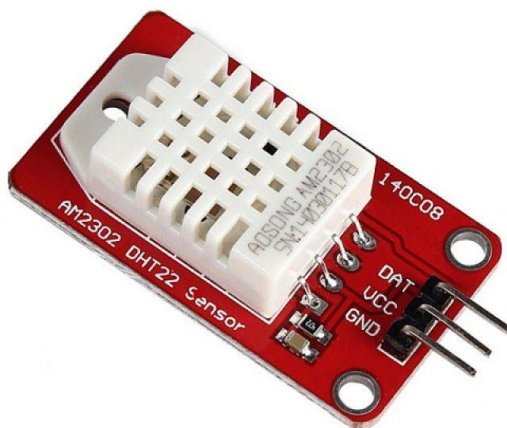


Рисунок 1.10 – Датчик температури та вологості DHT22 [31]

Принцип роботи DHT22 базується на використанні ємнісного сенсора вологості та термістора для вимірювання температури. Усередині корпусу датчика також знаходиться мікроконтролер, який виконує обробку отриманих сигналів та передає готові цифрові дані через один сигнальний провід [31]. Завдяки цифровому інтерфейсу DHT22 легко підключається до мікроконтролерів ESP32 та Arduino без необхідності використання додаткових аналого-цифрових перетворювачів.

До основних переваг DHT22 належать:

- висока точність вимірювання температури;
- широкий діапазон вимірювання;
- можливість вимірювання вологості;
- цифровий вихід сигналу;
- простота підключення до ESP32;
- невисока вартість.

DHT22 широко використовується у системах “розумного дому”, метеостанціях, системах вентиляції, клімат-контролю та автоматизованих системах моніторингу навколишнього середовища [31]. У межах автоматизованої системи детектування диму даний датчик може використовуватись для додаткового контролю температури та вологості приміщення. Підвищення температури разом із появою диму може свідчити про виникнення пожежонебезпечної ситуації, тому використання DHT22 дозволяє підвищити інформативність системи.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики датчика DHT22

Характеристика	Значення
Тип датчика	Цифровий
Вимірювання температури	-40...+80 °C
Точність температури	±0.5 °C
Вимірювання вологості	0...100 %

Точність вологості	$\pm 2 \dots 5 \%$
Напруга живлення	3.3–6 В
Інтерфейс	Цифровий
Частота опитування	0.5 Гц

Для автоматизованої системи детектування диму використання DHT22 є доцільним завдяки достатньо високій точності вимірювання температури та вологості, простоті підключення. Крім цього, DHT22 дозволяє реалізувати додатковий контроль параметрів навколишнього середовища, що підвищує ефективність роботи системи.

1.2.8 Вибір елементної бази: вимірювальний засіб

Вибір елементної бази є важливим етапом під час розроблення будь-якої автоматизованої системи. Від правильно підібраних компонентів залежить стабільність роботи пристрою, зручність монтажу, вартість розробки та можливість подальшого вдосконалення системи. Для автоматизованої системи детектування диму особливе значення має саме вибір вимірювального засобу, оскільки датчик є першим елементом, який реагує на появу небезпечних змін у повітряному середовищі.

Під час **вибору датчика** диму необхідно враховувати декілька основних факторів. До них належать принцип роботи сенсора, чутливість до диму або газів, швидкість спрацювання, складність підключення до мікроконтролера, напруга живлення, габарити, ціна та безпека використання. Також важливо врахувати, що розроблювана система має бути не промисловим комплексом, а навчальним та демонстраційним пристроєм, який можна реалізувати на базі доступних електронних компонентів.

Як було розглянуто в попередніх підрозділах, для детектування диму можуть використовуватися оптичні, іонізаційні, аспіраційні, лінійні та газові датчики. Оптичні датчики добре підходять для побутових систем і реагують на зміну світлового потоку внаслідок появи диму. Іонізаційні датчики можуть швидко реагувати на дрібні

частинки диму, однак вони використовують іонізаційну камеру з радіоактивним джерелом, тому для студентського проєкту є менш зручними. Аспіраційні та лінійні системи є більш професійними рішеннями, які доцільно застосовувати у великих приміщеннях, серверних, архівах, складах або виробничих об'єктах. Для невеликого автоматизованого пристрою на базі мікроконтролера такі рішення є складнішими та дорожчими.

З урахуванням вимог до розроблюваної системи найбільш доцільно розглядати газовий датчик серії MQ, а саме MQ-2. Цей датчик часто використовується у простих автоматизованих та навчальних проєктах, оскільки має невисоку вартість, просте підключення та може працювати разом із мікроконтролерами. За технічною документацією виробника Winsen, MQ-2 є напівпровідниковим сенсором для виявлення горючих газів і диму, а його чутливий матеріал SnO_2 змінює провідність при появі цільових газів у повітрі. Також у джерелах зазначено, що MQ-2 може реагувати на LPG, дим, спиртові пари, пропан, водень, метан і чадний газ.

Важливою перевагою MQ-2 є те, що готовий модуль може мати два типи виходу: аналоговий та цифровий. Аналоговий вихід дозволяє отримувати змінну напругу, яка залежить від концентрації газу або диму в повітрі, а цифровий вихід використовується для простого порогового спрацювання. Поріг цифрового виходу можна налаштовувати за допомогою потенціометра на модулі. Для розроблюваної системи більш зручним є аналоговий вихід, оскільки він дозволяє мікроконтролеру не тільки визначати факт наявності диму, а й аналізувати зміну рівня сигналу.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика датчиків для системи детектування диму

Характеристика	MQ-2	Оптичний датчик	Іонізаційний датчик	Лінійний датчик	Аспіраційна система
Діапазон вимірювання	300–10000 ppm для горючих газів	Залежить від конкретної моделі	Залежить від зміни струму в іонізаційній камері	Контроль великої відстані між ви-	Контроль кількох точок забору повітря через трубопровід

		та концент- рації диму в камері		проміню- вачем і прийма- чем	
--	--	---------------------------------------	--	---------------------------------------	--

Продовження таблиці 1.2

Недоліки	Не визна- чає точно тип газу, потребує прогріву	Може реа- гувати на пил або за- бруднення камери	Містить радіоакти- вне дже- рело	Потребує точного монтажу оптичної лінії	Складний монтаж і ви- сока ціна
Тип сигналу	Аналого- вий та ци- фровий	Залежить від моделі датчика	Залежить від моделі датчика	Сигнал тривоги від блока приймача	Сигнал від центрального блока системи
Складність під- ключення до МК	Низька	Середня	Висока	Висока	Висока
Вартість реалізації	Низька	Середня	Середня або висока	Вища	Висока
Переваги	Простий, дешевий, доступний	Безпечний, поширений	Чутливий до дрібних частинок димув	Підходить для вели- ких залів і складів	Дуже раннє виявлення пожежі

З наведеної порівняльної характеристики видно, що для розроблюваної автоматизованої системи детектування диму найбільш доцільним варіантом є датчик MQ-2. Його перевагою є просте підключення до мікроконтролера, наявність аналогового та

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

цифрового виходів, невисока вартість і можливість реагування на дим та горючі гази. Водночас MQ-2 не є точним вимірювальним приладом для визначення конкретної концентрації речовини, оскільки його точність залежить від калібрування, умов середовища та часу прогріву [18], [19]. Тому в межах даного проєкту його доцільно використовувати для виявлення факту появи диму або різкого зростання рівня газів у повітрі, а не для лабораторного вимірювання концентрації конкретного газу.

1.3 Обчислювальні засоби

1.3.1 Мікроконтролери та мікропроцесори

Мікропроцесори та мікроконтролери є основою сучасних автоматизованих систем, оскільки саме вони забезпечують обробку інформації, виконання програмних команд та керування роботою електронних пристроїв. Такі обчислювальні елементи використовуються у системах автоматизації, робототехніці, охоронних системах, побутовій електроніці та IoT-пристроях. У межах автоматизованої системи детектування диму вони відповідають за приймання сигналів від датчиків, аналіз отриманих даних та формування команд для виконавчих елементів.

Мікропроцесор — це програмований електронний пристрій (рис. 1.8 а), призначений для обробки інформації та виконання арифметичних, логічних і керуючих операцій. Мікропроцесори виготовляються у вигляді інтегральних схем на напівпровідниковому кристалі та можуть виконувати широкий спектр задач залежно від записаної програми [22].

Робота мікропроцесора визначається програмою, яка задає послідовність виконання команд. Саме завдяки програмному керуванню мікропроцесорні системи є універсальними та можуть використовуватись для різних задач обробки інформації. До основних складових мікропроцесора належать арифметико-логічний пристрій, регістри та блок керування. Арифметико-логічний пристрій виконує математичні та логічні операції, регістри використовуються для тимчасового зберігання даних, а блок

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

керування відповідає за послідовне виконання команд програми та організацію обміну даними між елементами системи [22].

Мікроконтролер (МК) — це компактний програмований пристрій(рис. 1.8 б), який поєднує в одному корпусі процесорне ядро, оперативну та постійну пам'ять, порти введення та виведення, таймери, аналого-цифрові перетворювачі та інтерфейси зв'язку [24]. На відміну від окремого мікропроцесора, мікроконтролер вже містить більшість необхідних периферійних елементів, тому він краще підходить для вбудованих систем і автоматизованих пристроїв.

Мікроконтролери широко використовуються у системах автоматичного керування, охоронних системах, робототехніці, “розумних” пристроях та IoT-системах. Їх перевагами є компактність, невелике енергоспоживання та можливість прямого підключення датчиків і виконавчих елементів. Для автоматизованої системи детектування диму це є важливим, оскільки мікроконтролер повинен постійно зчитувати сигнал із датчика диму, аналізувати отримані значення та швидко формувати сигнал тривоги у разі виникнення небезпеки.



Рисунок 1.8 – Мікропроцесорна та мікроконтролерна техніка:
а) мікропроцесор Tensilica Xtensa LX106 [23]; б) мікроконтролер ESP32 [25]

Мікропроцесори та мікроконтролери займають важливе місце у побудові сучасних автоматизованих систем. Вони забезпечують обробку інформації, що надходить від датчиків, виконують програмні алгоритми керування та формують сигнали для роботи виконавчих елементів. Особливо поширеним є використання мікроконтролерів у вбудованих системах, де важливими факторами є компактні розміри, невелике енергоспоживання та можливість безпосереднього підключення датчиків і периферійних пристроїв без використання додаткових зовнішніх модулів [24].

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		30

Завдяки наявності цифрових і аналогових інтерфейсів мікроконтролери дозволяють зручно підключати різні елементи системи, зокрема датчики, індикатори, дисплеї, кнопки, звукові сигналізатори та інші пристрої. Використання мікропроцесорної та мікроконтролерної техніки дає можливість створювати сучасні автоматизовані системи з високою надійністю, гнучкістю та можливістю подальшого розширення функціоналу.

1.3.2 Огляд ESP32-WROOM-32D

ESP32-WROOM-32D — це модуль на базі мікроконтролера ESP32, який підтримує бездротові технології Wi-Fi, Bluetooth та Bluetooth Low Energy (BLE). Даний модуль широко використовується у вбудованих системах, IoT-пристроях, системах автоматизації та електронних проєктах, де необхідна обробка даних і передавання інформації через бездротові мережі [21].

В основі ESP32-WROOM-32D використовується 32-розрядний процесор Tensilica Xtensa LX6 з тактовою частотою до 240 МГц. Модуль має оперативну пам'ять SRAM, Flash-пам'ять, аналого-цифрові перетворювачі, таймери, а також інтерфейси UART, SPI, I2C, PWM та GPIO [20]. Завдяки цьому ESP32-WROOM-32D може одночасно виконувати обробку сигналів від датчиків і забезпечувати бездротовий зв'язок із зовнішніми пристроями. До основних переваг ESP32-WROOM-32D належать[25]:

- двоядерний процесор Tensilica Xtensa LX6;
- тактова частота до 240 МГц;
- наявність GPIO-виводів;
- підтримка UART, SPI та I2C;
- підтримка аналого-цифрового перетворення;
- невелике енергоспоживання.

Важливою перевагою ESP32-WROOM-32D є підтримка Wi-Fi та Bluetooth. Завдяки цьому система детектування диму може не тільки працювати локально, а й передавати повідомлення користувачу через мережу Wi-Fi або на мобільний пристрій.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Це робить ESP32-WROOM-32D зручним рішенням для сучасних IoT-систем безпеки [21].

Для програмування ESP32-WROOM-32D можуть використовуватися Arduino IDE, PlatformIO та ESP-IDF. Найбільш популярним серед навчальних та студентських проєктів є Arduino IDE, оскільки це середовище має простий інтерфейс, велику кількість бібліотек і прикладів програм для роботи з датчиками та периферійними модулями [25].

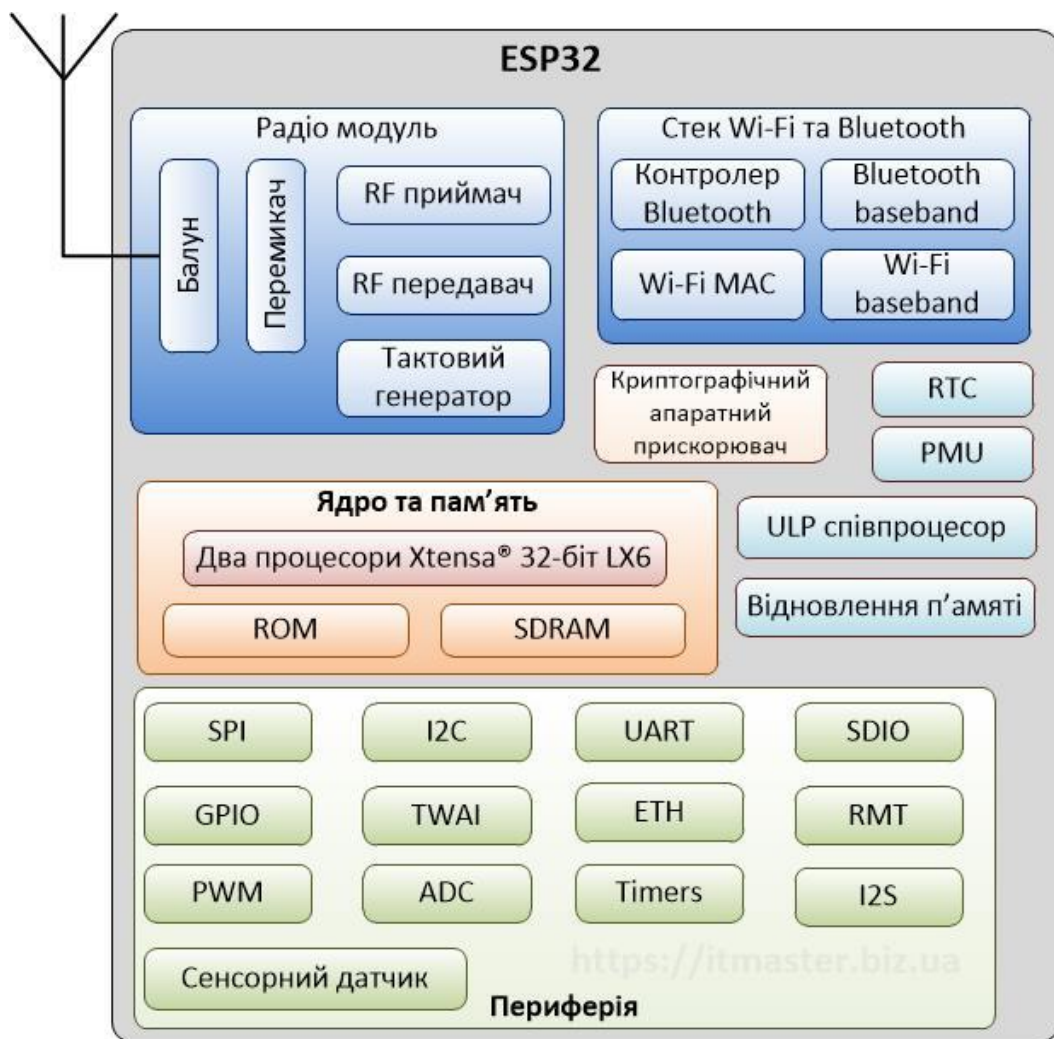


Рисунок 1.9 – Блок схема мікроконтролера [20]

Більшість плат на базі ESP32-WROOM-32D мають microUSB або USB Type-C для програмування та живлення, кнопки RESET і BOOT, стабілізатор живлення, а також виведені GPIO-контакти для підключення зовнішніх пристроїв. Це дозволяє швидко створювати та тестувати прототипи автоматизованих систем без необхідності проєктування складної друкованої плати.

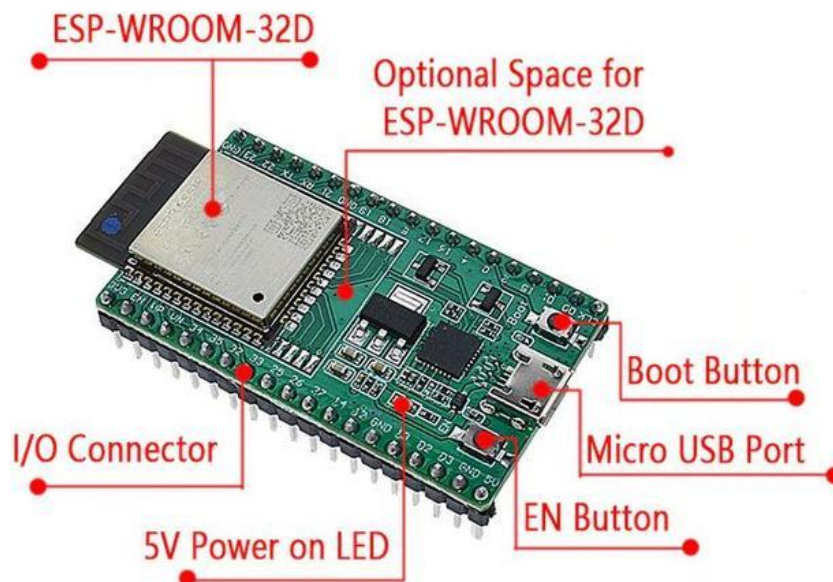


Рисунок 1.10 – Опис плати ESP32-WROOM-32D [26]

ESP32-WROOM-32D має підтримку великої кількості сучасних периферійних можливостей та апаратних функцій. Мікроконтролер підтримує апаратне шифрування AES, SHA та RSA, що дозволяє реалізовувати захищений обмін даними у бездротових мережах [21]. Також ESP32 підтримує PWM, UART, SPI, I2C, ADC, DAC, таймери, сенсорні входи та інші периферійні модулі, необхідні для побудови автоматизованих систем та IoT-пристроїв [20].

Для програмування ESP32-WROOM-32D можуть використовуватися Arduino IDE, PlatformIO та ESP-IDF. Найбільш популярним серед навчальних і студентських проєктів є Arduino IDE, оскільки дане середовище має простий інтерфейс, велику кількість бібліотек та прикладів програм для роботи з датчиками, модулями зв'язку й іншими периферійними пристроями. Водночас офіційним середовищем розробки для ESP32 є ESP-IDF, яке дозволяє виконувати більш глибоке налаштування мікроконтролера та використовувати розширені функції системи [21].

1.3.3 Огляд мікроконтролерів Arduino

Arduino — це апаратно-програмна платформа, призначена для створення електронних пристроїв та систем автоматизації. Платформа поєднує мікроконтролерну

плату та середовище розробки Arduino IDE, яке використовується для написання, компіляції та завантаження програмного коду на мікроконтролер. Arduino підтримує роботу з аналоговими та цифровими датчиками, модулями зв'язку та різними виконавчими елементами через стандартні інтерфейси підключення [24].

Однією з головних переваг Arduino є простота використання та велика кількість готових бібліотек для роботи з різними датчиками й модулями. Програмування виконується мовами C/C++ у середовищі Arduino IDE, яке автоматично компілює програму та завантажує її у пам'ять мікроконтролера. Для роботи з платформою не потрібно використовувати окремий програматор, оскільки більшість плат мають вбудований завантажувач [24].

Завдяки відкритій архітектурі та великій кількості навчальних матеріалів Arduino стала популярною платформою серед студентів, інженерів та розробників електроніки. Вона широко використовується для створення систем автоматизації, робототехнічних пристроїв, IoT-систем та навчальних проєктів. Платформа має активну спільноту користувачів, що значно спрощує пошук прикладів програм, схем підключення та технічної інформації [24].

Популярні моделі Arduino [24]:

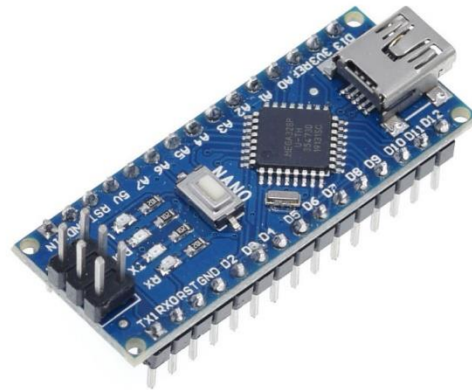
1. Arduino Uno R3 (рис 1.11 а)

Найбільш відома плата Arduino, побудована на мікроконтролері ATmega328P. Має цифрові та аналогові входи/виходи, USB-інтерфейс, кварцовий резонатор і кнопку RESET. Плата зручна для навчання, тестування датчиків та створення простих автоматизованих систем.

2. Arduino Nano (рис 1.11 б)

Компактна версія Arduino на базі ATmega328P. Має схожий функціонал з Arduino UNO, але менші розміри та зручніша для встановлення на макетних платах і у компактних пристроях.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		



а) б)
 Рисунок 1.11 – Плати Arduino:
 а) Arduino UNO; б) Arduino Nano [24]

Arduino є зручною платформою для створення електронних пристроїв та автоматизованих систем. Простота програмування, велика кількість бібліотек і доступність різних модулів роблять її популярною серед початківців та розробників навчальних проєктів. Arduino часто використовується для роботи з датчиками, виконавчими елементами та системами керування, зокрема і в системах детектування диму [24].

1.3.4 Вибір обчислювального модулю

Для реалізації автоматизованої системи детектування диму необхідно обрати обчислювальний модуль, який буде виконувати обробку сигналів від датчиків, керування виконавчими елементами та забезпечувати передачу інформації користувачу. Оскільки в системі передбачено можливість дистанційного моніторингу та передавання повідомлень через інтернет, обчислювальний модуль повинен підтримувати бездротове підключення до мережі.

Для організації зв'язку можуть використовуватись дротові або бездротові технології. У даному проєкті було обрано бездротове з'єднання, оскільки воно дозволяє зменшити кількість додаткових дротів, спрощує конструкцію пристрою та підвищує

зручність використання системи. Серед бездротових технологій найбільш доцільним варіантом було обрано Wi-Fi, оскільки дана технологія дозволяє легко передавати інформацію на смартфон, веб-інтерфейс або сервер.

Під час вибору обчислювального модуля було розглянуто декілька популярних варіантів, які підтримують Wi-Fi та можуть використовуватись у IoT-проектах. Найбільш поширеними серед них є NodeMCU на базі ESP8266, Arduino Nano у поєднанні з окремим Wi-Fi модулем ESP-01 та ESP32 DevKit. Основною перевагою модулів ESP є те, що вони поєднують функції мікроконтролера та Wi-Fi модуля в одному пристрої. Це дозволяє спростити схему підключення, зменшити габарити системи та зробити конструкцію більш компактною.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика обчислювальних модулів з підтримкою Wi-Fi

Характеристика	NodeMCU ESP8266	Arduino Nano + ESP-01	ESP32 DevKit
Мікроконтролер	ESP8266	ATmega328P + ESP-01	ESP32
Wi-Fi	Вбудований	Зовнішній модуль	Вбудований
Bluetooth	Немає	Немає	Є
Flash-пам'ять	4 MB	32 KB + 1 MB	4 MB або більше
GPIO	11	14	30+
Підтримка Arduino IDE	Є	Є	Є
Підтримка ESP-IDF	Немає	Немає	Є
Інтеграція	Все в одному модулі	Окреме підключення	Все в одному модулі
Складність підключення	Низька	Середня	Низька
Енергоспоживання	Низьке	Середнє	Середнє
Наявність Wi-Fi	Є	Є	Є

У якості основного обчислювального модуля для даного проєкту було обрано ESP32 DevKit на базі ESP32-WROOM-32D. Даний вибір обумовлений тим, що ESP32 поєднує достатню обчислювальну потужність, підтримку Wi-Fi та Bluetooth, а також велику кількість GPIO-виводів для підключення периферійних пристроїв [20], [21].

ESP32 має 32-розрядний процесор Tensilica Xtensa LX6 із тактовою частотою до 240 МГц, що забезпечує достатню продуктивність для обробки даних від датчиків та реалізації алгоритмів роботи системи [21]. Крім того, мікроконтролер підтримує аналого-цифрове перетворення, що є важливим для роботи з датчиком диму MQ-2, який формує аналоговий сигнал залежно від концентрації диму або газів у повітрі.

Перевагою ESP32 є також підтримка Wi-Fi та Bluetooth, завдяки чому система може передавати повідомлення користувачу через мережу або мобільний пристрій. Це дозволяє реалізувати елементи IoT та дистанційного моніторингу, що є важливим для сучасних систем безпеки [20].

Для програмування ESP32 може використовуватись Arduino IDE, PlatformIO або офіційне середовище ESP-IDF. Найбільш зручним для навчальних та студентських проєктів є Arduino IDE, оскільки дане середовище має простий інтерфейс, підтримує велику кількість бібліотек та прикладів програм для роботи з датчиками, Wi-Fi модулями та іншими периферійними пристроями [25].

Таким чином, використання ESP32 DevKit у якості обчислювального модуля є доцільним рішенням для автоматизованої системи детектування диму. Даний модуль поєднує обчислювальні можливості, підтримку бездротового зв'язку та зручність підключення датчиків і виконавчих елементів, що дозволяє створити компактну та функціональну систему.

1.4 Сервер та мобільний додаток в автоматизованій системі

У сучасних IoT-системах мобільний додаток може виконувати не лише роль інтерфейсу користувача, а й функції серверної частини системи. Через мобільний дода-

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ток користувач отримує інформацію від пристрою, переглядає стан системи та отримує повідомлення про спрацювання датчиків. Такий підхід широко використовується у системах “розумного дому”, системах безпеки та автоматизації [6].

У розроблюваній автоматизованій системі детектування диму передбачено використання мобільного додатка для приймання інформації від мікроконтролера ESP32 та відображення стану системи. Мікроконтролер через Wi-Fi передає дані про рівень диму або спрацювання сигналізації, а мобільний додаток приймає ці дані та повідомляє користувача про небезпеку. Такий варіант дозволяє контролювати систему дистанційно через мережу Інтернет.

У IoT-системах мобільний додаток взаємодіє з мікроконтролером через сервер або хмарну платформу. Архітектура таких систем зазвичай складається з датчиків, мережевого з’єднання, хмарної частини та мобільного інтерфейсу користувача. У даному проєкті ESP32 виконує збір та первинну обробку даних від датчика MQ-2 та DHT-22, після чого інформація може передаватись у мобільний додаток для подальшого відображення та оповіщення користувача.

Мобільний додаток у системі детектування диму дозволяє реалізувати декілька важливих функцій. По-перше, користувач може отримувати push-повідомлення у випадку виявлення диму або небезпечної концентрації газів. По-друге, додаток може відображати поточний стан системи та інформацію про підключення пристрою. Також можливо реалізувати журнал спрацювань системи або історію подій.

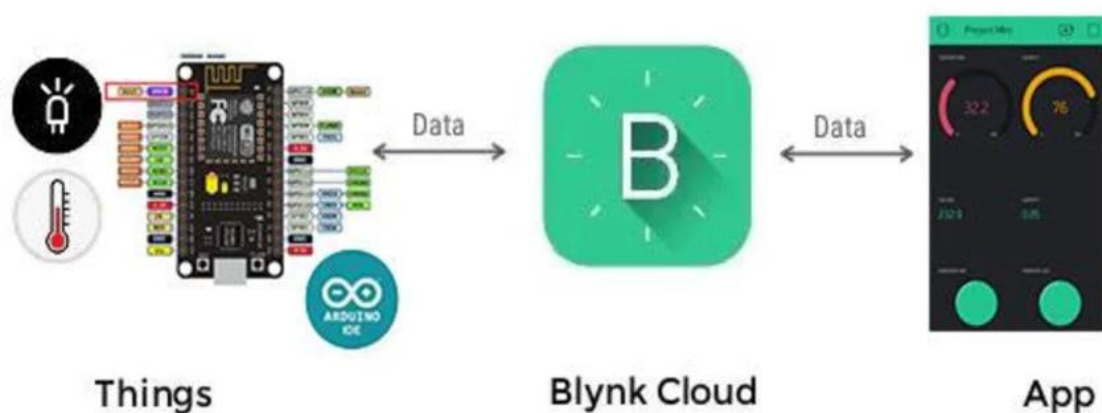


Рисунок 1.11 – Архітектура IoT-системи на базі ESP32 та Blynk Cloud [28]

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Для обміну інформацією між ESP32 та мобільним додатком можуть використовуватись HTTP або MQTT протоколи, які широко застосовуються в IoT-системах. Використання Wi-Fi дозволяє реалізувати передавання інформації в реальному часі та забезпечує швидке надсилання повідомлень користувачу.

Використання мобільного додатка в автоматизованій системі детектування диму значно підвищує зручність експлуатації системи та дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг стану пристрою. Завдяки цьому користувач може оперативно отримати інформацію про появу диму навіть за відсутності поруч із системою.

1.5 Огляд виконавчих елементів системи

1.5.1 Звукові сигналізатори (зумер)

Звукові сигналізатори або зумери є одним із основних виконавчих елементів у системах автоматизації та безпеки. Їх основне призначення полягає у створенні звукового сигналу для оповіщення користувача про певний стан системи або виникнення небезпечної ситуації. У системах пожежної безпеки та детектування диму зумери використовуються для швидкого звукового попередження про появу диму, горючих газів або загрозу займання [29].

Зумер являє собою електронний пристрій, який перетворює електричний сигнал у звукові коливання. Найчастіше у простих автоматизованих системах використовуються п'єзоелектричні зумери. Принцип їх роботи базується на використанні п'єзоелектричного елемента, який під дією електричної напруги створює механічні коливання та генерує звук [29].

Існує два основних типи зумерів:

- активні;
- пасивні.

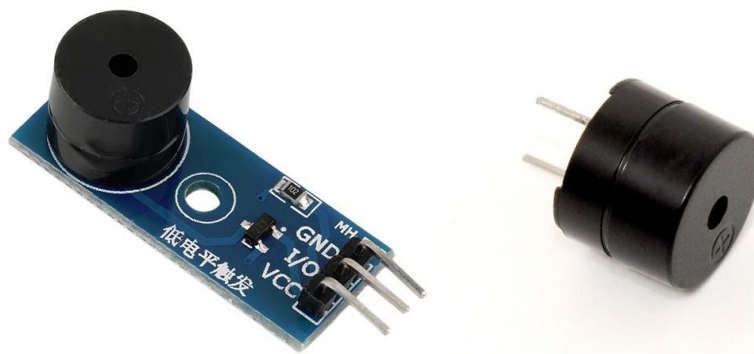
Активний зумер має вбудований генератор сигналу та може працювати безпосередньо від подачі живлення. Для створення звукового сигналу достатньо подати

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

напругу на його контакти. Такі зумери прості у використанні та не потребують формування додаткового сигналу мікроконтролером [30].

Пасивний зумер не має вбудованого генератора, тому для його роботи необхідно формувати імпульсний сигнал певної частоти за допомогою мікроконтролера. Перевагою пасивного зумера є можливість генерування звуків різної частоти та мелодій, однак його підключення та програмування є складнішими [30].

У системах детектування диму звуковий сигналізатор використовується для оперативного попередження користувача про небезпечну ситуацію. Після спрацювання датчика диму мікроконтролер активує зумер, який створює гучний звуковий сигнал. Це дозволяє швидко привернути увагу людей та повідомити про можливу пожежу або появу небезпечної концентрації диму.



а)

б)

Рисунок 1.12 – Зумери для автоматизованих систем:
а) активний зумер; б) пасивний зумер [30]

До основних переваг зумерів належать компактні розміри, простота підключення, низьке енергоспоживання та достатньо висока гучність звукового сигналу. Завдяки цьому вони широко використовуються у сигналізаціях, охоронних системах, побутових електронних пристроях та системах автоматизації.

Для автоматизованої системи детектування диму доцільно використовувати активний зумер, оскільки він не потребує складного програмного керування та може бути безпосередньо підключений до мікроконтролера ESP32. Це дозволяє спростити схему системи та забезпечити швидке формування звукового сигналу у випадку виявлення диму.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

1.5.2 Світлова індикація

Світлова індикація є важливою складовою автоматизованих систем безпеки та сигналізації. Основне призначення світлодіодної індикації полягає у візуальному відображенні стану системи, режимів роботи пристрою та виникнення аварійних ситуацій. У системах детектування диму світлодіоди дозволяють швидко оцінити поточний стан системи навіть без використання мобільного додатка або звукового сигналу [33].

У більшості автоматизованих систем використовуються світлодіоди (LED — Light Emitting Diode). Світлодіод являє собою напівпровідниковий елемент, який випромінює світло під час проходження електричного струму через р-п перехід [33]. Основними перевагами LED є низьке енергоспоживання, компактні розміри, довговічність та простота підключення до мікроконтролерів.

У межах автоматизованої системи детектування диму доцільно використовувати декілька світлодіодів для індикації різних режимів роботи системи. Найчастіше застосовуються зелений та червоний світлодіоди.

Зелений світлодіод використовується для індикації нормального режиму роботи системи. Під час нормальної роботи зелений LED може постійно світитися або періодично блимати, повідомляючи про справний стан пристрою та правильну роботу мікроконтролера [34].



а)

б)

Рисунок 1.13 – Світлодіоди для систем індикації:
а) зелений LED; б) червоний LED [34]

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Червоний світлодіод використовується для індикації аварійного режиму або спрацювання системи. У випадку виявлення диму чи небезпечної концентрації газів мікроконтролер активує червоний LED разом із звуковим сигналізатором. Це дозволяє швидко привернути увагу користувача та візуально повідомити про небезпеку.

Світлодіодна індикація може працювати у декількох режимах:

- постійне світіння — нормальний режим роботи;
- періодичне блимання — режим очікування або підключення до мережі;
- швидке блимання червоного LED — аварійний режим або виявлення диму.

Таблиця 1.4 – Основні характеристики світлодіодів

Характеристика	Зелений LED	Червоний LED
Напруга живлення	2–3 В	1.8–2.2 В
Робочий струм	10–20 мА	10–20 мА
Колір індикації	Зелений	Червоний
Призначення	Нормальна робота	Тривога

Використання світлодіодної індикації в автоматизованій системі детектування диму дозволяє забезпечити просте та наочне відображення стану системи. Поєднання світлової та звукової сигналізації підвищує ефективність оповіщення користувача про небезпечні ситуації та покращує зручність експлуатації пристрою.

1.5.3 Вибір виконавчого елемента оповіщення

У межах цього розділу було розглянуто два основних варіанти виконавчих елементів оповіщення:

- світлодіодна індикація;
- звуковий сигналізатор (активний зумер).

Світлодіоди забезпечують візуальне відображення стану системи та дозволяють користувачу контролювати режим роботи пристрою. Найчастіше зелений світлодіод

використовується для індикації нормального режиму роботи, а червоний — для сигналізації про виявлення диму або аварійну ситуацію [33].

Звуковий сигналізатор, у свою чергу, дозволяє оперативно привернути увагу користувача за допомогою звукового сигналу. Це особливо важливо у випадках, коли користувач не дивиться безпосередньо на пристрій або знаходиться в іншій частині приміщення. У системах безпеки звукове оповіщення є одним із найбільш ефективних способів швидкого повідомлення про небезпеку [29].

Таблиця 1.5 – Порівняльна характеристика виконавчих елементів оповіщення

Характеристика	Світлодіод	Активний зумер
Тип оповіщення	Візуальний	Звуковий
Помітність на відстані	Середня	Висока
Складність підключення	Найнижча	Найнижча
Енергоспоживання	Дуже низьке	Низьке
Ефективність у системах сигналізації	Середня	Висока

На основі проведеного аналізу було прийнято рішення використовувати активний зумер як основний виконавчий елемент оповіщення. Основною причиною такого вибору є висока ефективність звукового сигналу в аварійних ситуаціях. На відміну від світлодіода, звуковий сигнал можна почути навіть тоді, коли користувач не знаходиться безпосередньо біля пристрою або не бачить систему візуально.

Активний зумер також має просту схему підключення та не потребує складного програмного керування, оскільки має вбудований генератор звуку. Для його активації достатньо подати логічний сигнал від мікроконтролера ESP32 [29].

Незважаючи на це, світлодіодна індикація також буде використовуватись у системі як допоміжний засіб відображення стану роботи пристрою. Поєднання світлової та звукової індикації дозволяє підвищити ефективність оповіщення користувача про виникнення небезпечної ситуації.

Таким чином, використання активного зумера у якості основного виконавчого елемента оповіщення є доцільним для автоматизованої системи детектування диму

завдяки простоті підключення, високій ефективності звукового оповіщення та можливості швидкого привернення уваги користувача.

Висновки до першого розділу

Перший розділ присвячений огляду теоретичних основ та практичних аспектів побудови автоматизованої системи детектування диму. У межах розділу було розглянуто основні компоненти таких систем, зокрема датчики диму, обчислювальні модулі, виконавчі елементи оповіщення та принципи їх взаємодії між собою. Також було проаналізовано особливості використання IoT-технологій та мобільного додатка для дистанційного моніторингу системи.

У результаті проведеного аналізу було сформовано компонентну базу для подальшого проєктування автоматизованої системи детектування диму, яка включає мікроконтролер ESP32-WROOM-32D, датчик диму MQ-2, датчик температури та вологості DHT22, активний бузер та мобільний додаток для дистанційного моніторингу системи.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ, РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА СИСТЕМИ

2.1 Структурна схема приладу

Розроблювана система повинна виконувати функцію безперервного контролю повітряного середовища на наявність диму, а також супутніх параметрів — температури та вологості — у межах контрольованого приміщення. У разі виявлення задимлення система активує засоби оповіщення, а саме звуковий сигналізатор та передає повідомлення користувачу. Керування виконавчими елементами відбувається з мікроконтролера, обмін даними з яким здійснюється через сервер по інтернет-протоколу.

Складено структурну схему приладу, показану на рис. 2.1:

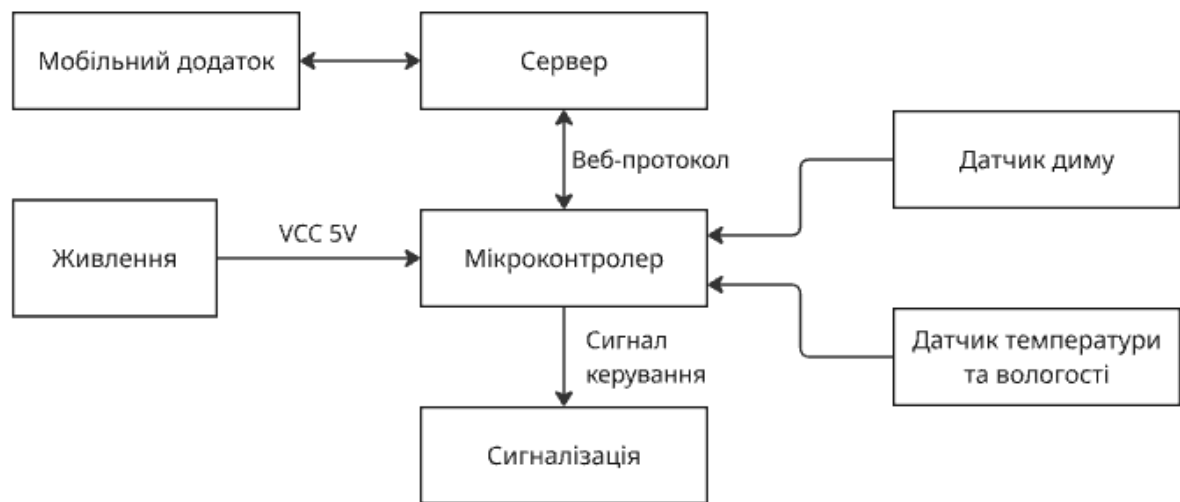


Рисунок 2.1 – Структурна схема розроблюваного пристрою

Мікроконтролер безперервно опитує датчик диму та датчик температури і вологості, отримуючи інформацію про стан повітряного середовища у місці встановлення пристрою. Концентрація диму порівнюється із заданим пороговим рівнем, а покази температури аналізуються одразу за двома ознаками — за абсолютним значенням та за швидкістю його зростання. Завдяки цьому система реагує не лише на появу диму, а й на різке підвищення температури: якщо температура зростає надто

швидко, мікроконтролер формує сигнал тривоги навіть тоді, коли датчик диму ще не зафіксував задимлення. Це дозволяє виявляти швидкоплинні пожежі з відкритим полум'ям на ранній стадії, коли продукти горіння ще не встигли досягти димового сенсора.

Дані про температуру та вологість використовуються також для підвищення достовірності вимірювань. Чутливість напівпровідникового датчика MQ-2 залежить від температури й вологості повітря, тому ці параметри застосовуються для коригування порогового рівня спрацювання за димом, що зменшує ймовірність хибних тривог.

У черговому режимі, коли жоден із контрольованих параметрів не перевищує допустимих меж, система продовжує моніторинг. У разі спрацювання хоча б одного критерію — перевищення концентрації диму, досягнення граничної температури або надто швидкого її зростання — мікроконтролер активує звуковий сигналізатор і надсилає повідомлення про небезпеку через сервер до мобільного додатка користувача.

Однією з ключових вимог під час конструювання пристрою стала модульність його складових. Замість нероз'ємного монтажу компоненти поєднуються різними з'єднаннями, що дає змогу за потреби демонтувати окремий вузол, не торкаючись решти конструкції. Завдяки цьому спрощується обслуговування системи: будь-який елемент, чи то димовий сенсор, плата мікроконтролера або зумер, можна оглянути, відремонтувати чи замінити окремо від інших. Така організація робить пристрій гнучкішим в експлуатації та ремонтпридатнішим, на відміну від рішень із жорстко закріпленими елементами, де навіть незначна заміна потребує розбирання всієї конструкції.

2.2 Проектування електричної частини пристрою

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

2.2.1 Розрахунок споживаної потужності та вибір джерела живлення

Джерело живлення є базовим елементом будь-якої електронної системи, оскільки від його параметрів залежить стабільність роботи решти компонентів. Для правильного вибору джерела необхідно визначити сумарну потужність, яку споживає пристрій у різних режимах роботи. Розрахунок виконується на основі номінальних значень напруги живлення та струму споживання окремих компонентів, наведених у їхній технічній документації.

Споживану потужність окремого компонента визначають за основною формулою електричної потужності:

$$P = U \cdot I,$$

де P — споживана потужність, Вт; U — напруга живлення, В; I — сила струму, А.

До складу системи входять мікроконтролер ESP32-WROOM-32D, датчик диму MQ-2, датчик температури та вологості DHT22 і активний звуковий сигналізатор. Усі компоненти живляться від напруги 5 В, що спрощує організацію спільної шини живлення. Найбільше струму споживає датчик MQ-2 через наявність нагрівального елемента — близько 150 мА за напруги 5 В [18], [19]. Мікроконтролер ESP32 у звичайному режимі споживає приблизно 80–120 мА, а під час активної передачі даних через Wi-Fi струм короткочасно зростає до 240–260 мА [25]. Датчик DHT22 споживає близько 1,5 мА під час вимірювання [32], а активний зумер у момент роботи — до 30 мА [29]. Зведені дані наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Споживання струму компонентами системи

Компонент	Напруга живлення, В	Струм (номінальний), мА	Струм (піковий), мА
Мікроконтролер ESP32-WROOM-32D	5	120	260
Датчик диму MQ-2	5	150	160

Продовженн таблиці 2.1

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Датчик DHT22	3,3	1,5	2,5
Активний зумер	5	30	30
Сумарно	-	≈300	≈450

Слід зауважити, що датчик DHT22, на відміну від інших компонентів, живиться від шини 3,3 В, яку формує вбудований лінійний стабілізатор плати. Оскільки цей стабілізатор є лінійним, струм, споживаний датчиком від шини 3,3 В, фактично надходить від вхідного джерела 5 В, тому його враховано у загальному струмі споживання системи. При цьому потужність, споживана DHT22, є незначною (близько 5 мВт) і практично не впливає на загальний енергетичний баланс, який визначається переважно мікроконтролером і датчиком MQ-2.

Оскільки всі компоненти підключені паралельно до спільної шини живлення, загальний струм споживання системи дорівнює сумі струмів окремих компонентів:

$$I_{\text{заг}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum I_i \quad (2.2)$$

Підставивши значення з табл. 2.1, отримаємо загальний струм у номінальному та піковому режимах роботи:

$$I_{\text{заг.ном}} = 120 + 150 + 1,5 + 30 \approx 300 \text{ мА} = 0,3 \text{ А}$$

$$I_{\text{заг.пik}} = 260 + 160 + 2,5 + 30 \approx 450 \text{ мА} = 0,45 \text{ А.}$$

Сумарну споживану потужність системи визначаємо за формулою (2.1), підставивши загальний струм:

$$P_{\text{заг}} = U \cdot I_{\text{заг}} \quad (2.3)$$

Тоді для двох режимів роботи:

$$P_{\text{ном}} = 5 \cdot 0,3 = 1,5 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{пik}} = 5 \cdot 0,45 = 2,25 \approx 2,3 \text{ Вт.}$$

Отримане значення пікової потужності (близько 2,3 Вт) не перевищує встановленого технічним завданням обмеження у 5 Вт, що підтверджує правильність вибору елементної бази за критерієм енергоспоживання.

Для надійної роботи джерело живлення обирають із певним запасом за струмом відносно пікового споживання. Необхідний вихідний струм джерела визначається за умовою:

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

$$I_{дж} \geq k \cdot I_{заг.п\acute{и}к} \quad (2.4)$$

де k — коефіцієнт запасу, який зазвичай приймають у межах $k = 1,5 \dots 2$.

Підставивши пікове значення струму, отримаємо:

$$I_{дж} \geq 2 \cdot 0,45 = 0,9 \text{ А.}$$

Отже, джерело живлення має забезпечувати напругу 5 В і вихідний струм не менше 0,9 А. З урахуванням стандартного ряду таким вимогам відповідає джерело з параметрами 5 В / 2 А, що дає більш ніж дворазовий запас за струмом і запобігає просіданню напруги під час пускових струмів і короткочасних навантажень. Живлення подається на плату мікроконтролера через роз'єм USB Type-C, яким оснащена плата.



Рисунок 2.2 – обраний імпульсний блок живлення

Для розроблюваного пристрою було обрано імпульсний блок живлення на 5 В із максимальним вихідним струмом 3 А та роз'ємом USB Type-C (рис. 2.2). Такого струму з великим запасом достатньо для живлення системи, пікове споживання якої не перевищує 0,45 А. Перевагою обраного блока є інтегрований кабель зі штекером

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

USB Type-C, що дозволяє під'єднати його напряму до плати мікроконтролера без додаткових перехідників.

2.2.2 Схема підключення компонентів до мікроконтролера

Центральним елементом системи є мікроконтролер ESP32-WROOM-32D, до якого підключаються всі інші компоненти — датчик диму MQ-2, датчик температури та вологості DHT22 і звуковий сигналізатор. Оскільки в пристрої не використовується друкована плата, з'єднання між компонентами та платою мікроконтролера виконуються за допомогою з'єднувальних провідників. Кожен компонент має власні виводи живлення та сигнальні виводи, які підключаються до відповідних контактів мікроконтролера з урахуванням рівнів напруги та типу сигналу. Спільний провід реалізовано в такий спосіб, що вивід GND кожного компонента окремим провідником під'єднується безпосередньо до виводу GND плати мікроконтролера.

Датчик диму MQ-2 виконано у вигляді готового модуля з чотирма виводами: живлення VCC, спільний провід GND, аналоговий вихід A0 та цифровий вихід D0. Вивід VCC підключається до шини 5 В, а вивід GND окремим провідником — до виводу GND плати мікроконтролера [17], [19]. Цифровий вихід D0 формує логічний сигнал у момент перевищення концентрацією газу порогового рівня, заданого підлаштовним резистором модуля, тоді як аналоговий вихід A0 видає напругу, пропорційну концентрації газу. Для отримання кількісної інформації про рівень задимлення використовується саме аналоговий вихід A0.

Аналоговий вихід A0 підключається безпосередньо до входу аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера, наприклад до виводу GPIO34. Цей вивід є входом АЦП і призначений лише для приймання сигналу. У штатному режимі роботи напруга на аналоговому виході датчика залишається в межах робочого діапазону входу АЦП (0–3,3 В), а поріг спрацювання сигналізації задається програмно в цьому

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ж діапазоні. Завдяки цьому сигнал з датчика зчитується безпосередньо, без додаткового перетворення рівня напруги, що спрощує схему підключення. У такий спосіб мікроконтролер безперервно зчитує рівень задимлення у вигляді числового значення.

Датчик температури та вологості DHT22 має три активні виводи: живлення VCC, лінію даних DATA та спільний провід GND. Живлення датчика здійснюється від шини 3,3 В плати мікроконтролера, а вивід GND окремим провідником під'єднується до виводу GND плати [31], [32]. Обмін даними між датчиком і мікроконтролером відбувається по одній двонапрямленій цифровій лінії за власним протоколом датчика.

Лінія даних DATA підключається до одного з цифрових виводів мікроконтролера, наприклад до GPIO4. Для стабільної передачі даних між лінією даних і виводом живлення встановлюється підтягувальний резистор номіналом близько 10 кОм, який утримує лінію у високому логічному рівні в стані спокою; у багатьох готових модулях DHT22 такий резистор уже встановлено на платі. Оскільки датчик живиться напругою 3,3 В, рівні його сигналу узгоджені з логічними рівнями мікроконтролера, тому додаткового перетворення сигналу не потрібно.

Як виконавчий елемент оповіщення використовується активний звуковий сигналізатор. Оскільки він має вбудований генератор коливальних сигналів, для подачі звукового сигналу достатньо подати на нього напругу, без програмного формування звукової частоти [29], [30]. Струм споживання активного зумера є невеликим і не перевищує допустимого навантаження виводу мікроконтролера, тому сигналізатор підключається безпосередньо, без додаткового транзисторного ключа.

Один вивід зумера з'єднується з цифровим виводом мікроконтролера, наприклад GPIO5, а другий окремим провідником — до виводу GND плати мікроконтролера. Коли на виводі мікроконтролера встановлюється високий логічний рівень, на зумер подається напруга й лунає звуковий сигнал, а за низького рівня сигналізатор вимикається. Такий спосіб підключення є найпростішим і не потребує додаткових елементів керування, що відповідає принципу мінімізації кількості компонентів у системі.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Загальну схему підключення всіх компонентів до мікроконтролера наведено на рис. 2.3.

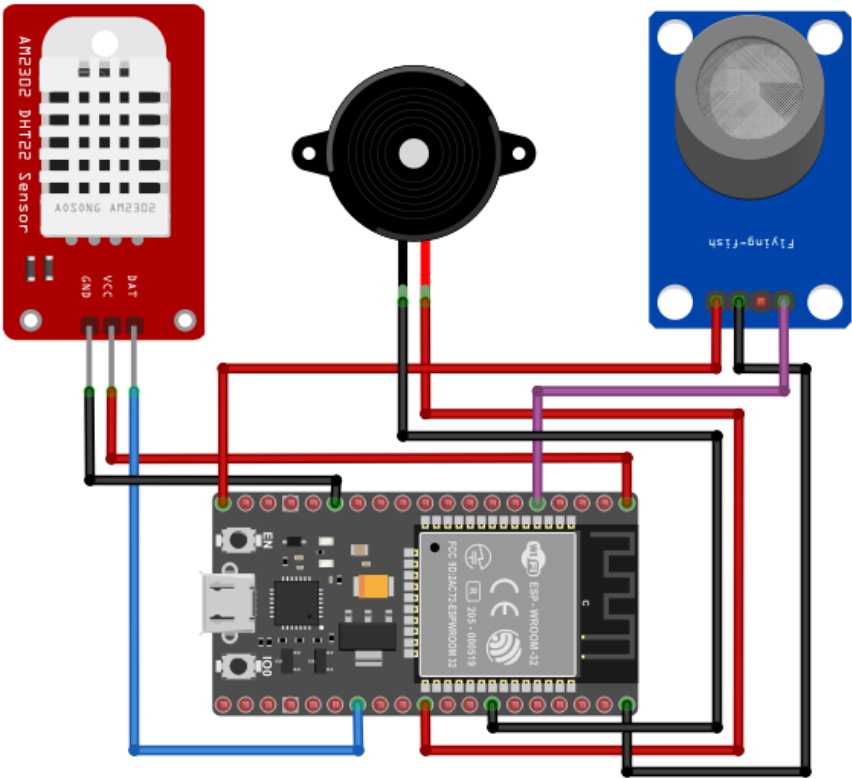


Рисунок 2.3 – Схема підключення компонентів до мікроконтролера

2.2.3 Електрична принципова схема пристрою

Після визначення способів підключення окремих компонентів усі електричні з'єднання об'єднуються в єдину принципову схему пристрою. Вона відображає повний склад системи, електричні зв'язки між мікроконтролером, датчиками, виконавчим елементом і джерелом живлення

Центральним елементом схеми є мікроконтролер ESP32-WROOM-32D, до виводів якого підключаються всі інші компоненти. Живлення подається на плату через роз'єм USB Type-C від обраного блока живлення, після чого від шин 5 В та 3,3 В живляться відповідні компоненти системи. Аналоговий сигнал від датчика MQ-2 надходить безпосередньо на вхід АЦП мікроконтролера, лінія даних датчика DHT22 з'єднується з цифровим виводом, а звуковий сигналізатор підключається безпосередньо до окремого цифрового виводу. Розподіл виводів мікроконтролера між компонентами системи наведено в табл. 2.2.

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№	Докум	Підп.	Дата	

Таблиця 2.2 – Підключення компонентів до виводів мікроконтролера

Компонент	Вивід компонента	Вивід мікроконтролера	Призначення
Датчик MQ-2	A0	GPIO34 (АЦП)	Аналоговий сигнал рівня диму
Датчик DHT22	DATA	GPIO4	Цифрова лінія даних
Зумер	сигнальний вивід	GPIO5	Керування сигналізацією

Електричну принципову схему розроблюваного пристрою наведено на рис. 2.4. На ній показано всі електричні з'єднання між компонентами, що дозволяє наочно представити внутрішню організацію пристрою й використовується як основа для подальшого монтажу системи.

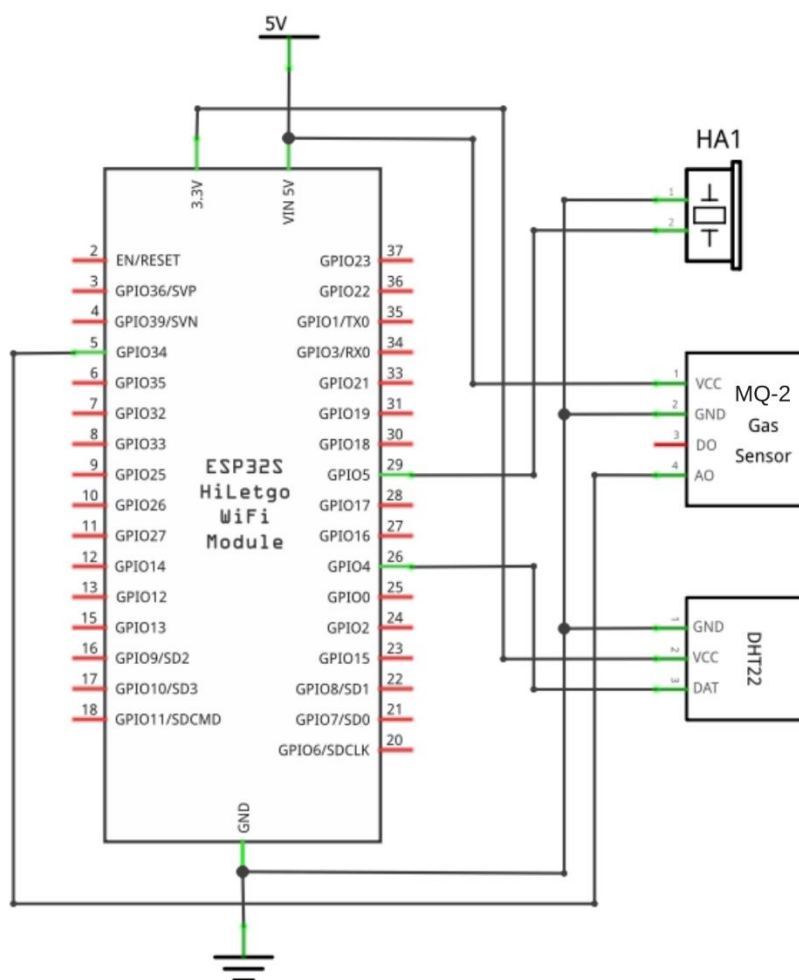


Рисунок 2.4 – Електрична принципова схема пристрою

2.3 Розроблення програмного забезпечення мікроконтролера

2.3.1 Вибір середовища та мови програмування

Розроблення програмного забезпечення є одним із ключових етапів створення системи, оскільки саме програма визначає логіку її роботи: порядок опитування датчиків, обробку отриманих даних, прийняття рішення про безпеку та керування засобами оповіщення. Для написання й завантаження програми в мікроконтролер необхідно обрати відповідне середовище розробки та мову програмування.

Для програмування мікроконтролера ESP32-WROOM-32D обрано середовище Arduino IDE. Це безкоштовне інтегроване середовище розробки з відкритим вихідним кодом, яке підтримує широкий перелік платформ, зокрема плати на базі ESP32 після встановлення відповідного пакета підтримки. Arduino IDE поєднує редактор коду, компілятор та інструмент завантаження прошивки в мікроконтролер у єдиному застосунку, а також містить вбудований монітор послідовного порту, зручний для налагодження та перегляду показів датчиків у реальному часі.

Програму написано мовою C++ із використанням бібліотек, характерних для платформи Arduino. Ця мова забезпечує безпосередній доступ до апаратних ресурсів мікроконтролера, високу швидкодію та економне використання пам'яті, що важливо для вбудованих систем. Водночас наявність готових бібліотек суттєво спрощує роботу з периферійними пристроями, позбавляючи від необхідності програмувати обмін даними з кожним компонентом на низькому рівні.

У процесі розроблення програмного забезпечення використано такі бібліотеки. Бібліотека WiFi.h забезпечує підключення мікроконтролера до бездротової мережі Wi-Fi. Бібліотека DHT.h призначена для роботи з датчиком температури та вологості DHT22 і реалізує обмін даними з ним за його власним протоколом. Бібліотека BlynkSimpleEsp32.h відповідає за взаємодію мікроконтролера з хмарною платформою Blynk та передавання даних до мобільного додатка. Використання цих бібліотек

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

дозволило зосередитися на реалізації логіки роботи системи, не витрачаючи час на низькорівневу взаємодію з апаратним забезпеченням.

Вибір саме цього середовища та мови програмування зумовлений їхньою поширеністю, наявністю докладної документації й великої кількості готових бібліотек для роботи з обраною елементною базою, а також безпосередньою підтримкою плат на базі ESP32, що робить процес розроблення зручним і ефективним.

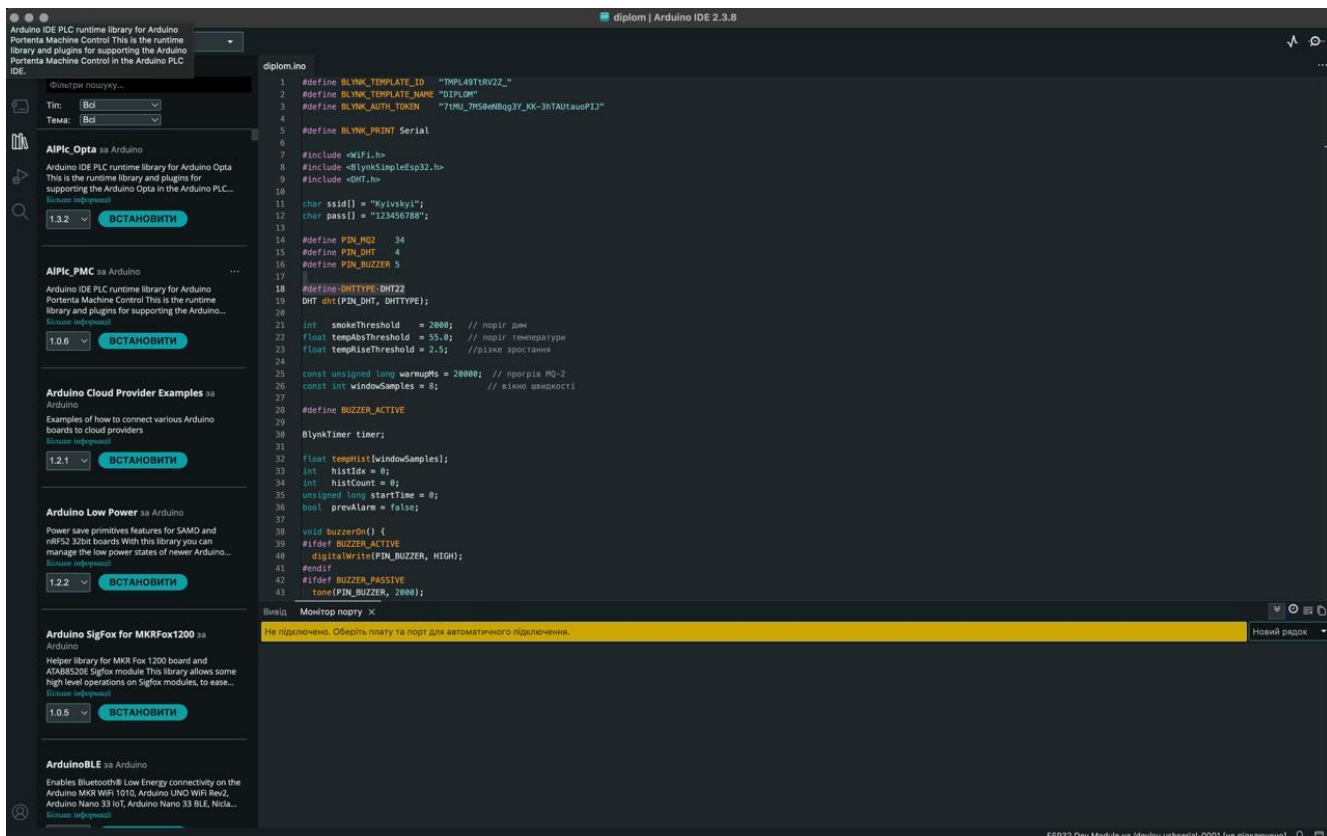


Рисунок 2.5 – Інтерфейс середовища розробки Arduino IDE

Варто зазначити, що мікроконтролер ESP32 не обмежений однією мовою програмування. Окрім C++, його можна програмувати мовою MicroPython — спеціальною версією Python для мікроконтролерів, а також, із застосуванням стороннього програмного забезпечення, мовами Lua та JavaScript. Кожна з них має свою сферу застосування: MicroPython зручний для швидкого прототипування завдяки простому синтаксису, проте поступається C++ за швидкодією та ефективністю використання пам'яті; Lua та JavaScript застосовуються рідше й мають менший набір бібліотек для роботи з периферією.

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№	Докум	Підп.	Дата	

Аналогічно існує кілька середовищ розробки. Окрім Arduino IDE, для програмування ESP32 використовують PlatformIO — професійніше середовище на базі редактора Visual Studio Code, а також ESP-IDF — офіційний фреймворк виробника Espressif, який надає найповніший доступ до можливостей мікроконтролера, проте є складнішим в освоєнні. Для програмування мовою MicroPython застосовують середовище Thonny.

Під час вибору середовища та мови програмування враховують кілька критеріїв: складність освоєння й наявність документації, швидкодію виконання коду, ефективність використання обмежених ресурсів мікроконтролера, повноту доступу до апаратних можливостей та наявність готових бібліотек для роботи з периферією. Для навчального проєкту вирішальними є простота освоєння й широка підтримка, тоді як для промислових рішень на перший план виходять швидкодія та повний контроль над апаратурою. За цими критеріями й порівняно доступні для ESP32 мови та середовища.

Таблиця 2.3 – Порівняння мов та середовищ програмування для ESP32

Мова / середовище	Складність освоєння	Швидкодія	Доступ до периферії	Сфера застосування
C++ (Arduino IDE)	Низька	Висока	Повний	Навчальні та аматорські проєкти
C++ (PlatformIO)	Середня	Висока	Повний	Професійна розробка
C++ (ESP-IDF)	Висока	Максимальна	Найповніший	Промислові рішення
MicroPython (Thonny)	Низька	Середня	Достатній	Швидке прототипування
Lua / JavaScript	Середня	Низька	Обмежений	Спеціалізовані задачі

Як видно з табл. 2.3, для розроблюваної системи оптимальним є поєднання мови C++ та середовища Arduino IDE. Воно забезпечує високу швидкодію, повний доступ

до периферії та низький поріг входження за наявності великої кількості готових бібліотек, що повністю відповідає вимогам проєкту. Складніші середовища, як-от ESP-IDF, доцільні для промислових рішень, а MicroPython — для випадків, коли пріоритетом є швидкість розроблення, а не максимальна ефективність коду.

2.3.2 Алгоритм роботи системи

Робота системи побудована за циклічним алгоритмом, який безперервно виконується мікроконтролером після ввімкнення живлення. Алгоритм визначає послідовність дій: ініціалізацію компонентів, періодичне опитування датчиків, обробку отриманих даних, перевірку умов небезпеки та формування сигналів оповіщення. Узагальнену блок-схему алгоритму наведено на рис. 2.6.

Після подачі живлення виконується етап ініціалізації. На ньому налаштовуються виводи мікроконтролера, запускається датчик температури та вологості, встановлюється з'єднання з мережею Wi-Fi і хмарною платформою Blynk, а також фіксується момент запуску системи для відліку часу прогріву датчика диму. Цей етап виконується одноразово під час старту.

Далі система переходить до основного циклу, який повторюється через рівні проміжки часу — приблизно кожні дві секунди. На початку циклу мікроконтролер зчитує покази трьох джерел інформації: рівень задимлення з датчика MQ-2, а також температуру й вологість з датчика DHT22. Значення диму при цьому усереднюється за кількома послідовними вимірюваннями, що зменшує вплив випадкових завад на результат.

Отримані дані обробляються та перевіряються на відповідність умовам тривоги. Мікроконтролер визначає, чи перевищує рівень задимлення встановлений поріг, чи не вийшла температура за абсолютне граничне значення та чи не відбувається надто швидке її зростання. Якщо виконується хоча б одна з цих умов, формується стан тривоги.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		



Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму роботи системи

У разі виявлення небезпеки мікроконтролер вмикає звуковий сигналізатор і надсилає сповіщення користувачу через платформу Blynk. Якщо жодна з умов не виконується, сигналізатор залишається вимкненим, а система продовжує моніторинг. Незалежно від наявності тривоги, поточні значення показів датчиків передаються до мобільного додатка для відображення. Після завершення циклу мікроконтролер очікує до наступного вимірювання, після чого цикл повторюється.

Окремо в алгоритмі передбачено врахування етапу прогріву датчика диму. Протягом перших двадцяти секунд після ввімкнення живлення чутливий елемент MQ-2 розігрівається й може видавати завищені значення, тому на цей час тривога за димом блокується. Водночас контроль температури залишається активним від самого початку роботи, що дозволяє виявити стрімке підвищення температури навіть під час прогріву датчика диму.

2.3.3 Зчитування та обробка даних із датчиків

Аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера ESP32 має розрядність 12 біт, тому вхідна напруга перетворюється в ціле число в діапазоні від 0 до 4095. Що вищий рівень задимлення, то більшу напругу формує датчик і то більше значення зчитує мікроконтролер. Така роздільна здатність забезпечує достатню точність оцінювання рівня задимлення для задачі виявлення небезпеки.

У кожному циклі роботи програми мікроконтролер зчитує покази трьох джерел інформації — рівень задимлення з датчика MQ-2, а також температуру й вологість з датчика DHT22. Оскільки сигнали від датчиків можуть містити випадкові завади, перед використанням у логіці тривоги вони проходять попередню обробку, що підвищує достовірність прийнятих рішень.

Дані з датчика диму зчитуються через аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера, який перетворює напругу на аналоговому виході датчика в числове значення в діапазоні від 0 до 4095. Аналоговий сигнал газового датчика схильний до незначних коливань, тому для зменшення впливу шуму застосовується усереднення. За-

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

мість одного вимірювання мікроконтролер виконує кілька послідовних зчитувань поспіль і обчислює їхнє середнє арифметичне. Отримане усереднене значення є стабільнішим за окреме вимірювання й точніше відображає фактичний рівень задимлення.

Покази температури та вологості зчитуються з датчика DHT22 за його власним цифровим протоколом. Цей датчик повертає вже готові числові значення температури в градусах Цельсія та відносної вологості у відсотках, тому додаткове перетворення не потрібне. Оскільки датчик DHT22 оновлює дані з обмеженою частотою, опитування виконується з інтервалом приблизно у дві секунди, що відповідає його технічним характеристикам. Передбачено також перевірку коректності отриманих значень: якщо зчитування з датчика завершилося помилкою, поточний цикл пропускається, щоб некоректні дані не вплинули на подальші розрахунки.

Окрім поточних значень, програма зберігає історію зміни температури за певний проміжок часу, що необхідно для виявлення стрімкого нагрівання. Для цього використовується масив фіксованого розміру, організований за принципом кільцевого буфера: нове значення температури записується на місце найстарішого, а індекс запису циклічно зсувається. Таким чином у пам'яті завжди зберігаються покази температури за останній встановлений інтервал часу. Поточне значення температури згодом порівнюється зі значенням, зафіксованим на початку цього інтервалу, що дозволяє визначити швидкість зміни температури. Реалізацію зчитування та обробки даних з датчиків наведено на рис. 2.7.

```
54 int readSmoke() {
55     long sum = 0;
56     for (int i = 0; i < 10; i++) {
57         sum += analogRead(PIN_MQ2);
58         delay(2);
59     }
60     return sum / 10;
61 }
62
63 void sendSensorData() {
64     float humidity = dht.readHumidity();
65     float temperature = dht.readTemperature();
66     int smokeValue = readSmoke();
67
68     if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
69         return;
70     }
71 }
```

Рисунок 2.7 – Фрагмент коду зчитування та обробки даних з датчиків

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

2.3.4 Логіка спрацювання сигналізації

Логіка спрацювання сигналізації визначає, за яких умов система переходить у стан тривоги. В основу покладено принцип об'єднання кількох незалежних критеріїв за логічною операцією «АБО»: тривога формується, якщо виконується хоча б одна з умов. Такий підхід підвищує надійність виявлення небезпеки, оскільки система реагує на різні ознаки пожежі, а не покладається лише на одне джерело інформації.

```
81     bool smokeAlarm  = (!warmingUp) && (smokeValue > smokeThreshold);
82     bool tempAbsAlarm = (temperature > tempAbsThreshold);
83     bool alarm = smokeAlarm || tempAbsAlarm || tempRiseAlarm;
```

Рисунок 2.8 – Формування загального стану тривоги за критеріями

Передбачено три критерії тривоги. Перший — перевищення рівнем задимлення встановленого порогового значення, що є основною ознакою появи продуктів горіння. Другий — перевищення температурою абсолютного граничного значення, яке свідчить про небезпечний рівень нагрівання повітря. Третій — надто швидке зростання температури, що дозволяє виявити стрімкий розвиток пожежі ще до того, як дим досягне датчика. Якщо спрацьовує будь-який із цих критеріїв, мікроконтролер формує загальний стан тривоги.

Для виявлення стрімкого нагрівання поточне значення температури порівнюється зі значенням, зафіксованим у попередньому циклі вимірювання. Якщо різниця між ними перевищує заданий поріг, фіксується ознака різкого зростання температури. Такий спосіб дозволяє відрізнити природну повільну зміну температури в приміщенні від різкого стрибка, характерного для займання.

```
74     bool tempRiseAlarm = false;
75     if (!firstRead && (temperature - lastTemp >= tempRiseThreshold)) {
76         tempRiseAlarm = true;
77     }
78     lastTemp = temperature;
79     firstRead = false;
```

Рисунок 2.9 – Фрагмент коду виявлення різкого зростання температури

Окремо враховано особливість роботи датчика диму на початку роботи. Протягом часу прогріву чутливий елемент MQ-2 видає завищені значення, тому на цей період тривога за димом блокується, щоб уникнути хибного спрацювання. При цьому критерії за температурою залишаються активними від самого початку, що зберігає здатність системи виявити стрімке нагрівання навіть під час прогріву датчика диму.

```
72    bool warmingUp = (millis() - startTime < warmupMs);
73
```

Рисунок 2.10 – Перевірка стану прогріву датчика диму

При виникненні стану тривоги мікроконтролер вмикає звуковий сигналізатор і надсилає сповіщення користувачу через платформу Blynk. Сповіщення формується лише в момент переходу системи зі звичайного стану в стан тривоги, а не безперервно протягом усього часу небезпеки. Це запобігає надмірній кількості однакових повідомлень і робить оповіщення зручнішим для користувача. Якщо жоден із критеріїв не виконується, сигналізатор залишається вимкненим, а система продовжує моніторинг.

```
96    if (alarm) buzzerOn();
97    else      buzzerOff();
98
99    if (alarm && !prevAlarm) {
100      Blynk.logEvent("smoke_alert", "!Виявлено небезпеку!");
101    }
102    prevAlarm = alarm;
103  }
```

Рисунок 2.11 – Увімкнення зумера та надсилання сповіщення

2.3.5 Структура програмного коду

Програмне забезпечення мікроконтролера реалізовано у вигляді єдиного скетча, побудованого за модульним принципом: окремі функції відповідають за чітко визначені задачі, що спрощує розуміння, налагодження та подальше доопрацювання коду. Така структура відповідає типовій організації програм для платформи Arduino, у якій передбачено дві обов'язкові функції — ініціалізації та основного циклу, — доповнені допоміжними функціями для окремих операцій. Розглянемо призначення кожної складової програми.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

На початку програми розміщено оголошення параметрів та глобальних змінних. Тут задаються ідентифікатори платформи Blynk і параметри мережі Wi-Fi, визначаються номери виводів мікроконтролера для підключення датчиків та сигналізатора, а також порогові значення спрацювання — поріг задимлення, абсолютний поріг температури й поріг різкого зростання температури. Окремо оголошуються змінні для зберігання попереднього значення температури, стану тривоги та моменту запуску системи, які використовуються під час роботи основного циклу.

Функція `setup()` виконує початкову ініціалізацію системи й запускається одразу під час увімкнення живлення. У ній налаштовується послідовний порт для введення діагностичної інформації, задається режим роботи виводу звукового сигналізатора, ініціалізується датчик температури та вологості, а також встановлюється з'єднання з мережею Wi-Fi та хмарним сервером Blynk. Тут же фіксується момент запуску системи, потрібний для відліку часу прогріву датчика диму, та запускається програмний таймер, який періодично викликає функцію опитування датчиків.

Функція `loop()` є основним циклом програми й виконується безперервно. Її головне завдання — підтримувати роботу бібліотеки Blynk та програмного таймера. Завдяки використанню таймера опитування датчиків відбувається через рівні проміжки часу незалежно від основного циклу, що дозволяє одночасно підтримувати стабільний зв'язок із сервером і виконувати вимірювання без взаємних затримок.

Функція `readSmoke()` відповідає за зчитування показів датчика диму. Вона виконує кілька послідовних вимірювань аналогового сигналу й обчислює їхнє середнє значення, що зменшує вплив випадкових завад і підвищує стабільність показів. Винесення цієї операції в окрему функцію спрощує основний код і дозволяє за потреби легко змінити спосіб обробки сигналу.

Функції `buzzerOn()` та `buzzerOff()` керують звуковим сигналізатором — відповідно вмикають і вимикають його. Логіку керування винесено в окремі функції, що робить основний код зрозумілішим і дозволяє за потреби змінити тип сигналізатора (активний або пасивний) без втручання в основну логіку програми.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Центральною є функція `sendSensorData()`, яка періодично викликається таймером і реалізує основну логіку роботи системи. У ній виконується зчитування показів усіх датчиків, перевірка коректності отриманих даних, аналіз умов небезпеки за всіма критеріями, керування звуковим сигналізатором, передавання поточних значень до платформи Blynk та формування сповіщення в разі тривоги. Таким чином, ця функція об'єднує в собі весь робочий цикл системи — від отримання даних до реакції на небезпеку.

2.3.6 Заходи для запобігання хибним спрацюванням

Важливою вимогою до системи детектування є не лише надійне виявлення реальної небезпеки, а й стійкість до хибних спрацювань. Часті помилкові тривоги знижують довіру користувача до пристрою й роблять його незручним в експлуатації. Тому під час розроблення програмного забезпечення передбачено низку заходів, що підвищують достовірність спрацювання сигналізації. Розглянемо їх докладніше.

Першим заходом є усереднення показів датчика диму. Аналоговий сигнал газового датчика схильний до випадкових короткочасних коливань, які можуть призводити до помилкового перевищення порогу. Щоб зменшити їхній вплив, замість одного вимірювання мікроконтролер виконує кілька послідовних зчитувань і обчислює їхнє середнє значення. Усереднений сигнал є значно стабільнішим, тому випадковий одиничний викид не спричиняє хибної тривоги.

Другим заходом є блокування тривоги за димом на час прогріву датчика. Безпосередньо після ввімкнення живлення чутливий елемент MQ-2 розігрівається й видає завищені значення, які можуть бути помилково сприйняті як задимлення. Щоб уникнути хибного спрацювання на старті, протягом заданого часу прогріву тривога за димом блокується програмно. При цьому контроль температури залишається активним від самого початку, тому здатність системи виявити стрімке нагрівання зберігається навіть під час прогріву датчика диму.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Третім заходом є обґрунтований вибір порогових значень. Поріг спрацювання за димом визначено за результатами калібрування — він перевищує фоновий рівень із достатнім запасом, що виключає реагування на звичайні коливання складу повітря. Для температурного каналу застосовано не лише абсолютний поріг, а й контроль швидкості зростання температури, що дозволяє відрізнити природну повільну зміну температури в приміщенні від різкого стрибка, характерного для займання.

Четвертим заходом є перевірка коректності даних із датчика температури та вологості. Датчик DHT22 інколи може повертати помилкове значення внаслідок збою зчитування. Якщо програма виявляє таку помилку, поточний цикл вимірювання пропускається, а некоректні дані не використовуються в подальших розрахунках. Це запобігає хибним спрацюванням, спричиненим випадковим збоєм датчика, та помилковому обчисленню швидкості зміни температури.

П'ятим заходом є формування сповіщення лише в момент переходу системи в стан тривоги. Сповіщення користувачу надсилається не безперервно протягом усього часу небезпеки, а одноразово — у момент її виявлення. Такий підхід запобігає надходженню великої кількості однакових повідомлень і робить оповіщення зручним для сприйняття.

Сукупне застосування зазначених заходів — усереднення сигналу, блокування на час прогріву, обґрунтованих порогів, перевірки коректності даних та формування сповіщення за фактом виникнення тривоги — забезпечує достовірне спрацювання системи й мінімізує ймовірність хибних тривог. Завдяки цьому система реагує саме на реальні ознаки небезпеки, що підвищує її практичну придатність.

2.4 Реалізація віддаленого моніторингу на платформі Blynk

2.4.1 Підключення мікроконтролера до Wi-Fi та хмарного сервера Blynk

Використання хмарного сервера як посередника між пристроєм і додатком має суттєву перевагу: користувачу не потрібно перебувати в одній мережі з пристроєм. Дані передаються через сервер Blynk, тому доступ до системи можливий з будь-якої

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		65

точки за наявності інтернету. Це робить рішення зручним для дистанційного контролю приміщення, коли користувач перебуває поза його межами.

Для віддаленого моніторингу мікроконтролер ESP32 підключається до мережі Інтернет через Wi-Fi та встановлює з'єднання з хмарним сервером Blynk. Взаємодію з сервером забезпечує бібліотека BlynkSimpleEsp32, яка реалізує обмін даними між пристроєм і платформою за відповідним протоколом.

Кожному проєкту в платформі Blynk відповідає унікальний набір ідентифікаторів, які пов'язують фізичний пристрій із його представленням у хмарі. До них належать ідентифікатор шаблону (Template ID), назва шаблону (Template Name) та токен авторизації (Auth Token). Ці параметри вказуються на початку програми й використовуються під час встановлення з'єднання. Токен авторизації є унікальним для конкретного пристрою та забезпечує його однозначну ідентифікацію на сервері.

Окрім ідентифікаторів платформи, у програмі задаються параметри бездротової мережі — її назва (SSID) та пароль. На основі цих даних мікроконтролер під час запуску підключається спочатку до точки доступу Wi-Fi, а потім до сервера Blynk. Встановлення з'єднання виконується функцією Blynk.begin(), якій передаються токен авторизації та параметри мережі. Після успішного підключення пристрій відображається у веб-консолі Blynk зі статусом «онлайн» і готовий до обміну даними з додатком.

```
diplom.ino
1  #define BLYNK_TEMPLATE_ID   "ваш ID"
2  #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "назва шаблону"
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN    "ваш токен"
4
5  #include <WiFi.h>
6  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
7
8  char ssid[] = "назва WIFI";
9  char pass[] = "пароль WIFI";
10
```

Рисунок 2.12 – Фрагмент коду підключення до Wi-Fi та сервера Blynk

2.4.2 Налаштування веб-інтерфейсу та мобільного додатка

Перед початком обміну даними в платформі Blynk необхідно налаштувати проєкт, у межах якого визначаються параметри передавання даних та елементи інтерфейсу користувача. Налаштування виконується у веб-консолі Blynk, а перегляд даних і керування доступні як через веб-інтерфейс, так і через мобільний додаток.

Налаштування проєкту виконується в певній послідовності: спочатку створюється шаблон пристрою, далі для кожного контрольованого параметра визначається окремий потік даних, після чого на їхній основі формується інтерфейс користувача з віджетами та налаштовуються події для сповіщень. Розглянемо ці кроки докладніше.

Основою проєкту є шаблон (Template), у якому задаються потоки даних (Datastreams). Налаштування потоків даних виконується у відповідному розділі веб-консолі, де для кожного потоку задаються ім'я, віртуальний пін, тип даних та діапазон значень. Для розробленої системи створено чотири потоки даних:

- Потік рівня задимлення на піні V0 налаштовано як цілочисловий, з діапазоном значень від 0 до 4095, що відповідає роздільній здатності аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера.
- Потік температури на піні V1 задано з дробовим типом даних і діапазоном від мінус 40 до плюс 80 градусів Цельсія відповідно до діапазону вимірювання датчика DHT22.
- Потік вологості на піні V2 також налаштовано як дробовий, з діапазоном від 0 до 100 відсотків.
- Окремо створено потік стану тривоги на піні V3 цілочислового типу, що набуває значення 0 у звичайному стані та 1 у разі спрацювання сигналізації.

Для кожного потоку вказано одиниці вимірювання, що забезпечує коректне відображення показів. Налаштовані потоки даних наведено на рис. 2.13.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

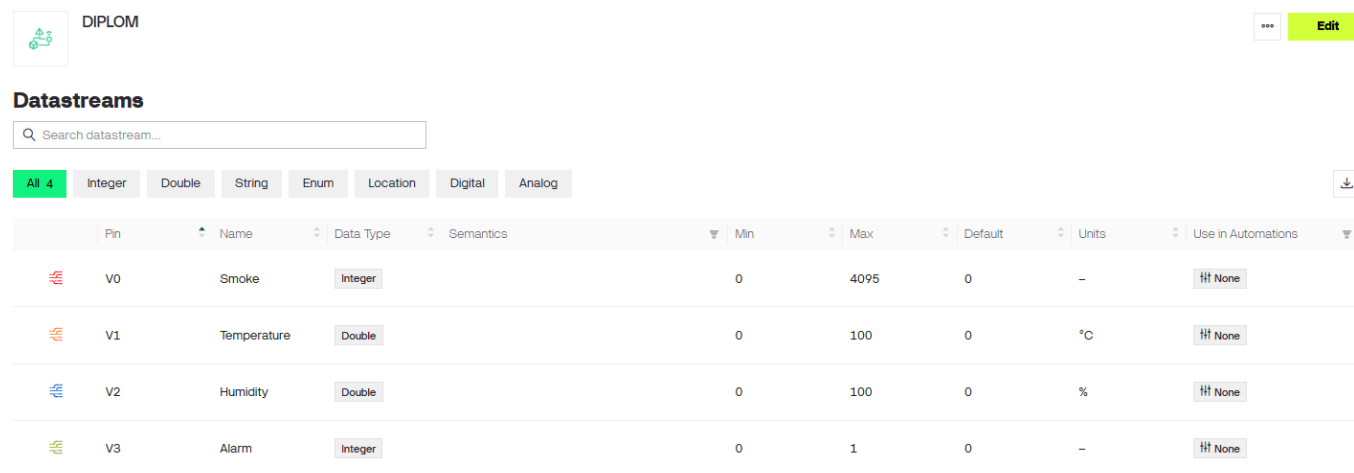
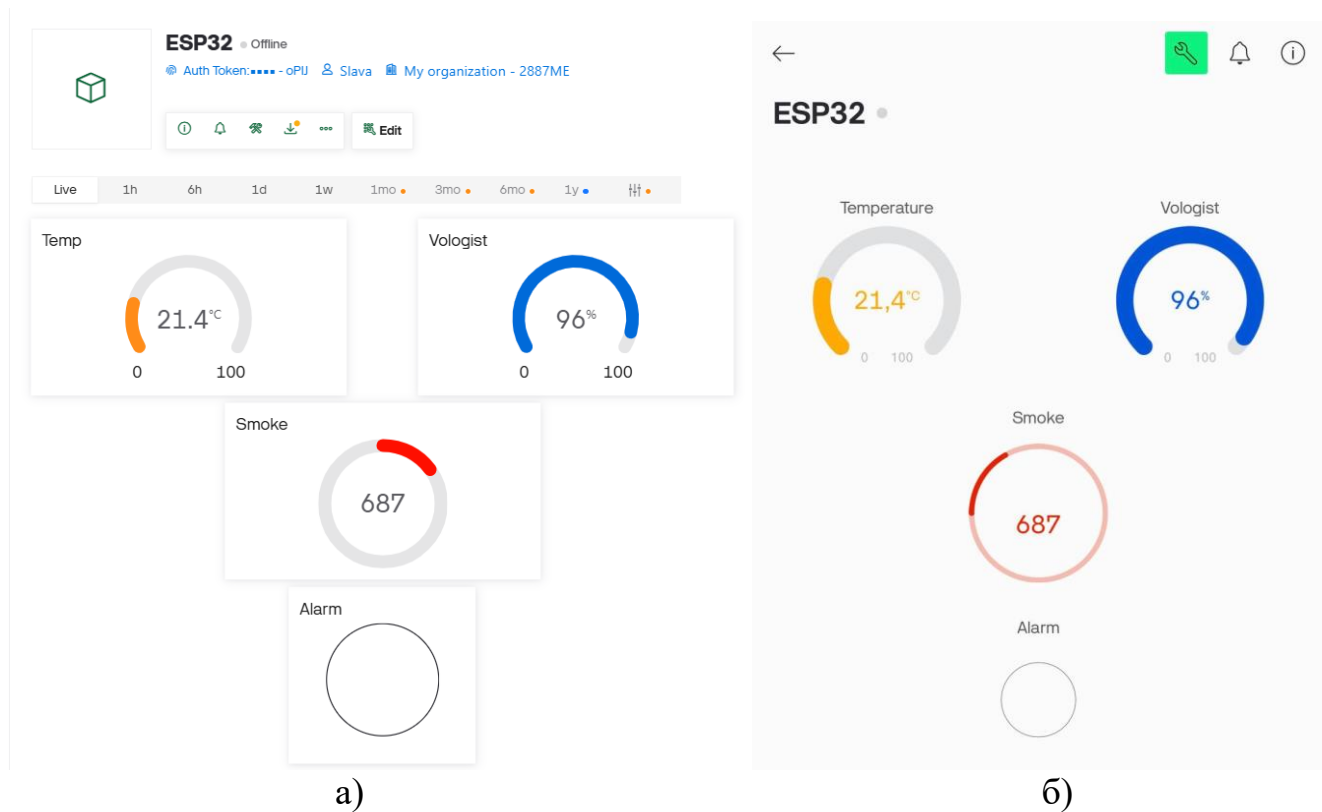


Рисунок 2.13 – Налаштування потоків даних (Datastreams) у Blynk Console

Для відображення показів на дашборді використано віджети у вигляді шкал та індикаторів, кожен з яких прив'язано до відповідного віртуального піна. Рівень задимлення, температура та вологість виводяться за допомогою шкальних віджетів, що наочно показують поточне значення параметра в межах заданого діапазону. Для стану тривоги додано окремий індикатор, який змінює свій вигляд при переході системи в режим тривоги, що дозволяє користувачу швидко оцінити стан системи. Розміри, кольори та підписи віджетів налаштовано так, щоб інформація сприймалася зручно й однозначно. Завдяки прив'язці віджетів до потоків даних будь-яке нове значення, надіслане мікроконтролером, автоматично відображається на дашборді в реальному часі без додаткових дій з боку користувача.

Налаштований проєкт автоматично відображається і в мобільному додатку Blynk, встановленому на смартфоні користувача. Мобільний додаток використовує ті самі потоки даних і повторює набір віджетів, що й веб-інтерфейс, тому користувач бачить однакову інформацію незалежно від пристрою доступу. Перевагою мобільного додатка є можливість дистанційного контролю стану системи з будь-якого місця за наявності підключення до мережі Інтернет, а також отримання сповіщень безпосередньо на смартфон. Вигляд інтерфейсу мобільного додатка наведено на рис. 2.13.



а)
Рисунок 2.14 – Інтерфейс системи в Blynk:
а) веб-версія; б) мобільний додаток

2.4.3 Передавання даних і сповіщення користувача про небезпеку

Передавання даних від мікроконтролера до платформи Blynk відбувається безперервно під час роботи системи. У кожному циклі вимірювання, що повторюється приблизно кожні дві секунди, поточні значення показів датчиків надсилаються на відповідні віртуальні піни сервера: рівень задимлення на пін V0, температура на пін V1 та вологість на пін V2. Для відправлення даних використовується функція передавання значення на віртуальний пін, після чого оновлені покази одразу відображаються у веб-інтерфейсі та мобільному додатку. Завдяки цьому користувач спостерігає актуальний стан повітряного середовища в реальному часі. Фрагмент коду передавання даних наведено на рис. 2.14.

```

91   Blynk.virtualWrite(V0, smokeValue);
92   Blynk.virtualWrite(V1, temperature);
93   Blynk.virtualWrite(V2, humidity);
94   Blynk.virtualWrite(V3, alarm ? 1 : 0);
95
96   if (alarm && !prevAlarm) {
97     Blynk.logEvent("smoke_alert", "!Виявлено небезпеку!");
98   }
99   prevAlarm = alarm;
100 }

```

Рисунок 2.15 – Фрагмент коду передавання даних та формування сповіщення

Окрім безперервного передавання показів, система формує окреме сповіщення у разі виявлення небезпеки. Для цього в платформі Blynk створено подію (Event) з унікальним кодом, якій відповідає повідомлення про тривогу. Коли система переходить у стан тривоги, мікроконтролер викликає цю подію, і платформа надсилає користувачу сповіщення на електронну пошту. Текст повідомлення на електронну пошту інформує про виявлення небезпеки — задимлення або різкого підвищення температури.

Подія налаштовується у відповідному розділі веб-консолі. Для неї задається унікальний код, за яким мікроконтролер звертається до неї з програми, назва, тип події та текст повідомлення, що надсилається користувачу. Для події увімкнено канал сповіщення на електронну пошту, а також передбачено обмеження частоти надсилення, що додатково запобігає повторюваним однаковим повідомленням. Коли мікроконтролер фіксує стан тривоги, він викликає цю подію за її кодом, після чого платформа автоматично формує повідомлення й надсилає його користувачу обраним каналом.

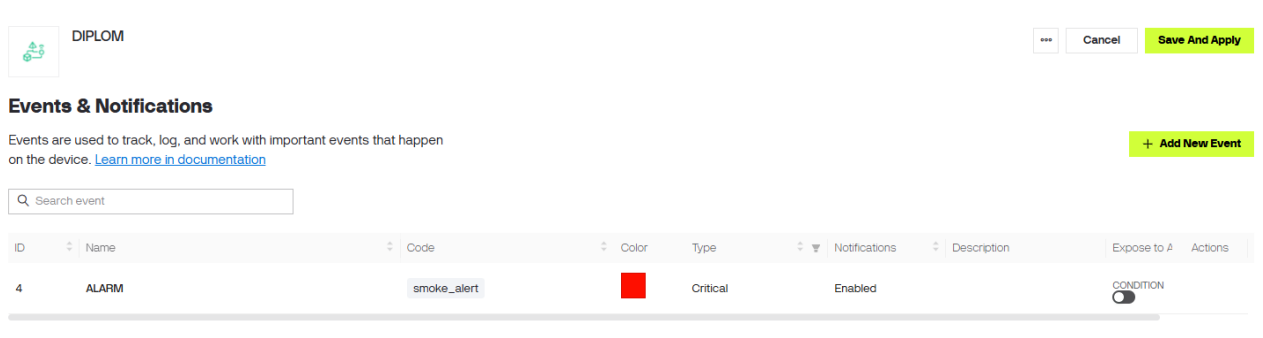


Рисунок 2.16 – Налаштування події сповіщення (Event) у Blynk Console

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Важливою особливістю реалізації є те, що сповіщення формується лише в момент переходу системи зі звичайного стану в стан тривоги, а не безперервно протягом усього часу небезпеки. Такий підхід запобігає надмірній кількості однакових повідомлень і не перевантажує користувача.



Blynk 1 черв.

Кому: me ▾



ALARM

!Виявлено небезпеку!

[Open in the app](#) | [Mute notifications](#)

--

Date: Monday, June 1, 2026, 9:25:11PM Eastern European Summer Time

...

Рисунок 2.17 – Сповіщення про небезпеку, отримане на електронну пошту

2.5 Проектування корпусу пристрою

2.5.1 Вибір середовища проектування

Для розроблення тривимірної моделі корпусу необхідно обрати відповідне програмне середовище автоматизованого проектування (САПР). Сучасні системи такого класу дозволяють не лише створювати тривимірні моделі окремих деталей, а й об'єднувати їх у складальні одиниці, перевіряти взаємне розташування елементів, а також автоматично формувати конструкторську документацію — креслення та специфікації. Від вибору середовища залежить зручність роботи, швидкість внесення змін та якість підсумкової документації.

					ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Серед найпоширеніших програмних продуктів для тривимірного проєктування можна виділити SolidWorks, Autodesk Fusion 360, AutoCAD та FreeCAD. Вони відрізняються набором інструментів, підходом до моделювання, складністю освоєння та сферою застосування. AutoCAD орієнтований переважно на двовимірне креслення й менш зручний для складного об'ємного моделювання. FreeCAD є безкоштовним рішенням з відкритим кодом, проте поступається професійним пакетам за зручністю та стабільністю роботи. Fusion 360 надає широкі можливості, однак потребує постійного підключення до хмарного сервісу. SolidWorks, своєю чергою, є професійним середовищем параметричного твердотілого моделювання з потужними інструментами для роботи зі складальними одиницями та кресленнями. Порівняння основних характеристик розглянутих середовищ проєктування наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняння середовищ автоматизованого проєктування

Характеристика	SolidWorks	Fusion 360	AutoCAD	FreeCAD
Тип моделювання	Параметричне твердотільне	Параметричне твердотільне	Переважно 2D, обмежене 3D	Параметричне твердотільне
Робота зі складальними одиницями	Розвинена	Розвинена	Обмежена	Базова
Формування креслень і специфікацій	Так, автоматизовано	Так	Так	Частково
Складність освоєння	Середня	Середня	Середня	Вище середньої
Вартість	Платне	Умовно безкоштовне	Платне	Безкоштовне

Продовження таблиці 2.4

Потреба в підключенні до інтернету	Немає	Так (хмарне)	Немає	Немає
Поширеність у навчанні та інженерній практиці	Ви-сока	Середня	Ви-сока	Ни-зька

Для проектування корпусу обрано середовище SolidWorks. Цей вибір зумовлений тим, що SolidWorks забезпечує зручні засоби параметричного твердотільного моделювання, дозволяє швидко вносити зміни в геометрію деталей і широко використовується в інженерній практиці та навчальному процесі, що спрощує його освоєння та пошук довідкових матеріалів. Параметричний підхід означає, що всі розміри моделі задаються як параметри, які можна будь-коли змінити, після чого модель автоматично перебудовується. Це особливо зручно під час проектування корпусу, коли розміри посадкових місць уточнюються відповідно до габаритів реальних компонентів.

Важливою перевагою SolidWorks є можливість створення тривимірної моделі кожної деталі окремо з подальшим об'єднанням їх у складальну одиницю. Завдяки цьому корпус проектується як набір окремих частин — зокрема верхньої та нижньої, — які з'єднуються між собою. Такий підхід дозволяє перевірити правильність взаємного розташування деталей, відсутність перетинів і достатність зазорів ще на етапі моделювання, до фактичного виготовлення. Це зменшує ймовірність помилок у розмірах та посадкових місцях і скорочує кількість доопрацювань. Крім того, на основі готової складальної моделі SolidWorks дозволяє автоматично сформувати складальне креслення та специфікацію, що використовуються як конструкторська документація до пристрою.

2.5.2 Розроблення 3D-моделі корпусу

Після вибору середовища проектування виконано розроблення тривимірної моделі корпусу пристрою. Корпус спроектовано як складальну одиницю, що складається з двох основних частин — нижньої та верхньої. Нижня частина слугує основою,

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

у якій розміщуються та закріплюються плата мікроконтролера, датчики й виконавчий елемент, а верхня виконує роль кришки, що захищає внутрішні компоненти зверху. Такий поділ на дві частини відповідає принципу модульності конструкції та забезпечує зручний доступ до внутрішніх елементів для складання, обслуговування або заміни компонентів.

Габаритні розміри корпусу обрано відповідно до вимог технічного завдання, що дозволяє компактно розмістити всі компоненти системи. Під час моделювання враховано реальні розміри плати ESP32, модулів датчиків MQ-2 і DHT22 та звукового сигналізатора, на основі яких визначено внутрішній простір корпусу та розташування посадкових місць. Завдяки параметричному підходу розміри окремих елементів можна було уточнювати в процесі проектування без повного перебудовування моделі.

Нижня частина корпусу є основою пристрою, у якій розміщуються плата мікроконтролера з підключеними до неї компонентами. Вона виконана у вигляді відкритої зверху коробки з бічними стінками, що обмежують переміщення внутрішніх елементів. У боковій стінці передбачено прямокутний отвір для виведення кабелю живлення назовні. Тривимірну модель нижньої частини корпусу в кількох проекціях наведено на рис. 2.17.

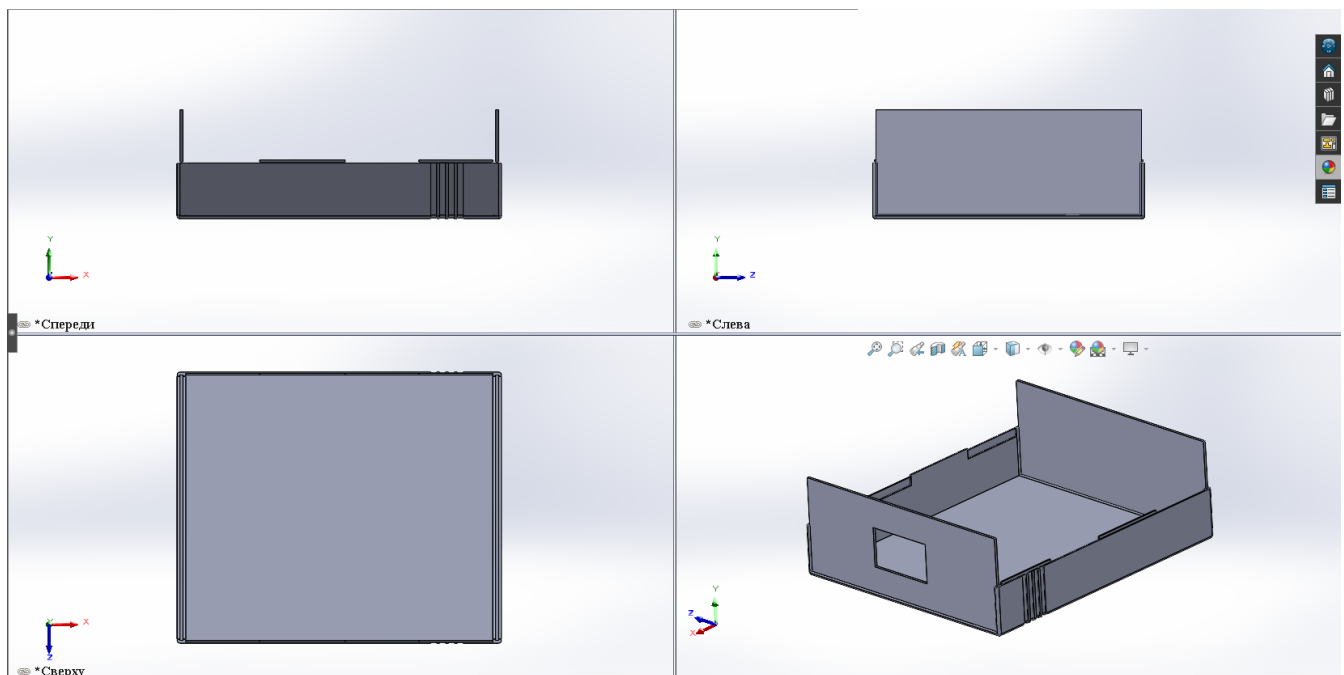


Рисунок 2.18 – Тривимірна модель нижньої частини корпусу

Верхня частина корпусу виконує функцію захисної кришки й водночас забезпечує взаємодію компонентів із зовнішнім середовищем. У ній передбачено три отвори: великий круглий — для датчика диму MQ-2, менший круглий — для виведення звуку зумера та прямокутний — для датчика температури й вологості DHT22. Розташування отворів саме у верхній частині забезпечує безперешкодний доступ повітря до чутливих елементів датчиків і достатню гучність звукового оповіщення. Тривимірну модель верхньої частини корпусу наведено на рис. 2.18.

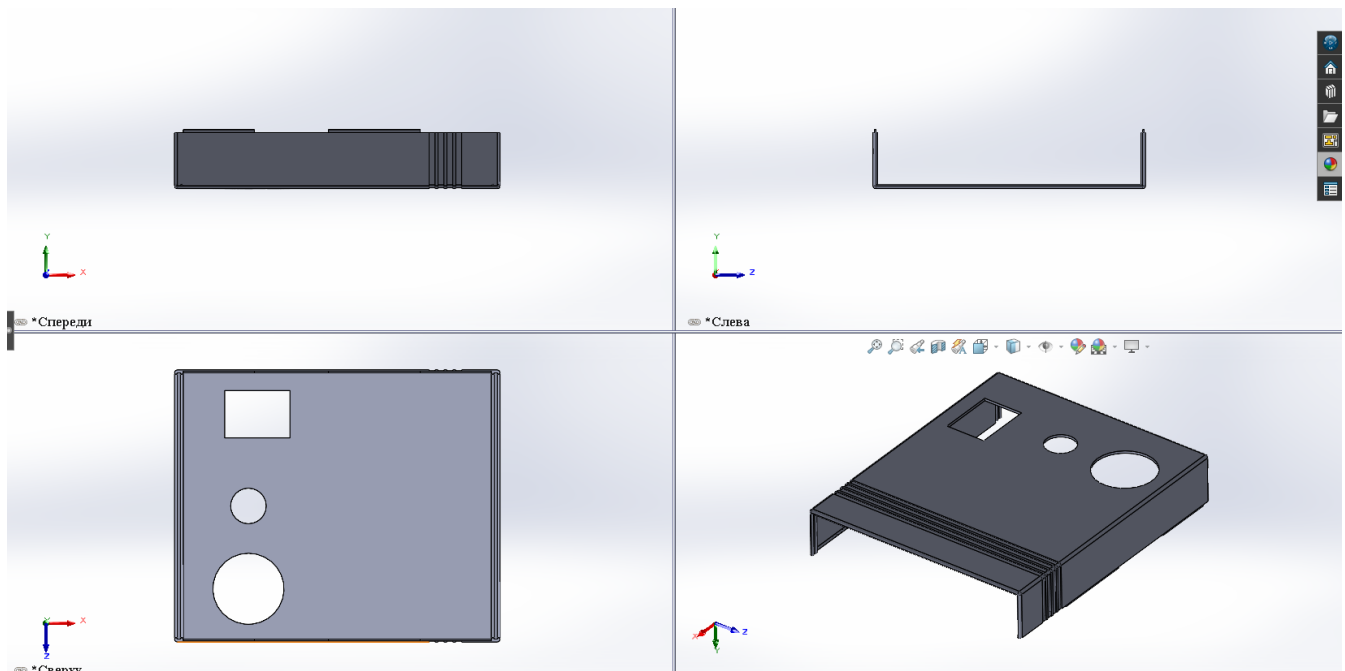


Рисунок 2.19 – Тривимірна модель верхньої частини корпусу

Після розроблення обох частин їх об'єднано в єдину складальну одиницю. Верхня частина з'єднується з нижньою різним способом, утворюючи замкнений корпус. Складання моделі в середовищі SolidWorks дозволило перевірити правильність взаємного розташування деталей, відсутність перетинів та узгодженість розмірів обох частин ще до виготовлення. Загальний вигляд корпусу у зібраному стані наведено на рис. 2.19.

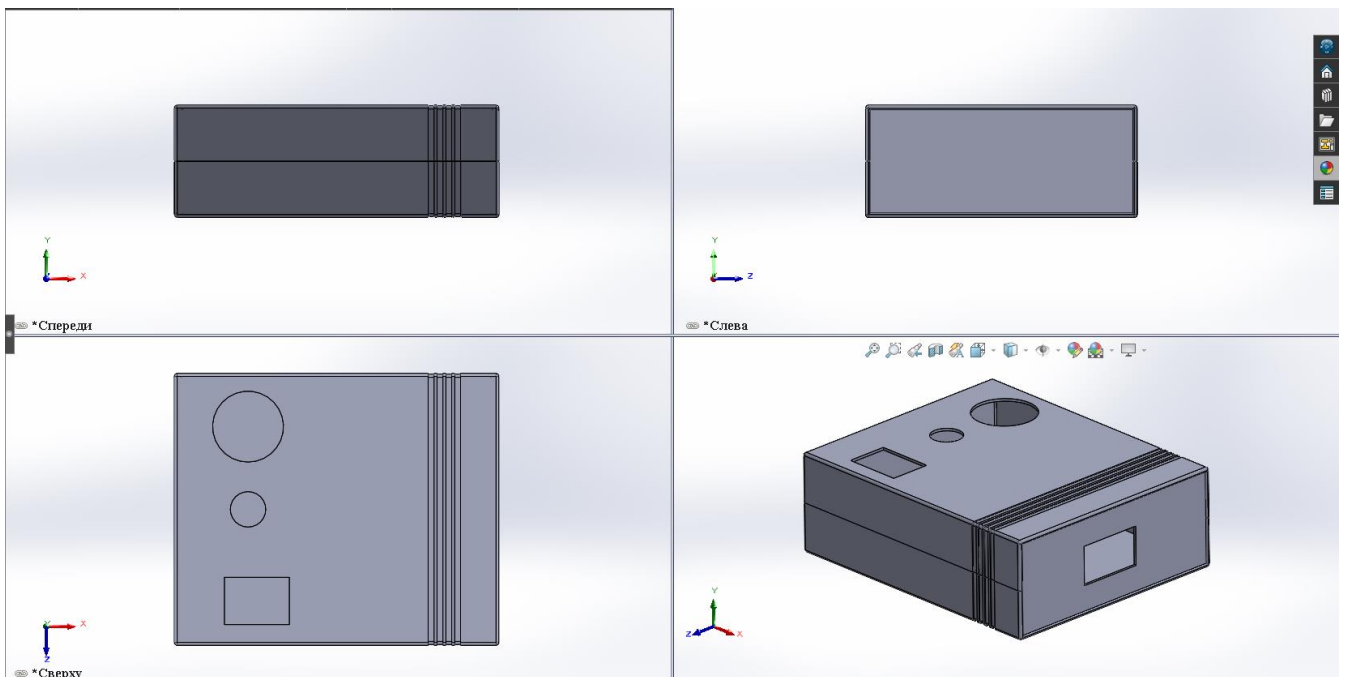


Рисунок 2.20 – Тривимірна модель корпусу у зібраному вигляді

Для перевірки правильності компонування в модель корпусу додано тривимірні моделі основних компонентів системи. На верхній поверхні корпусу розміщено датчик диму MQ-2, звуковий сигналізатор та датчик температури й вологості DHT22, кожен з яких виходить у відповідний отвір кришки. Така модель наочно демонструє остаточний вигляд пристрою та розташування компонентів відносно корпусу. Загальний вигляд корпусу з установленими компонентами наведено на рис. 2.20.

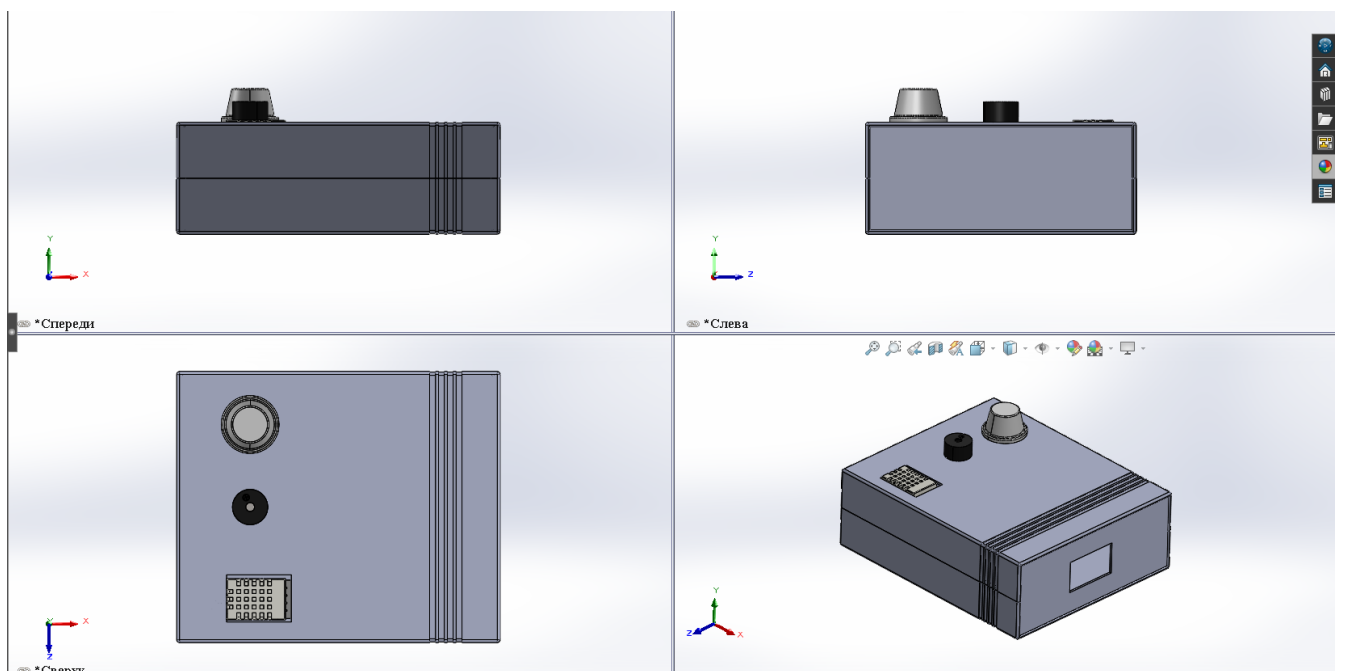


Рисунок 2.21 – Тривимірна модель корпусу з установленими компонентами

Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата

ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ

Арк.

76

2.6 Складання та компонування пристрою

Після виготовлення корпусу та підготовки всіх компонентів виконано остаточне складання пристрою. На цьому етапі компоненти розміщено в корпусі, закріплено й з'єднано між собою відповідно до розробленої електричної схеми. Складання виконувалося з урахуванням принципу модульності, тому всі з'єднання є рознімними, що дозволяє за потреби від'єднати або замінити окремий компонент.

Корпус пристрою виготовлено методом тривимірного друку з полімерного матеріалу PLA (полілактиду). Цей матеріал обрано через його доступність, низьку вартість і поширеність у технології FDM-друку, що робить його зручним для виготовлення корпусів електронних пристроїв. PLA забезпечує достатню для прототипу механічну міцність за невеликої маси, завдяки чому загальна маса пристрою не перевищує встановленого технічним завданням обмеження у 0,5 кг.

Плата мікроконтролера ESP32 розміщується в нижній частині корпусу й утримується в ній стінками, які обмежують її переміщення. Датчик диму MQ-2, датчик температури та вологості DHT22 і звуковий сигналізатор закріплено у відповідних отворах верхньої кришки за допомогою термклею. Такий спосіб кріплення є простим, надійно фіксує компоненти у визначеному положенні й водночас не потребує додаткових кріпильних елементів. Розташування датчиків саме у верхній кришці забезпечує безпосередній контакт чутливих елементів із зовнішнім повітрям та виведення звуку сигналізатора назовні.

З'єднання між компонентами та платою мікроконтролера виконано за допомогою з'єднувальних провідників. Кожен компонент підключено до відповідних виводів мікроконтролера згідно з електричною принциповою схемою, а спільний провід кожного елемента окремим провідником під'єднано до виводу GND плати. Відмова від пайки на користь рознімних з'єднань спрощує складання та подальше обслуговування пристрою, дозволяючи швидко від'єднати будь-який компонент. Провідники прокладено всередині корпусу так, щоб вони не перешкоджали закриванню кришки.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		



Рисунок 2.22 – Загальний вигляд виготовленого пристрою

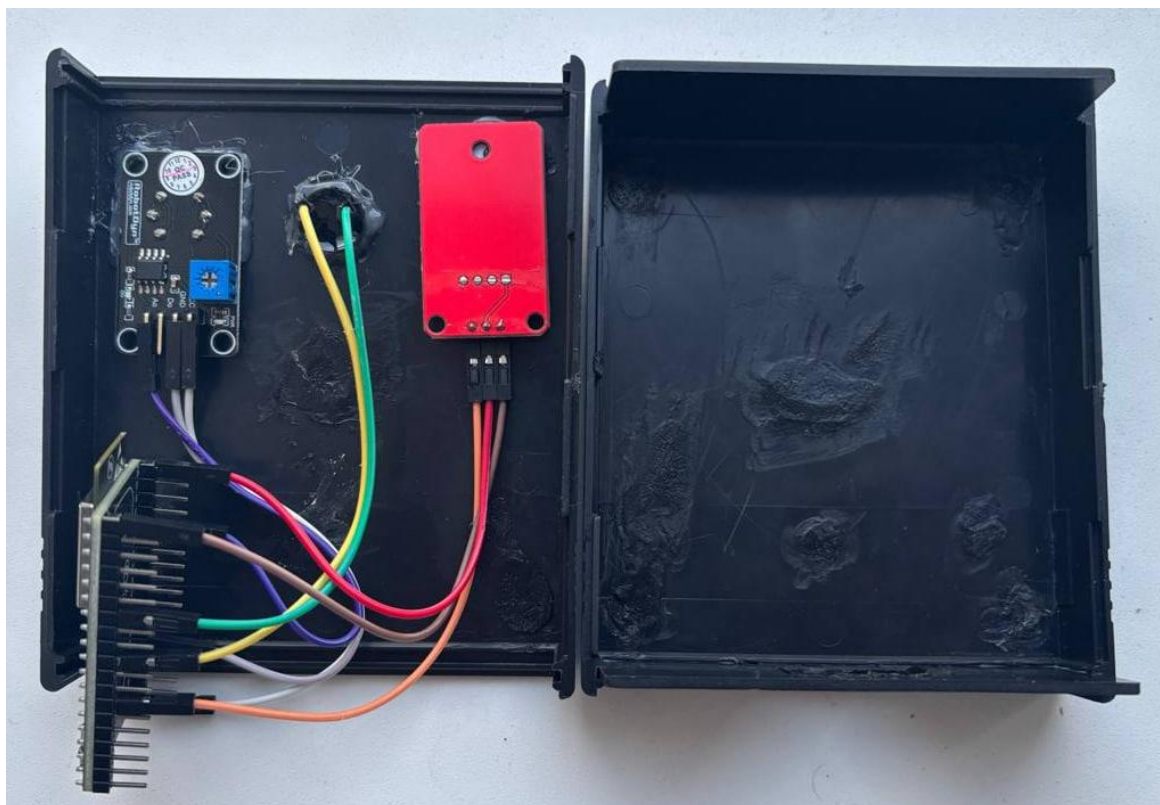


Рисунок 2.23 – Внутрішнє компонування пристрою

Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата

ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ

Арк.

78

2.7 Перевірка працездатності та демонстрація роботи системи

2.7.1 Калібрування датчика диму MQ-2

Перед проведенням випробувань виконано калібрування датчика диму MQ-2, метою якого було визначення порогового значення спрацювання сигналізації. Необхідність калібрування зумовлена тим, що вихідний сигнал газового датчика залежить від типу й екземпляра сенсора, умов навколишнього середовища та напруги живлення, тому універсального порогового значення не існує — його потрібно підбирати для конкретного датчика в реальних умовах експлуатації.

Калібрування виконувалося в кілька етапів. Спершу пристрій вмикався й витримувався протягом часу прогріву датчика, оскільки до завершення прогріву покази MQ-2 є завищеними й нестабільними. Після стабілізації показів за допомогою монітора послідовного порту фіксувалося фонове значення сигналу в чистому повітрі. У штатних кімнатних умовах фонове значення становило приблизно 550 одиниць аналого-цифрового перетворювача.

На другому етапі до датчика підносилися джерела диму, що використовувалися у випробуваннях, і фіксувалися значення сигналу за наявності задимлення. Дим від сірника підвищував покази приблизно до 800 одиниць, а густіший дим від тліючого паперу — приблизно до 1200 одиниць. Отримані значення дозволили оцінити діапазон зміни сигналу датчика при переході від чистого повітря до задимленого середовища.

Таблиця 2.5 – Результати калібрування датчика диму MQ-2

Стан середовища	Значення сигналу MQ-2, од.
Чисте повітря (фон)	≈ 550
Дим від сірника	≈ 800
Дим від тліючого паперу	≈ 1200
Обране порогове значення	750

На основі отриманих даних визначено порогове значення спрацювання. Його обрано так, щоб воно з достатнім запасом перевищувало фоновий рівень і не спрацювало від звичайних коливань сигналу в чистому повітрі, але водночас було нижчим за рівень, що виникає при появі диму. Таким вимогам відповідає значення близько 750 одиниць: воно перевищує фоновий рівень (550) на достатню величину для уникнення хибних спрацювань і впевнено досягається за наявності задимлення. Це значення встановлено в програмі мікроконтролера як поріг спрацювання за димом.

Слід зазначити, що обраний поріг є компромісом між чутливістю та стійкістю до хибних спрацювань. Зниження порогу підвищує чутливість системи, але збільшує ризик хибних тривог від незначних коливань складу повітря, а підвищення — навпаки, знижує чутливість. За потреби застосування пристрою в інших умовах (наприклад, у приміщеннях із підвищеним фоновим рівнем забруднення повітря) калібрування слід повторити та скоригувати поріг відповідно до нових фонових значень.

2.7.2 Результати випробувань

Випробування проводилися за трьома сценаріями відповідно до описаної методики. Перед початком фіксувалися фонові значення показів датчиків у чистому повітрі: рівень задимлення становив близько 550 одиниць, температура — близько 26 °С. У кожному сценарії контролювалися покази відповідного датчика, спрацювання звукового сигналізатора та надходження сповіщення через платформу Blynk. Зведені результати наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.6 – Результати випробувань системи

Сценарій випробування	Фонове значення	Значення при тесті	Спрацювання зумера	Сповіщення Blynk
Дим від сірника	дим 550; темп. 26 °С	дим 800; темп. 29 °С	Так	Так

Продовження таблиці 2.6

Дим від тліючого паперу	дим 550	дим 1200	Так	Так
Підвищення температури (запальничка)	темп. 26 °С	темп. 30 °С	Так	Так

У першому сценарії піднесення запаленого сірника до датчика спричинило одночасне зростання рівня задимлення (з 550 до 800 одиниць) і температури (з 26 до 29 °С). Система перейшла у стан тривоги, увімкнувся звуковий сигналізатор і надійшло сповіщення на платформу Blynk. Спрацювання відбувалося за умови піднесення джерела безпосередньо до датчиків.

У другому сценарії тліючий папір утворював густіший і триваліший дим, унаслідок чого рівень задимлення зріс із 550 до 1200 одиниць. Система впевнено спрацьовувала навіть без близького піднесення джерела до датчика, що свідчить про хорошу чутливість до стійкого задимлення.

У третьому сценарії нагрівання запальничкою поблизу датчика спричиняло поступове зростання температури з 26 до 30 °С. Спрацьовував критерій різкого зростання температури, оскільки приріст перевищував встановлений поріг. Тривога й сповіщення формувалися за умови піднесення джерела тепла безпосередньо до датчика.

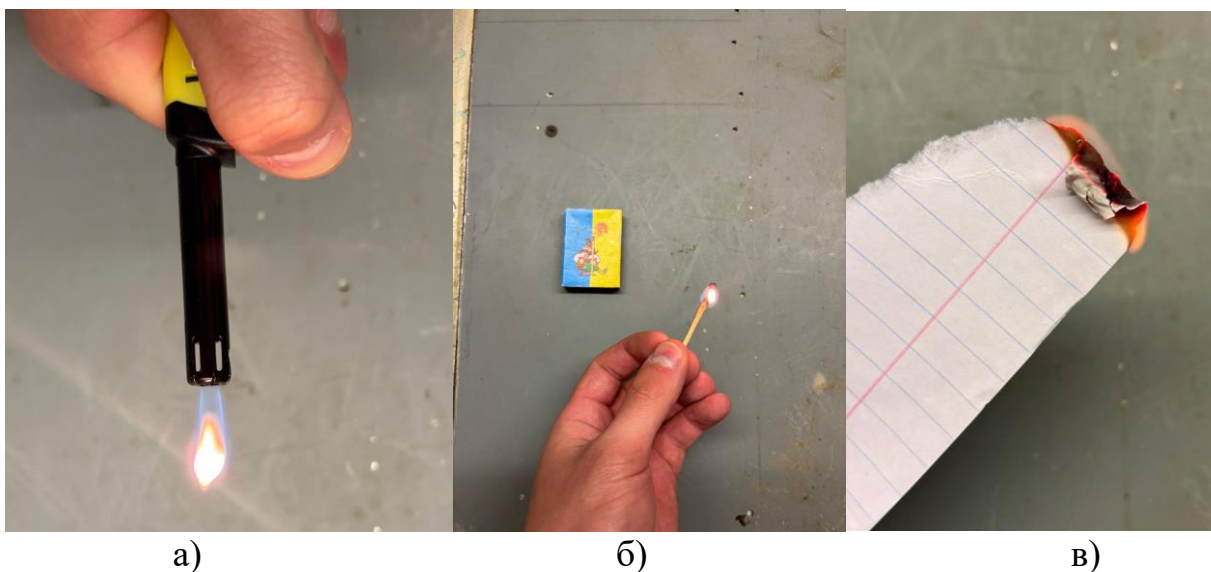


Рисунок 2.24 – Джерела для випробувань:
а) сірник; б) тліючий папір; в) запальничка

Як джерела небезпеки під час випробувань використовувалися сірник, тліючий папір та запальничка, які дозволяють відтворити різні типи задимлення й підвищення температури в контрольованих умовах.

Кожен сценарій випробувань повторювався кілька разів для перевірки стабільності роботи системи. У всіх повтореннях система реагувала однаково — впевнено виявляла небезпеку та формувала оповіщення, що свідчить про повторюваність результатів і стабільність роботи як апаратної, так і програмної частин.

2.7.3 Аналіз отриманих результатів

Результати випробувань підтвердили працездатність розробленої системи за всіма трьома сценаріями: у кожному випадку система виявляла небезпеку, вмикала звукове оповіщення та надсилала сповіщення користувачу через платформу Blynk. Це свідчить про коректну роботу як апаратної частини, так і реалізованої логіки спрацювання.

Порівняння сценаріїв показує різну ефективність каналів виявлення залежно від характеру джерела. Найкращий результат отримано для тліючого паперу: він утворює стійкий густий дим, який давав найбільше зростання показів датчика (до 1200 одиниць) і впевнене спрацювання навіть без близького піднесення джерела. Це відповідає основному призначенню системи — виявленню задимлення на початковій стадії займання, коли тління передує відкритому полум'ю.

Сценарій із сірником продемонстрував спрацювання одночасно за двома ознаками — задимленням і підвищенням температури, що підтверджує доцільність поєднання двох каналів виявлення. Водночас через незначну кількість диму спрацювання потребувало піднесення джерела безпосередньо до датчиків.

Випробування з запальничкою підтвердило роботу температурного каналу: система реагувала на різке зростання температури за відповідним критерієм. Разом з тим спрацювання вимагало близького розташування джерела тепла до датчика, оскільки температура повітря на відстані змінюється повільніше.

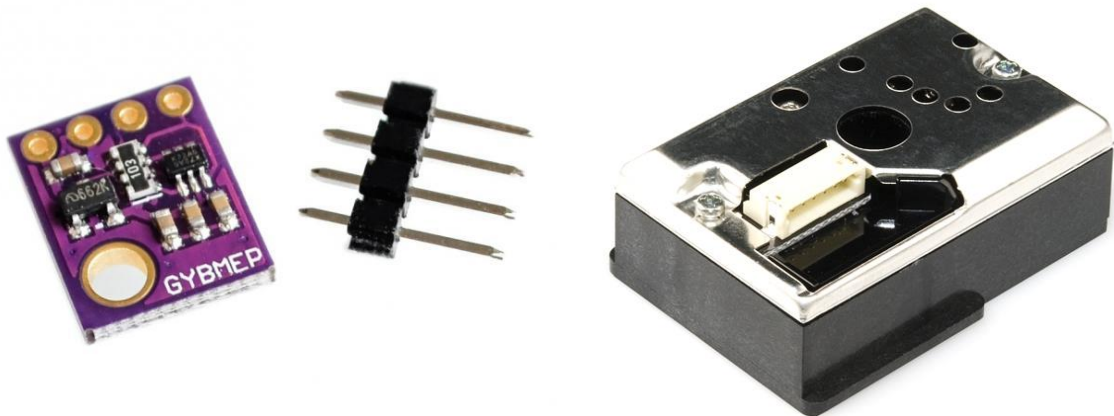
					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

На основі проведених випробувань можна зробити висновок, що система надійно виконує основну функцію — виявлення диму, а температурний канал слугує додатковим засобом раннього попередження. Водночас слід зазначити обмеження, характерне для застосованого датчика MQ-2: ефективна відстань виявлення є невеликою, тому для контролю приміщення пристрій доцільно розміщувати поблизу ймовірного джерела задимлення. Це обмеження є прийнятним для прототипу й може бути зменшене застосуванням чутливіших датчиків у подальших версіях системи.

2.8 Напрями вдосконалення системи

2.8.1 Удосконалення елементної бази

Одним із головних напрямів є заміна окремих компонентів на досконаліші. Застосовані в прототипі модулі обиралися з огляду на доступність, низьку вартість і простоту підключення, проте існують компоненти з кращими характеристиками.



а)

б)

Рисунок 2.25 – Перспективні датчики для вдосконалення системи:

а) VME280[35]; б) оптичний датчик[36]

Зокрема, застосований датчик диму MQ-2 має обмежену відстань виявлення та чутливість до вологості. Його можна замінити на досконаліші газові й димові датчики

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

або застосувати оптичний димовий сенсор, що реагує безпосередньо на частинки диму, а не на гази. Датчик температури й вологості DHT22 також може бути замінений на точніший і швидший цифровий сенсор, наприклад BME280, що забезпечує вищу точність вимірювання та більшу швидкодію.

Таблиця 2.7 – Порівняння застосованих і перспективних компонентів

Параметр	MQ-2 (застосовано)	Оптичний димовий датчик	DHT22 (застосовано)	BME280
Принцип дії	Напівпровідниковий газовий	Оптичний (розсіювання світла)	Ємнісний цифровий	Цифровий MEMS
Що виявляє	Дим, гази, випари	Безпосередньо частинки диму	Температура, вологість	Температура, вологість, тиск
Тип виходу	Аналоговий + цифровий	Цифровий	Цифровий (1-Wire)	Цифровий (I2C / SPI)
Період оновлення даних	~1–2 с	~1 с	~2 с	до десятків разів на секунду
Точність температури	—	—	±1 °C	±0,5 °C
Чутливість до вологості	Висока (впливає на покази)	Низька	—	—
Потреба в прогріві	Так (десятки секунд)	Ні	Ні	Ні
Відстань виявлення диму	Невелика	Більша	—	—
Орієнтовна вартість	Низька	Середня/висока	Низька	Середня

Як видно з табл. 2.7, застосовані в прототипі компоненти забезпечують прийнятні характеристики за низької вартості й простоти підключення, тоді як перспективні аналоги мають вищу точність, швидкодію та не потребують прогріву. Перехід на такі компоненти доцільний у разі подальшого розвитку системи до рівня промислового зразка, коли вимоги до точності та надійності зростають.

Застосування досконаліших компонентів дозволить підвищити чутливість, точність і швидкодію системи, а також збільшити ефективну відстань виявлення небезпеки.

2.8.2 Удосконалення конструкції корпусу

Конструкція корпусу прототипу також має резерв для покращення. У поточній версії плата мікроконтролера фіксується всередині корпусу його стінками без додаткових кріплень. Доцільно передбачити спеціальні кріпильні елементи — стійки під гвинти або фіксатори, що забезпечать жорстке закріплення плати й підвищать механічну надійність.

Окрім того, корпус виготовлено з PLA-пластику, який має невисоку теплостійкість. Для пристрою, що за призначенням може працювати в умовах підвищених температур, доцільно застосувати теплостійкіший матеріал — ABS або PETG. Також можливе доопрацювання форми корпусу для покращення вентиляції та доступу повітря до датчиків, що підвищить швидкість реагування на задимлення.

2.8.3 Адаптація порогів спрацювання

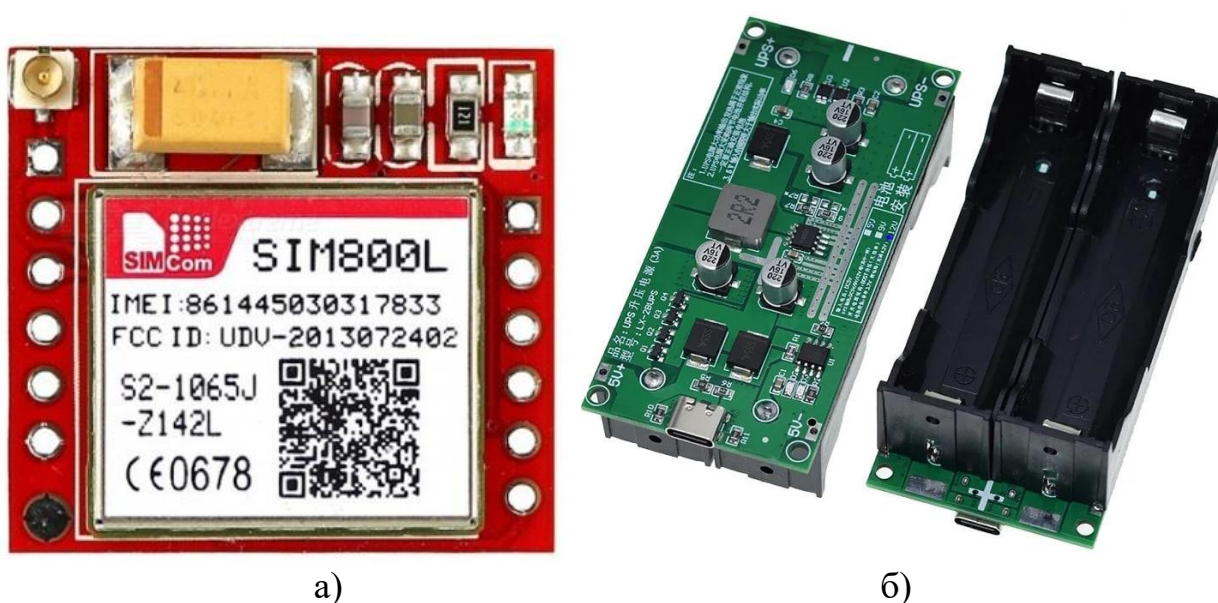
Як показали випробування, температурний канал виявлення може давати хибні спрацювання в приміщеннях із природними коливаннями температури, наприклад на кухні. Тому перспективним напрямом є реалізація гнучкого налаштування порогів спрацювання безпосередньо через мобільний додаток. Це дозволить адаптувати систему під конкретне приміщення — житлове, виробниче чи кухонне — без зміни програмного коду, а також за потреби вмикати або вимикати окремі канали виявлення.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

2.8.4 Розширення каналів оповіщення

Поточна версія системи надсилає сповіщення користувачу через платформу Blynk. Функціональність оповіщення можна суттєво розширити:

- Додати незалежні канали інформування — SMS-повідомлення або дзвінок, які працюють навіть за відсутності підключення до Інтернету;
- Передбачити сповіщення кількох користувачів одночасно;
- Забезпечити автономне живлення від акумулятора, щоб система зберігала працездатність у разі відключення електроенергії, що є критично важливим для пристрою безпеки.



а)
Рисунок 2.26 – Модулі для розширення системи:
а) GSM-модуль[37]; б) акумуляторний блок[38]

2.8.5 Автоматизоване оповіщення аварійних служб

Найбільш перспективним напрямом розвитку системи є реалізація автоматизованого оповіщення аварійних служб. У разі підтвердженого виявлення пожежі система могла б не лише сповіщати користувача, а й автоматично передавати повідомлення до відповідної служби порятунку із зазначенням адреси об'єкта. Завдяки цьому

реагування на надзвичайну ситуацію починалося б одразу після спрацювання датчика, без участі людини, що особливо важливо за відсутності людей у приміщенні або вночі.

Реалізація такої функції передбачає інтеграцію системи з відповідними сервісами оповіщення та передавання даних через мережу Інтернет або мобільний зв'язок. Важливою умовою є запровадження механізму підтвердження тривоги — наприклад, одночасного спрацювання за кількома критеріями або затримки на скасування користувачем, — що запобігає хибним викликам аварійних служб. За належної реалізації цей напрям дозволив би суттєво скоротити час реагування на пожежу та зменшити можливі збитки.



Рисунок 2.27 – Схема автоматизованого оповіщення аварійної служби

2.8.6 Узагальнення напрямів удосконалення

Реалізація розглянутих напрямів — удосконалення елементної бази, конструкції, гнучкого налаштування, розширення оповіщення та автоматизованого виклику аварійних служб — дозволить перетворити розроблений прототип на повноцінний пристрій, придатний до практичного застосування в системах безпеки житлових і виробничих приміщень. При цьому базова архітектура системи лишається незмінною, що свідчить про її масштабованість і потенціал для подальшого розвитку.

Висновки до другого розділу

У цьому розділі реалізовано повний цикл створення автоматизованої системи детектування диму — від проєктування апаратної та програмної частин до складання готового пристрою й перевірки його працездатності.

Спроектовано електричну частину системи: визначено взаємодію компонентів, виконано розрахунок споживаної потужності, за результатами якого пікове споживання склало близько 2,3 Вт, що не перевищує встановленого обмеження, та обрано джерело живлення 5 В із достатнім запасом за струмом. Розроблено схему підключення компонентів до мікроконтролера й електричну принципову схему пристрою. Розроблено програмне забезпечення мікроконтролера, що реалізує логіку спрацювання сигналізації за кількома незалежними критеріями — рівнем задимлення, абсолютною температурою та швидкістю її зростання, об'єднаними за принципом «АБО». Передбачено низку заходів для підвищення достовірності спрацювання: усереднення показів датчика диму, блокування тривоги на час прогріву, обґрунтований вибір порогів, перевірку коректності даних та формування сповіщення в момент виникнення небезпеки.

Реалізовано віддалений моніторинг і сповіщення користувача на платформі Blynk: налаштовано передавання показів датчиків до мобільного додатка й веб-інтерфейсу та формування сповіщень про небезпеку. Спроектовано й виготовлено корпус пристрою методом тривимірного друку, після чого виконано складання системи.

Працездатність системи підтверджено експериментально за трьома сценаріями — виявленням диму від сірника, диму від тліючого паперу та підвищення температури від відкритого джерела тепла. У всіх випадках система виявляла небезпеку, вмикала звукове оповіщення та надсилала сповіщення користувачу. Найкращі результати отримано для стійкого задимлення, що відповідає основному призначенню системи. Визначено обмеження пристрою та напрями його подальшого вдосконалення.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розроблено автоматизовану систему детектування диму на базі мікроконтролера ESP32 з дистанційним моніторингом та оповіщенням користувача. Поставлену мету досягнуто: створено робочий прототип, що автоматично виявляє задимлення й небезпечне підвищення температури, подає звукове оповіщення та передає сповіщення через мережу Інтернет. Обґрунтовано вибір елементної бази: датчика MQ-2, мікроконтролера ESP32-WROOM-32D, датчика DHT22, звукового сигналізатора й платформи Blynk.

Спроектовано апаратну частину з розрахунком живлення (пікове споживання близько 2,3 Вт) та електричною принциповою схемою, розроблено програмне забезпечення з логікою спрацювання за трьома критеріями — рівнем задимлення, абсолютною температурою та швидкістю її зростання. Реалізовано віддалений моніторинг на платформі Blynk, виготовлено корпус методом тривимірного друку та виконано складання пристрою.

Працездатність системи підтверджено експериментально за трьома сценаріями — димом від сірника, димом від тліючого паперу та підвищенням температури від відкритого джерела тепла; у всіх випадках система виявляла небезпеку й оповіщала користувача. Найкращі результати отримано для стійкого задимлення, що відповідає основному призначенню системи — виявленню пожежі на ранній стадії тління.

Практичну цінність становить компактний і доступний пристрій для контролю пожежної безпеки приміщень з дистанційним оповіщенням; визначено й напрями його подальшого вдосконалення. Таким чином, поставлену задачу розв'язано, а обрані технічні рішення підтверджено практично.

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Датчики диму: принцип дії та технології. URL: <https://www.tme.eu/ua/news/library-articles/page/69922/datchiki-dimu-printsip-diyi-ta-tekhnologiyi-shcho-vikoristovuiutsia-v-sistemakh-signalizatsiyi/> (дата звернення: 02.05.2026).
2. Пожежні датчики: види та застосування. URL: <https://euroservis.com.ua/ua/pozharnyy-datchik-dymavidy-osobennosti-i-naznachenie/> (дата звернення: 02.05.2026).
3. Smoke detector. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Smoke_detector (дата звернення: 02.05.2026).
4. Розумний дім. Wikipedia. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Розумний_будинок (дата звернення: 02.05.2026).
5. How Do Smoke Detectors Work? National Institute of Standards and Technology (NIST). URL <https://www.nist.gov/how-do-you-measure-it/how-do-smoke-detectors-work> (дата звернення: 02.05.2026).
6. Internet of Things (IoT). Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things (дата звернення: 02.05.2026).
7. IoT Based Fire and Smoke Detection System with Alert Notifications Using ESP32. DIY Projects Lab. URL: <https://diyprojectslabs.com/iot-fire-smoke-detection-esp32/> (дата звернення: 02.05.2026).
8. Як працює оптичний датчик диму. URL: https://remontvdome.com.ua/yak-pratsyue-optychnyy-datchyk-dymu_lrus-p5-i9948.html (дата звернення: 02.05.2026).
9. Americium in Ionization Smoke Detectors. EPA. URL: <https://www.epa.gov/radtown/americium-ionization-smoke-detectors> (дата звернення: 07.05.2026).
10. Backgrounder on Smoke Detectors. URL: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/smoke-detectors> (дата звернення: 07.05.2026).

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

11. Aspirating Smoke & Gas Detection. URL:
<https://xtralis.com/subpage/2005/aspirating-smoke-gas-detection> (дата звернення: 07.05.2026).
12. Aspirating smoke detector (ASD) for early and reliable fire detection. URL:
<https://www.wagnergroup.com/in/en/fire-protection/systems/titanus> (дата звернення: 07.05.2026).
13. Aspirating smoke detector. Wikipedia. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Aspirating_smoke_detector (дата звернення: 07.05.2026).
14. Лінійні димові пожежні сповіщувачі виробництва ПП «АРТОН». URL:
https://ua.arton.com.ua/files/redactor/komponenty_spz_%20612.pdf (дата звернення: 07.05.2026).
15. Як працює датчик диму. Охорона24. URL:
https://ohorona24.com.ua/article_015.html (дата звернення: 07.05.2026).
16. BEAM1224, BEAM1224S Beam Smoke Detector Installation Manual. System Sensor. URL:
https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/hbt/en-us/documents/manuals-and-guides/user-manuals/BEAM_Detector_Manual_I56-2294.pdf (дата звернення: 07.05.2026).
17. How MQ2 Gas/Smoke Sensor Works? & Interface it with Arduino. Last Minute Engineers. URL:
<https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-sensor-arduino-tutorial/> (дата звернення: 07.05.2026).
18. Flammable Gas Sensor MQ-2 Manual. Winsen. URL:
<https://www.winsensor.com/d/files/manual/mq-2.pdf> (дата звернення: 07.05.2026).
19. MQ2 Gas Sensor Pinout, Features, Equivalents & Datasheet. Components101. URL:
<https://components101.com/sensors/mq2-gas-sensor> (дата звернення: 07.05.2026).
20. Мікроконтролер ESP32. IT Master. URL:
<https://itmaster.biz.ua/directory/microcontrollers/esp32.html> (дата звернення: 07.05.2026).

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

10.05.2026).

21.Посібник з мікроконтролерів ESP32. ARIAT Technology. URL:
<https://ua.ariat-tech.com/blog/ESP32-Microcontroller-Guide.html> (дата звер-
нення: 10.05.2026).

22.Microprocessor. URL:
<https://www.britannica.com/technology/microprocessor> (дата звернення:
10.05.2026).

23.Tensilica 32-Bit Risc CPU Xtensa LX106. URL:
[https://ms.codes/blogs/computer-hardware/tensilica-32-bit-risc-cpu-xtensa-
lx106?srsltid=AfmBOopgr7etTLd-
FqKNJRrN5AaJM1GwPWJK4Bxhv6BP2USXIszkjNv](https://ms.codes/blogs/computer-hardware/tensilica-32-bit-risc-cpu-xtensa-lx106?srsltid=AfmBOopgr7etTLd-FqKNJRrN5AaJM1GwPWJK4Bxhv6BP2USXIszkjNv) (дата звернення:
10.05.2026).

24.What is a Microcontroller? Infineon Technologies. URL:
<https://www.infineon.com/technology/what-is-microcontroller> (дата звер-
нення: 10.05.2026).

25.Плата розробника ESP32-WROOM-32D Wi-Fi+BT+BLE. URL:
[https://arduino.ua/ru/prod4919-plata-razrabotchika-esp32-wroom-32d-wi-fi-
bt-ble-ot-
keyestudio?srsltid=AfmBOopSr14Qvh6jniFxrUmKLpZ6o1ckBYaQpDu7Lch
RZnAVR6MK2i_Y](https://arduino.ua/ru/prod4919-plata-razrabotchika-esp32-wroom-32d-wi-fi-bt-ble-ot-keyestudio?srsltid=AfmBOopSr14Qvh6jniFxrUmKLpZ6o1ckBYaQpDu7LchRZnAVR6MK2i_Y) (дата звернення: 10.05.2026).

26.Плата розробки ESP32-WROOM-32U URL:
<https://radiostore.com.ua/ua/p1344693083-plata-razrabotki-esp32.html> (дата
звернення: 10.05.2026).

27.НОВІТНІ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В
ОСВІТІ (ІСТЕ-2015) URL:
https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/6789/4548/1/Збірник_ІСТЕ_2015.pdf
(дата звернення: 10.05.2026).

28.Blynk architecture: Things-Cloud–Apps. URL:
<https://www.researchgate.net/figure/Blynk-architecture-Things-Cloud->

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

[Apps_fig4_364534592](#) (дата звернення: 10.05.2026).

29. Difference between Active Buzzer & Passive Buzzer and How to use it with Arduino. CircuitDigest. URL: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/understanding-difference-between-active-and-passive-buzzer-with-arduino> (дата звернення: 10.05.2026).

30. Piezo Buzzer Arduino Tutorial. ArduinoGetStarted. URL: <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-piezo-buzzer> (дата звернення: 10.05.2026).

31. DHT22 Sensor Tutorial. Random Nerd Tutorials. URL: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-dht11dht22-humidity-and-temperature-sensor-with-arduino/> (дата звернення: 10.05.2026).

32. DHT22 Datasheet. WaveShare. URL: https://www.waveshare.com/wiki/DHT22_Temperature-Humidity_Sensor (дата звернення: 10.05.2026).

33. Light-emitting diode. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode (дата звернення: 10.05.2026).

34. LED Basics. SparkFun. URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/light-emitting-diodes-leds/all> (дата звернення: 10.05.2026).

35. Барометр BME280 5В I2C. URL: https://arduino.ua/prod1930-bme280-5v-i2c-datchik-temperatyri-vlajnosti-davleniya?srsltid=AfmBOoontffMIvJTW3f28ll9L_lfrOPvBFmVnmENIFkQVNILIBg43daB (дата звернення: 02.06.2026).

36. Оптичний датчик пилу і диму GP2Y1010AU0F URL: <https://arduino.ua/prod1364-opticheskii-datchik-pili-i-dima-gp2y1010au0f-ot-sparkfun?srsltid=AfmBOoq9t2CN-3QdE-stHJT5ZhI4MCf01042TJiSfQvNqh6HZzwLcbUC> (дата звернення: 02.06.2026).

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

37. GSM модуль на SIM800L URL: <https://arduino.ua/prod1665-gsm-modul-na-sim800l?srsltid=AfmBOopiqQxVwTf-FnNmh53jPhYYV-uueuWVeSguQJSPmZ7lXfKv7i2B> (дата звернення: 02.06.2026).

38. Модуль резервного живлення/зарядки 2x18650 Type-C 12В/15W URL: https://arduino.ua/prod7004-modul-rezervnogo-jivlenniyazaryadki-2x18650-type-c-12v15w?srsltid=AfmBOoomlA_zKS3OrFivx6-XD80x5EI3WRTTJ7yf6bfSyFxf1bJXH_Fw (дата звернення: 02.06.2026).

					<i>ДПБ.ПГ-21.04.1730.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						94
Зм.	Арк.	№ Докум	Підп.	Дата		

Код керування мікроконтролера

```
// Налаштування платформи Blynk
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "ВАШ_ID"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "DIPLOM"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "ВАШ_TOKEN"
#define BLYNK_PRINT Serial

// Підключення необхідних бібліотек
#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <DHT.h>

// Дані для підключення до мережі Wi-Fi
char ssid[] = "ЛОГІН WIFI";
char pass[] = "ПАРОЛЬ WIFI";

// Виводи мікроконтролера для датчиків та зумера
#define PIN_MQ2 34
#define PIN_DHT 4
#define PIN_BUZZER 5

// Ініціалізація датчика температури та вологості DHT22
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(PIN_DHT, DHTTYPE);

// Порогові значення спрацювання сигналізації
int smokeThreshold = 750; // поріг рівня диму
float tempAbsThreshold = 55.0; // поріг абсолютної температури
float tempRiseThreshold = 1.5; // поріг різкого зростання температури

// Час прогріву датчика диму MQ-2
const unsigned long warmupMs = 20000;

// Тип зумера (активний)
#define BUZZER_ACTIVE

// Таймер для періодичного опитування датчиків
BlynkTimer timer;

// Службові змінні роботи системи
unsigned long startTime = 0; // момент запуску (для відліку прогріву)
bool prevAlarm = false; // попередній стан тривоги
float lastTemp = 0; // попереднє значення температури
```



```

bool firstRead = true;    // ознака першого вимірювання

// Увімкнення зумера (залежно від типу)
void buzzerOn() {
#ifdef BUZZER_ACTIVE
    digitalWrite(PIN_BUZZER, HIGH);
#endif
#ifdef BUZZER_PASSIVE
    tone(PIN_BUZZER, 2000);
#endif
}

// Вимкнення зумера
void buzzerOff() {
#ifdef BUZZER_ACTIVE
    digitalWrite(PIN_BUZZER, LOW);
#endif
#ifdef BUZZER_PASSIVE
    noTone(PIN_BUZZER);
#endif
}

// Усереднене зчитування рівня диму з датчика MQ-2
int readSmoke() {
    long sum = 0;
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        sum += analogRead(PIN_MQ2);
        delay(2);
    }
    return sum / 10;
}

// Зчитування датчиків, перевірка умов тривоги та передавання даних
void sendSensorData() {
    // Зчитування показів датчиків
    float humidity = dht.readHumidity();
    float temperature = dht.readTemperature();
    int smokeValue = readSmoke();

    // Перевірка коректності даних з DHT22 (пропуск циклу при помилці)
    if (isnan(humidity) || isnan(temperature)) {
        return;
    }

    // Перевірка, чи триває прогрів датчика диму

```

```

bool warmingUp = (millis() - startTime < warmupMs);

// Виявлення різкого зростання температури
bool tempRiseAlarm = false;
if (!firstRead && (temperature - lastTemp >= tempRiseThreshold)) {
    tempRiseAlarm = true;
}
lastTemp = temperature;
firstRead = false;

// Формування критеріїв тривоги
bool smokeAlarm = (!warmingUp) && (smokeValue > smokeThreshold);
bool tempAbsAlarm = (temperature > tempAbsThreshold);
bool alarm = smokeAlarm || tempAbsAlarm || tempRiseAlarm;

// Виведення показів у монітор послідовного порту
Serial.print("Дим: "); Serial.print(smokeValue);
Serial.print(" | Темп: "); Serial.print(temperature);
Serial.print(" C | Волог: "); Serial.print(humidity);
Serial.print(" % | Прогрів: "); Serial.print(warmingUp);
Serial.print(" | Тривога: "); Serial.println(alarm);

// Передавання даних на віртуальні піни Blynk
Blynk.virtualWrite(V0, smokeValue);
Blynk.virtualWrite(V1, temperature);
Blynk.virtualWrite(V2, humidity);
Blynk.virtualWrite(V3, alarm ? 1 : 0);

// Керування зумером
if (alarm) buzzerOn();
else    buzzerOff();

// Надсилання сповіщення лише в момент появи тривоги
if (alarm && !prevAlarm) {
    Blynk.logEvent("smoke_alert", "!Виявлено небезпеку!");
}
prevAlarm = alarm;
}

// Початкова ініціалізація системи
void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Налаштування виводу зумера
    pinMode(PIN_BUZZER, OUTPUT);

```

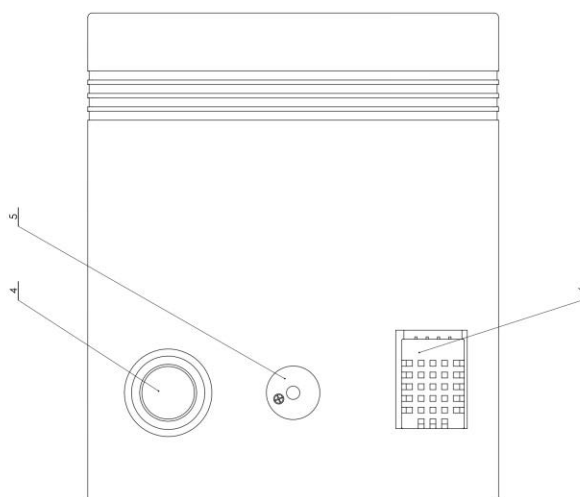
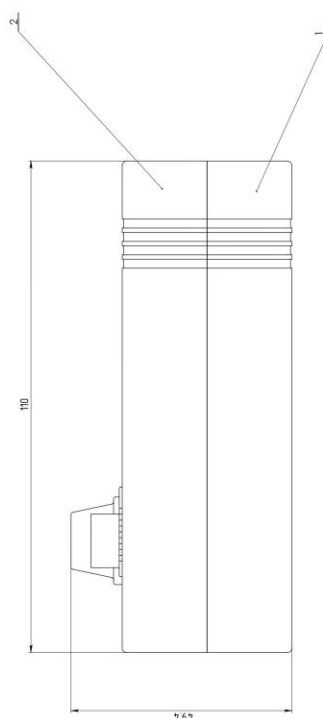
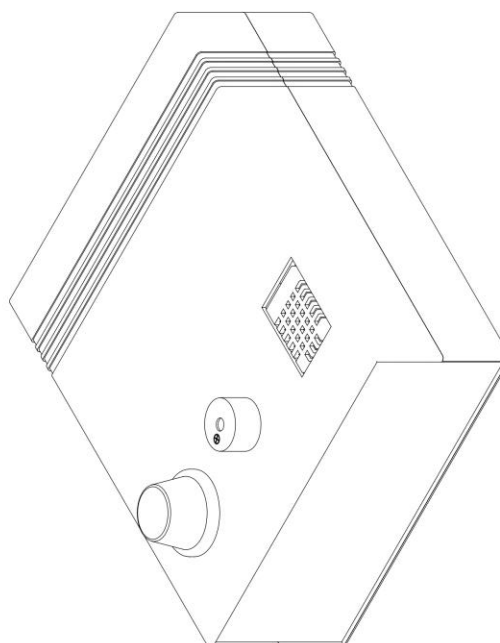
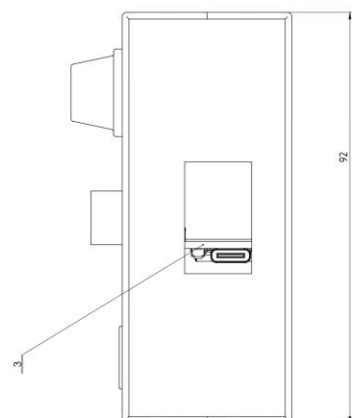
```
buzzerOff();

// Запуск датчика DHT22
dht.begin();

// Підключення до Wi-Fi та сервера Blynk
Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);

// Фіксація моменту запуску та запуск таймера опитування
startTime = millis();
timer.setInterval(2000L, sendSensorData);
}

// Основний цикл програми
void loop() {
  Blynk.run(); // підтримка зв'язку з сервером Blynk
  timer.run(); // виконання таймера опитування датчиків
}
```

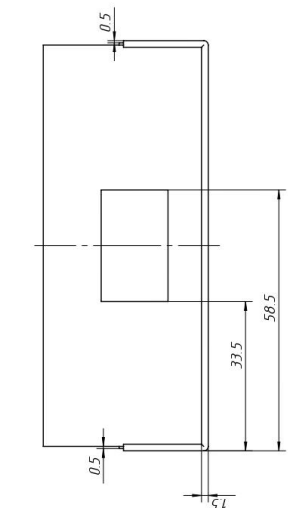
[illegible]

ДПБ.ПФ-21.04.1730.01.003А

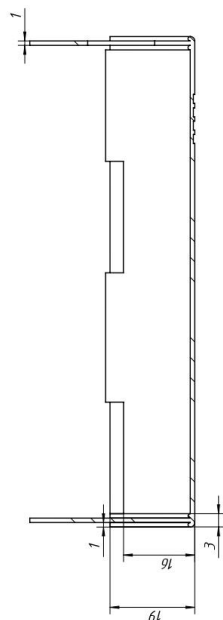
ind. n. opus	libri n. opus	libri n. opus	libri n. opus	libri n. opus
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------

2007

11/10/2019



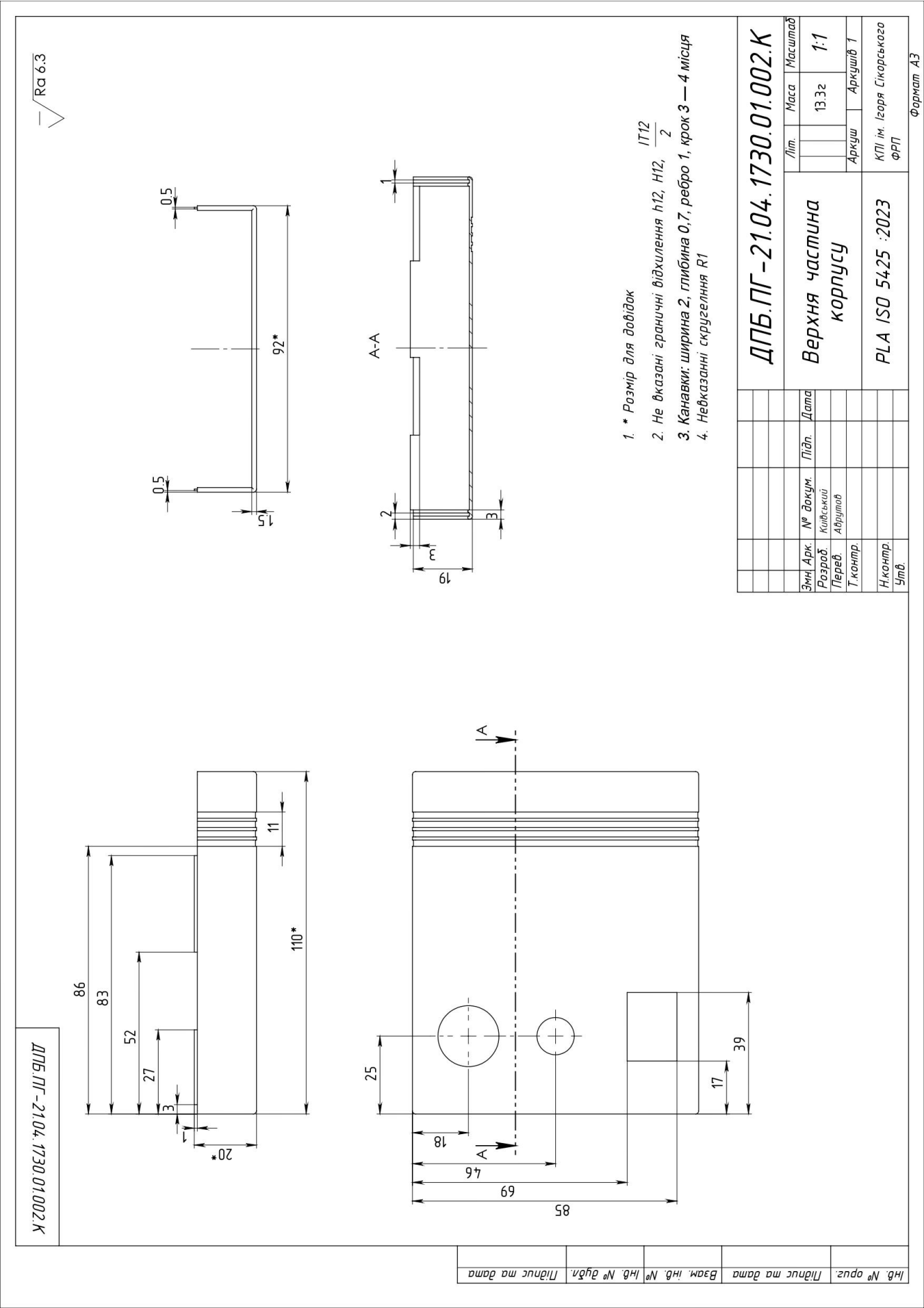
A-A



1. * Розмір для довідок
2. Не вказані граничні відхилення $h12$, $H12$,
3. Канавки: ширина 0,7, глибина 0,7, ребро 1, крок 3 — 4 місця
4. Невказанні скруглення $R1$

[illegible]

Формат А3



1. * Розмір для довідок

2. Не вказані граничні відхилення h12, H12, $\frac{IT12}{2}$

3. Канавки: ширина 2, глибина 0,7, ребро 1, крок 3 — 4 місця

4. Невказанні скруглення R1

ДПБ.ПГ-21.04.1730.01.002.К

Верхня частина корпусу

PLA ISO 5425 :2023

Літ.

Маса

Масштаб

13.32

1:1

Аркуш

Аркушів

1

КПІ ім. Ізгоя Сікарського ФРП

Формат А3

Інв. № ориз.

Підпис та дата

Взам. інв. №

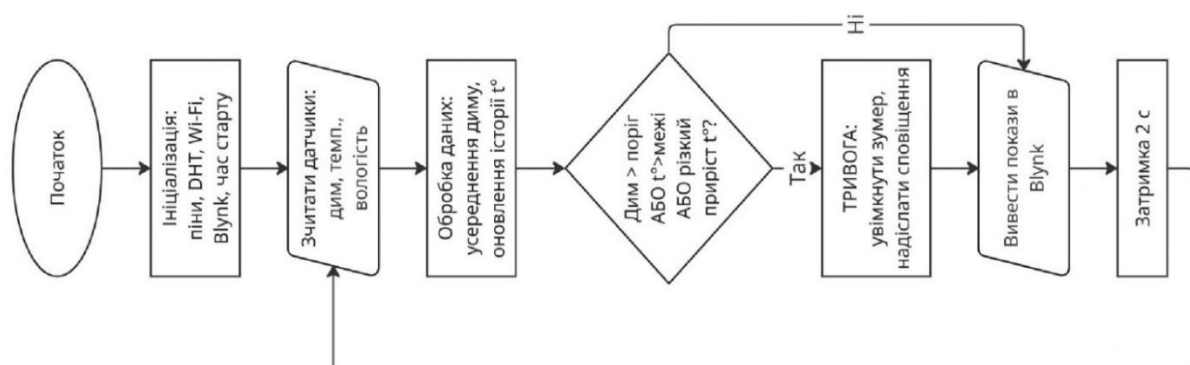
Інв. № дубл.

Інв. інв. №

Формат А4



[illegible]

[illegible]