

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Долід Ростислав Віталійович

УДК 007

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

*Розробка мікроконтролерної системи виявлення та сигналізації
витоку газу в приміщенні на платформі Atmega 328PU*

Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач освітнього ступеня Долід Р.В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Лазорів А.М., асистент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

д.т.н., професор /С. І. Мельничук/
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерних систем і мереж

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою КСМ

С.І. Мельничук

« » травня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Доліду Ростиславу Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка мікроконтролерної системи виявлення та сигналізації витоку газу в приміщенні на платформі Atmega 328PU
керівник проекту (роботи) Лазорів Алла Миколаївна, асистент.

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Методичні вказівки, технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Теоретичні основи виявлення витоку газу та аналіз існуючих рішень. 2. Проектування комп'ютеризованої системи виявлення витоку газу 3. Практична реалізація системи.

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

6. Консультанти розділів роботи

7. Дата видачі завдання 29 січня 2025 р.

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Збір інформації, вивчення літератури та пошук додаткової інформації</i>	<i>Лютий 2025р</i>	
2	<i>Теоретичні основи виявлення витоку газу та аналіз існуючих рішень</i>	<i>Березень 2025р</i>	
3	<i>Проектування комп'ютеризованої системи виявлення витоку газу</i>	<i>Квітень 2025р</i>	
4	<i>Практична реалізація системи</i>	<i>Травень 2025р</i>	
5	<i>Оформлення додатків, дипломної роботи</i>	<i>Червень 2025р</i>	

Студент _____ Долід Р.В.

Керівник роботи _____ Лазорів А.М.

АНОТАЦІЯ

У даній бакалаврській роботі розроблено сучасну комп'ютеризовану систему виявлення та запобігання витoku газу, яка поєднує інтелектуальні апаратно-програмні рішення з високим рівнем функціональної адаптивності та зручності у використанні. Система базується на мікроконтролері Arduino Nano у поєднанні з Wi-Fi модулем ESP-01S і сенсором MQ-9, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг концентрації газу в повітрі у режимі реального часу.

Особливу роль у реалізації проєкту відіграла інтеграція з мобільною платформою Blynk, яка забезпечила зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для моніторингу параметрів системи та дистанційного керування її роботою.

Результати експериментального тестування підтвердили точність, надійність і стабільність функціонування системи в умовах, наближених до реальних. Система продемонструвала здатність своєчасно виявляти витoki газу, коректно генерувати сповіщення та реалізовувати автоматичне реагування на загрози.

Ключові слова: комп'ютерна система, датчик, виток газу, дистанційний моніторинг, Інтернет-речей.

ABSTRACT

In this bachelor's thesis, a modern computerized gas leak detection and prevention system has been developed, which combines intelligent hardware and software solutions with a high level of functional adaptability and ease of use. The system is based on the Arduino Nano microcontroller in combination with the ESP-01S Wi-Fi module and the MQ-9 sensor, which allows for continuous monitoring of gas concentration in the air in real time.

A special role in the implementation of the project was played by integration with the Blynk mobile platform, which provided a convenient and intuitive interface for monitoring system parameters and remote control of its operation.

The results of experimental testing confirmed the accuracy, reliability and stability of the system's operation in conditions close to real-world conditions. The system demonstrated the ability to timely detect gas leaks, correctly generate notifications and implement automatic response to threats.

Keywords: computer system, sensors, gas leak, remote monitoring, Internet of Things.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКУ ГАЗУ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	7
1.1 Проблематика витоку газу в побуті та промисловості.....	7
1.2 Фізичні властивості побутового газу та загрози, пов'язані з його витоком.....	8
1.3 Принципи виявлення витоку газу.....	9
1.4 Аналіз сучасних рішень у сфері газової безпеки.....	10
1.4.1 Honeywell Sensepoint XCL.....	11
1.4.2 Dräger PointGard 2200.....	12
1.4.3 Honeywell ConneXt.....	12
1.4.4 Panther PRO.....	13
1.4.5 Heiman HS1CG-E.....	14
1.4.6 Heiman WS2CG.....	15
Висновок до розділу.....	17
2 ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКУ ГАЗУ.....	19
2.1 Загальна архітектура системи та принцип її роботи	19
2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи запобігання витоку газу	22
2.2.1 Arduino Nano.....	22
2.2.2 Модуль бездротового зв'язку ESP-01S.....	25
2.2.3 Датчик газу MQ-9.....	28
2.2.4 Електропривід керування краном Smart Gas.....	31
2.3 Розробка електричної принципової схеми пристрою для запобігання витоку газу в приміщенні.....	33

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Долід Р. В.			Розробка мікроконтролерної системи виявлення та сигналізації витоку газу в приміщенні на платформі Atmega 328PU	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Лазорів А.М.					3	
Реценз.						ІФНТУНГ, КІ-21-1		
Н. Контр.		Лазорів А.М.						
Затверд.		Мельничук С.І.						

2.4 Створення друкованої плати	35
Висновок до розділу.....	37
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ.....	38
3.1 Створення логіки функціонування системи виявлення та попередження витоку газу	38
3.2 Підготовка програмного середовища	39
3.2.1 Вибір та обґрунтування середовища програмування.....	39
3.2.2 Конфігурація середовища PlatformIO.....	40
3.2.3 Підключення необхідних бібліотек у PlatformIO.....	42
3.3 Реалізація програмної частини системи	43
3.4 Реалізація взаємодії з платформою Blynk.....	47
3.4.1 Характеристика платформи Blynk.....	48
3.4.2 Конфігурація платформи Blynk.....	49
3.5 Тестування системи.....	50
Висновок до розділу.....	51
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	55
ДОДАТКИ	
Бібліографічна довідка	

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному світі питання безпеки життєдіяльності людини стає дедалі актуальнішим. Особливу увагу приділяють техногенним ризикам, серед яких витік побутового чи промислового газу посідає одне з перших місць за рівнем небезпеки. Щорічно фіксується значна кількість нещасних випадків, спричинених витоками газу, що нерідко призводять до пожеж, вибухів, отруєнь і навіть загибелі людей.

Наявні системи контролю часто не забезпечують належного рівня безпеки, оскільки переважно базуються на застарілих технологіях, що не передбачають автоматичного реагування та вчасного інформування користувачів. У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні сучасних комп'ютеризованих рішень, здатних забезпечити цілодобовий моніторинг повітряного середовища, оперативне виявлення газу та миттєве попередження відповідних служб чи користувачів.

Розвиток технологій Інтернету речей (IoT), мікроконтролерів, сенсорики та бездротового зв'язку відкриває нові можливості для побудови ефективних систем безпеки. Поєднання цих технологій дозволяє створювати компактні, економічні та водночас функціональні рішення, які здатні не лише виявляти витік, а й автоматично перекривати подачу газу, надсилати сповіщення на мобільні пристрої, зберігати історію подій тощо.

Таким чином, розробка комп'ютеризованої системи для виявлення та запобігання витоку газу є вкрай актуальним завданням, що відповідає сучасним вимогам безпеки, технічного прогресу та соціальної відповідальності.

Мета дослідження – розробити комп'ютеризовану систему для виявлення та запобігання витоку газу в приміщеннях, що забезпечує автоматичне реагування на критичні ситуації, високу точність вимірювання, а також сповіщення користувача про загрозу через доступні канали зв'язку.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єкт дослідження – процес виявлення витоку газу в побутових та виробничих приміщеннях.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих систем виявлення витоку газу та визначити їх недоліки.
2. Обрати апаратну платформу (мікроконтролер, сенсори) для реалізації системи.
3. Розробити програмне забезпечення для обробки даних від датчиків і прийняття рішень.
4. Реалізувати механізм оповіщення користувача (звуковий сигнал, індикація, повідомлення на смартфон).
5. Передбачити можливість автоматичного перекриття подачі газу в аварійній ситуації.
6. Провести тестування системи на відповідність заданим вимогам щодо точності, швидкості реагування та надійності.

Предмет дослідження – методи та засоби комп'ютеризованого моніторингу газового середовища з метою своєчасного виявлення витоку газу та запобігання аварійним ситуаціям.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКУ ГАЗУ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Проблематика витоку газу в побуті та промисловості

Витік газу є серйозною техногенною загрозою, що несе небезпеку для життя і здоров'я людей, збереження матеріальних цінностей та стабільності інфраструктур. У побутовому секторі основною причиною є застаріле обладнання, відсутність регулярного технічного обслуговування, використання непридатних з'єднувальних елементів, а також недотримання правил експлуатації. Наприклад, часто застосовуються старі гумові шланги без захисту від механічних пошкоджень, або газові плити, які не мають сучасних запобіжників. У багатьох випадках власники житла не в змозі своєчасно виявити витік через відсутність сигналізаторів витоку газу або вентиляційних систем. У промислових умовах ситуація є ще складнішою. Витоки можуть виникати внаслідок високого тиску в системах транспортування газу, зношеності трубопроводів, помилок персоналу при обслуговуванні газових установок, недотримання нормативів технічної експлуатації. Часто порушення виникають унаслідок економії на модернізації обладнання, або використання несертифікованих матеріалів. Особливо небезпечні витоки на хімічних підприємствах, де одночасно з газом можуть виділятися токсичні домішки, спричиняючи не лише вибухи, а й отруєння персоналу і забруднення навколишнього середовища. Наслідки витоків газу можуть бути катастрофічними. Серед найбільш розповсюджених – вибухи, які виникають через накопичення вибухонебезпечної концентрації газу в приміщенні, подальше займання навіть від незначної іскри або електричного розряду. Іншим критичним наслідком є отруєння людей, оскільки газ може витіснити кисень із повітря, спричиняючи гіпоксію, а в деяких випадках – безпосередню токсичну дію. У промислових масштабах наслідки можуть включати не лише шкоду персоналу, а й масштабні

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

екологічні лиха, знищення обладнання, перебої в енергопостачанні. Для запобігання витокам необхідно впроваджувати сучасні технології: автоматичні системи виявлення витоків, газоаналізатори з дистанційним контролем, інтелектуальні системи блокування подачі газу, що реагують на найменші зміни тиску або складу повітря. Крім того, має бути забезпечене систематичне навчання та інструктаж персоналу, дотримання норм і стандартів, зокрема ДСТУ, а також законодавчий контроль за станом газових систем у житловому фонді та на промислових об'єктах. Важливим елементом є проведення роз'яснювальної роботи серед населення про небезпеки та правила поведінки у разі підозри на витік. Зведення всіх цих заходів у комплексну стратегію профілактики дає змогу значно зменшити кількість аварійних ситуацій та зберегти життя, здоров'я людей і довкілля.

1.2 Фізичні властивості побутового газу та загрози, пов'язані з його ВИТОКОМ

Побутовий газ, який використовується для приготування їжі, обігріву та підігріву води, складається переважно з метану (CH_4), а також містить домішки етану, пропану, бутану та інертних газів. Він є безбарвним та у природному стані не має запаху, тому для виявлення витоків до нього додають одоранти – речовини з характерним різким запахом, наприклад, етилмеркаптан [4].

Таблиця 1.1 – Фізичні властивості побутового газу

Властивість	Значення
Склад	Метан, етан, пропан, бутан, азот та інші омішки
Агрегатний стан	Газоподібний при 20 °C і 101 кПа
Колір і запах	Безбарвний, без запаху (одорант додається)
Щільність	Близько 0,717 кг/м ³ (для метану)
Температура займання	Близько 537 °C
Вибухонебезпечна концентрація	Від 5 до 15 % у повітрі
Теплота згоряння	34–38 МДж/м ³

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною загрозою є утворення вибухонебезпечної суміші в закритому приміщенні. Навіть незначний витік у відсутності належної вентиляції може призвести до вибуху при появі джерела займання, наприклад, іскри або відкритого вогню. Інша серйозна загроза – це отруєння людей. Хоча сам метан нетоксичний, він здатен витіснити кисень, що призводить до гіпоксії. Вдихання повітря з підвищеною концентрацією метану викликає головний біль, нудоту, запаморочення, втрату свідомості, а в критичних випадках – смерть. Особливо небезпечними є витіки в нічний час, коли люди сплять і не відчують запаху газу. Тому важливим засобом профілактики є встановлення газоаналізаторів і систем автоматичного відключення подачі газу у разі витоку. Також необхідно регулярно перевіряти технічний стан обладнання, своєчасно замінювати гумові шланги, дотримуватись правил безпечної експлуатації газових приладів, забезпечити належну вентиляцію приміщень та проводити інструктаж для мешканців про дії у разі витоку.

1.3 Принципи виявлення витоку газу

Виявлення витоків газу є ключовим завданням для забезпечення безпеки в житлових і промислових приміщеннях. Газові сенсори реагують на присутність певних речовин у повітрі та генерують сигнал, який може використовуватись для оповіщення або автоматичного реагування системи (наприклад, перекриття газу). Сучасні сенсори базуються на таких основних принципах: зміна електропровідності напівпровідника при взаємодії з газом (MQ-серія); інфрачервоне поглинання молекулами газу (NDIR-сенсори); каталітичне окиснення (каталітичні сенсори); електрохімічна реакція (електрохімічні сенсори). Сенсори MQ працюють на основі зміни провідності оксиду олова (SnO_2), що нагрівається до температури $\sim 200\text{--}400^\circ\text{C}$. У присутності горючого газу або парів на поверхні сенсора відбувається реакція, яка змінює опір. До переваг MQ-сенсорів відносять: низьку вартість, широкий вибір моделей (MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-135 тощо), простоту підключення до Arduino, ESP тощо,

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

компактність. Серед недоліків: високе енергоспоживання (до 150–200 мА), низька вибірковість до конкретного газу, вплив вологості та температури, потреба в періодичній калібровці, дрібні коливання показників навіть у стабільному середовищі [5]. NDIR-сенсори використовують джерело інфрачервоного випромінювання, що проходить через газову камеру. Молекули газу поглинають певну довжину хвилі, і фотодетектор фіксує цю зміну. Відношення між інтенсивністю світла до і після поглинання використовується для розрахунку концентрації [6].

Таблиця 1.2 – Порівняльна таблиця: MQ-сенсори проти NDIR-сенсорів

Параметр	MQ-сенсори	NDIR-сенсори
Тип газів	Вибухонебезпечні (CH ₄ , CO, H ₂)	CO ₂ , CH ₄ , пропан
Принцип дії	Зміна електропровідності	Поглинання ІЧ-випромінювання
Точність	Низька-середня	Висока
Ціна	Низька	Висока
Чутливість до вологості	Висока	Низька
Енергоспоживання	Високе	Низьке
Потреба в калібруванні	Часто	Рідко
Складність підключення	Проста	Середня

1.4 Аналіз сучасних рішень у сфері газової безпеки

На сучасному етапі розвитку технічних засобів безпеки спостерігається значна різноманітність рішень для моніторингу газового середовища. Вони умовно поділяються на побутові сенсори та промислові системи високого рівня. До першої групи належать пристрої компактного розміру, які інформують користувача за допомогою світлових або звукових сигналів, наприклад, Heiman Smart Gas Sensor або Xiaomi Mi Gas Detector. Друга категорія включає багатофункціональні рішення з підтримкою кількох каналів детекції, інтеграцією

до диспетчерських систем, логуванням подій і можливістю дистанційного керування.

Попри широкий функціонал, ряд існуючих рішень має суттєві обмеження: відсутність підтримки автоматичного перекриття подачі газу, неможливість віддаленого керування через Інтернет або мобільний застосунок, а також складність адаптації до специфічних умов експлуатації.

1.4.1 Honeywell Sensepoint XCL

Honeywell Sensepoint XCL – це інтелектуальний стаціонарний сенсор газів, розроблений спеціально для потреб комерційних та легкопромислових об'єктів. Пристрій підтримує виявлення різноманітних газів, серед яких метан (CH_4), чадний газ (CO) та діоксид азоту (NO_2), забезпечуючи надійний контроль за повітряним середовищем у критично важливих зонах. Завдяки інтегрованому Bluetooth-модулю пристрій можна швидко налаштувати та обслуговувати за допомогою мобільного додатку без потреби у підключенні до ПК.

Крім того, Sensepoint XCL підтримує як аналоговий (4–20 мА), так і цифровий інтерфейс (Modbus RTU), що полегшує інтеграцію у SCADA-системи. Має світлову та звукову індикацію (до 85 дБ), а живлення здійснюється від джерела постійного струму 24 В [7].



Рисунок 1.1 – Газовий детектор Honeywell Sensepoint XCL

Застосування: комерційні об'єкти, громадські будівлі, офіси.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.4.2 Dräger PointGard 2200

Dräger PointGard 2200 – це високоточна автономна система безперервного моніторингу концентрації горючих газів і парів. Пристрій поєднує у собі професійний сенсор DrägerSensor®, вбудовану сирену, світлові стробоскопи, РК-дисплей та джерело живлення, що робить його повністю самостійним рішенням, готовим до роботи «з коробки».

Особливістю конструкції є наявність герметичного корпусу, що забезпечує стійкість до впливу пилу, вологи та механічного навантаження, а також підтримка аналогового виходу 420 мА для підключення до зовнішніх систем.

Система проста в установці та налаштуванні, має заводську калібровку та не потребує складного технічного втручання [8].



Рисунок 1.2 – Пристрій Dräger PointGard 2200

Сфера використання: промислові об'єкти, хімічні підприємства, склади.

1.4.3 Honeywell ConneXt

Honeywell ConneXt – комплексне рішення у сфері мобільного моніторингу газової безпеки. Система об'єднує портативні газоаналізатори (наприклад, MicroRAE), бездротові хаби збору даних і програмне забезпечення, що дозволяє диспетчеризовано керувати станом усіх підключених пристроїв у реальному часі.

Ключова перевага – повна автономність і відсутність необхідності у дротових з'єднаннях. Всі дані передаються через Wi-Fi, LTE або ZigBee.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Платформа підтримує створення мобільних груп контролю, формує тривожні повідомлення, дозволяє збирати історію вимірювань та інтегруватися з системами управління безпекою [9].



Рисунок 1.3 – Пристрій Honeywell ConneXt

Застосовується в енергетиці, хімічній, нафтовій галузях, а також для мобільних груп контролю безпеки.

1.4.4 Panther PRO

PantherPRO – це високочутливий портативний прилад для виявлення витоків газів, зокрема гелію, водню, фреонів та інших газів із високою теплопровідністю. Оснащений мікротермічним сенсором, цей пристрій забезпечує надзвичайно точне й швидке визначення навіть незначних концентрацій газу.

Особливістю є наявність вбудованого п'єзоелектричного насосу, який створює стабільний потік газової суміші для аналізу. Це дозволяє використовувати Panther PRO у складних умовах, зокрема під час роботи поблизу вентиляційних установок або у вітряних приміщеннях.

Інтерфейс пристрою представлений яскравим OLED-дисплеєм, який забезпечує чітку візуалізацію навіть при низькому освітленні. Завдяки наявності Bluetooth і спеціального ПЗ ION PC Software, користувач може легко експортувати дані в CSV, Excel або графічні формати [10].

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.4 – Детектор витоків газу Panther PRO

Живлення: вбудований акумулятор забезпечує до 20 годин автономної роботи.

Застосування: технічне обслуговування медичного обладнання, перевірка герметичності в холодильних системах, діагностика витоків у високотехнологічному обладнанні.

1.4.5 Heiman HS1CG-E

Heiman HS1CG-E – це компактний сенсор витoku природного газу (CH_2), який підтримує бездротову технологію ZigBee 3.0. Пристрій є ідеальним рішенням для інтеграції в системи «розумного дому».

Датчик реагує на концентрації газу, що досягають 6% нижньої межі вибуховості (LEL) з точністю $\pm 3\%$, та подає тривожний сигнал зі звуковим рівнем 70 дБ. Працює від побутової розетки 100–240 В, а середнє енергоспоживання становить лише 1,5 Вт.

Час активації пристрою після включення складає близько 2–3 хвилин. Він може працювати в умовах температур від -10°C до $+50^\circ\text{C}$ та вологості до 95% RH [11].

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Датчик витоку природного газу Heiman HS1CG-E

Особливість: просте встановлення без додаткових інструментів, сумісність з хабами розумного дому, сценарії автоматичного реагування на витоки.

Застосування: побутові приміщення, кухні, котельні, спальні, технічні кімнати.

1.4.6 Heiman WS2CG

Heiman WS2CG – сучасний побутовий детектор метану з можливістю віддаленого керування через Wi-Fi. Пристрій підтримує підключення до мобільного додатку, надсилає сповіщення про витік газу в реальному часі, а також може автоматично активувати зовнішній електроклапан для перекриття подачі газу.

Сенсор активується за 2–3 хвилини після ввімкнення живлення, працює від мережі змінного струму (100–240 В), споживаючи ≤ 3 Вт. Гучність тривожного сигналу становить ≥ 70 дБ, а вбудовані голосові сповіщення покращують взаємодію з користувачем.

Важливою функцією є підтримка контролю справності пристрою та самодіагностики. Можна отримувати сповіщення не лише про витік, а й про необхідність техобслуговування [12].

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рисунок 1.6 – Детектор витоку природного газу Heiman WS2CG

Дизайн: компактний, сучасний, з OLED-індикатором.

Застосування: кухні, котельні, приватні будинки, системи розумного дому.

Проведений аналіз існуючих рішень у сфері виявлення та запобігання витоку газу засвідчив широкий спектр доступних пристроїв, які відрізняються за призначенням, функціональністю, способом підключення та рівнем інтеграції у системи безпеки.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця характеристик газових детекторів

Назва пристрою	Тип газу	Тип живлення	Інтерфейс / Підключення	Сигналізація	Застосування	Клас захисту / Особливості
Honeywell Sensepoint XCL	CO, CH ₂ , H ₂ , NH ₃	24 В DC	Bluetooth	немає вбудованої, налаштування через моб. додаток	Промислове, комерційне	IP65
Dräger PointGard 2200	H ₂ S, NH ₃ , Cl ₂ , CO	100–240 В AC	Автономний	Світлова, звукова	Промислове, мобільне	Портативність
Honeywell ConneXt	Залежить від конфігурації	Бездротове / акумулятор	Wi-Fi, хмара	Моб. сповіщення	Індустріальне (нафтогаз, хімія)	Інтеграція з хмарою
Panther PRO	Гелій, водень, холодоагенти	Акумулятор	Цифровий дисплей	Візуальна	Лабораторії, технічне обслуговування	Портативність
Heiman HS1CG-E (ZigBee)	Метан (CH ₂)	100–240 В	ZigBee 3.0	Світлова та звукова	Розумний дім	Компактний, інтеграція з хабом
Heiman WS2CG (Wi-Fi)	Метан (CH ₂)	100–240 В	Wi-Fi	Світлова, голосова, моб. сповіщення	Побут, розумний дім	Підключення до клапана

Зокрема, промислові рішення на кшталт Honeywell Sensepoint XCL, Dräger PointGard 2200 та Honeywell ConneXt забезпечують високу точність виявлення шкідливих газів, надійність та можливість централізованого моніторингу. Водночас вони є складнішими у встановленні та дорожчими.

Побутові моделі, такі як Heiman HS1CG-E та Heiman WS2CG, мають компактні розміри, просте встановлення та можливість інтеграції у «розумний дім» через ZigBee або Wi-Fi. Ці моделі ідеально підходять для квартир, будинків і невеликих приміщень.

Портативний детектор Panther PRO вирізняється своєю мобільністю та високою чутливістю, що робить його ефективним інструментом для обслуговування газових систем у важкодоступних місцях.

Висновок до розділу

Встановлено, що витік природного газу є серйозною загрозою для життя, здоров'я людей і матеріальних цінностей. Основні фізико-хімічні властивості побутового газу, зокрема його вибухонебезпечність і токсичність у замкненому середовищі, обумовлюють актуальність впровадження систем автоматизованого моніторингу.

Розглянуті типи сенсорів, принципи їх дії та порівняння технічних параметрів дозволили сформулювати уявлення про доцільність вибору того чи іншого підходу для побутових і промислових умов. Проаналізовані існуючі рішення, такі як Honeywell Sensepoint XCL, Dräger PointGard 2200, Honeywell ConneXt, Panther PRO, а також пристрої компанії Heiman, продемонстрували широкий спектр можливостей: від простих побутових сигналізаторів до складних мережевих систем з хмарною інтеграцією.

У результаті аналізу виявлено, що багато сучасних систем або є занадто дорогими, або не передбачають можливості адаптації під індивідуальні вимоги користувача. Це відкриває перспективу для створення доступного,

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціонального та розширюваного рішення на основі мікроконтролерів і бездротових технологій, що стало основою для подальшої практичної реалізації.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ ВИТОКУ ГАЗУ

2.1 Загальна архітектура системи та принцип її роботи

Функціональна схема комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витоку газу складається з кількох взаємозалежних блоків, кожен з яких виконує визначені функції та взаємодіє з іншими для забезпечення повного циклу виявлення і реагування (рис. 2.1).

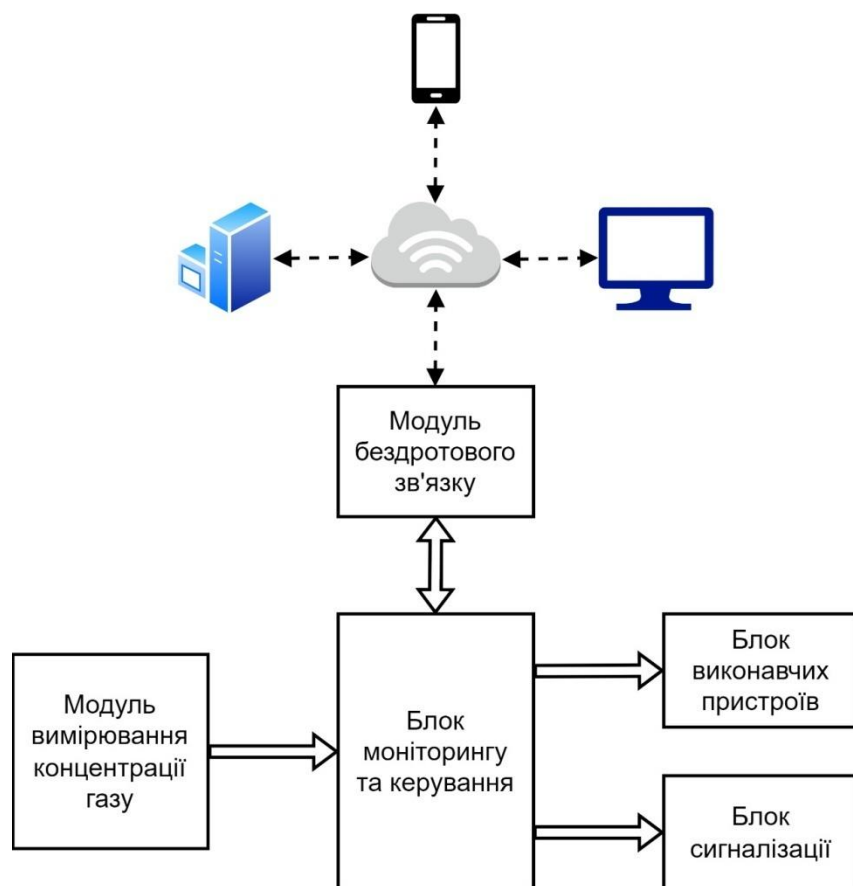


Рисунок 2.1 – Функціональна схема комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витоку газу

Модуль вимірювання концентрації газу є первинним сенсорним елементом системи, який постійно відстежує склад повітря на наявність метану, чадного газу або інших небезпечних газів; при виявленні концентрації, що перевищує

допустимий рівень, він надсилає аналоговий або цифровий сигнал до блоку моніторингу та керування. Блок моніторингу та керування, зазвичай реалізований на базі мікроконтролера який приймає сигнал від сенсора та аналізує його за заданим алгоритмом; якщо перевищено порогове значення, мікроконтролер ініціює відповідні дії: активує блок сигналізації та/або блок виконавчих пристроїв. Блок сигналізації містить звукові (п'єзодинамік) і світлові (світлодіод або індикатор) елементи, які вмикаються для попередження людей про небезпеку. Блок виконавчих пристроїв керує фізичними засобами протидії витоку, наприклад, активує електропривід газового клапана для перекриття подачі газу або вмикає витяжний вентилятор для вентиляції приміщення. Модуль бездротового зв'язку Wi-Fi підключений до блоку моніторингу та керування і забезпечує передачу даних у реальному часі на зовнішні пристрої через інтернет. Передача відбувається до хмарного сервера, звідки інформація доступна користувачу через мобільний телефон, персональний комп'ютер або диспетчерський центр, що дозволяє віддалено контролювати ситуацію, переглядати поточний стан системи, отримувати сповіщення та зберігати історію подій. Уся система працює автоматично, з мінімальною потребою у втручанні користувача, забезпечуючи своєчасне виявлення витоку газу та реалізацію заходів безпеки.

Структурна схема (комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витоку газу в приміщенні складається з декількох функціональних блоків, які взаємодіють між собою (рис. 2.2).

Основа системи становить мікроконтролерна платформа Arduino Nano, яка виконує функції блоку моніторингу та керування. До Arduino Nano підключений давач концентрації газу MQ-9, що входить до модуля вимірювання концентрації газу. MQ-9 здійснює безперервний аналіз складу повітря і передає дані до мікроконтролера. У разі перевищення допустимого порогу концентрації газу Arduino Nano активує блок сигналізації, до якого входять світлодіод і п'єзодинамік. Світлодіод виконує функцію візуального попередження, тоді як п'єзодинамік генерує гучний звуковий сигнал для сповіщення користувача.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

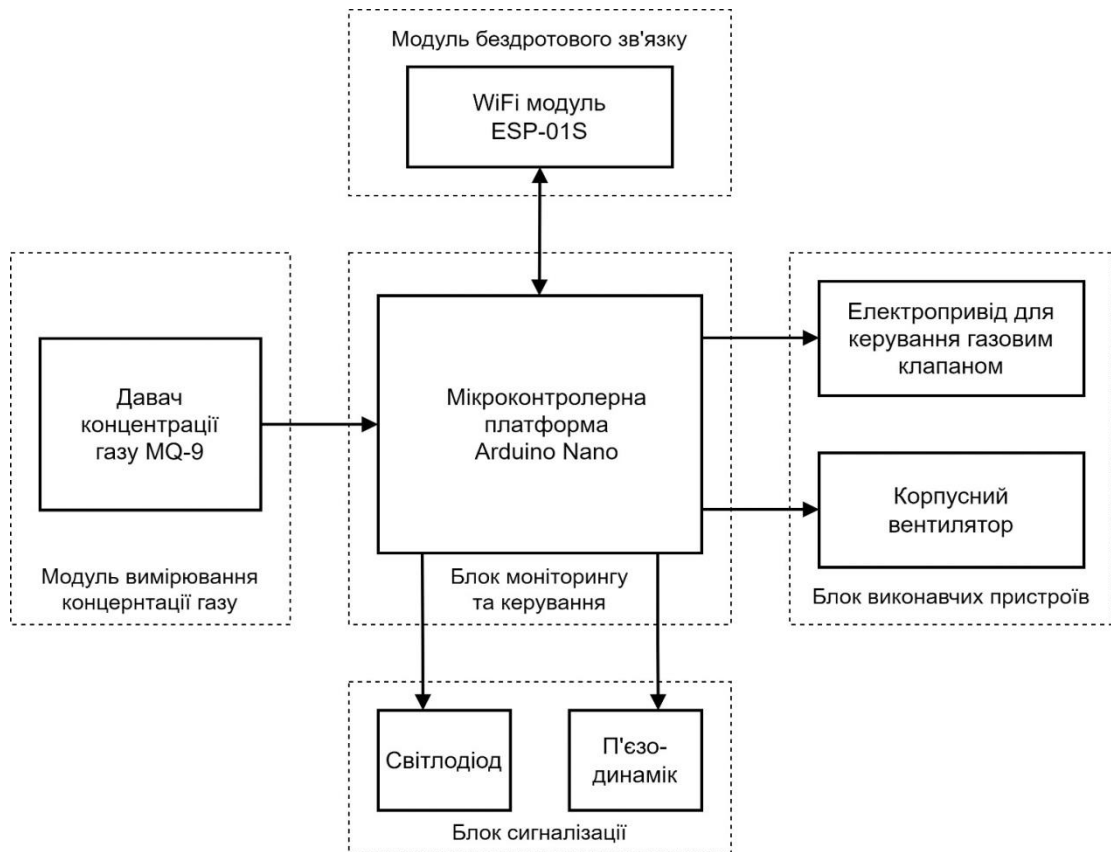


Рисунок 2.2 – Структурна схема комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витоку газу

Одночасно Arduino Nano надсилає сигнали до блоку виконавчих пристроїв, що складається з електроприводу для керування газовим клапаном і корпусного вентилятора. Електропривід автоматично перекриває подачу газу, а вентилятор забезпечує вентиляцію приміщення для зниження концентрації небезпечного газу. Для забезпечення віддаленого моніторингу Arduino Nano з'єднано з WiFi-модулем ESP-01S, який реалізує функції модуля бездротового зв'язку. За допомогою ESP-01S дані передаються до хмарного середовища, що дозволяє користувачу отримувати сповіщення та контролювати стан системи з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету. Усі модулі працюють в єдиному автоматизованому циклі, що забезпечує оперативне виявлення витоку газу, звукову і світлову сигналізацію, а також активне запобігання аварійній ситуації шляхом припинення подачі газу та провітрювання приміщення.

Таким чином, розроблена комп'ютеризована система виявлення та

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

запобігання витоку газу в приміщенні забезпечує надійний моніторинг стану повітря, своєчасне виявлення загрозливих концентрацій газу, оперативне інформування користувача та автоматичне вжиття заходів щодо усунення потенційної небезпеки. Взаємодія між модулем вимірювання, блоком керування, виконавчими пристроями, сигналізацією та бездротовим передаванням даних забезпечує комплексний захист житлових і виробничих приміщень. Така система є ефективним рішенням для підвищення рівня безпеки, попередження аварійних ситуацій та мінімізації ризиків, пов'язаних із витоком горючих газів.

2.2 Розробка апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи запобігання витоку газу

2.2.1 Arduino Nano є популярною мікроконтролерною платформою, яка знайшла широке застосування у проєктах автоматизації, робототехніки та IoT. Завдяки своїм компактним розмірам, невисокій вартості та простоті програмування, Arduino Nano вигідно вирізняється серед аналогічних платформ. На відміну від Arduino Uno, Nano має менші розміри при збереженні функціональності, що дозволяє застосовувати її в пристроях з обмеженим простором. ESP8266 NodeMCU та ESP32 DevKit перевершують Arduino Nano за обчислювальною потужністю та наявністю бездротових модулів, однак вони працюють на 3.3 В і можуть потребувати логічних перетворювачів, що ускладнює інтеграцію з 5В-модулями. STM32 Blue Pill, хоч і має вищу продуктивність, вимагає складнішого середовища програмування та знань, що не завжди зручно для початківців. Arduino Nano підтримує класичну Arduino IDE, не потребує зовнішнього програматора, має стандартні інтерфейси UART, SPI, I2C, що дозволяє легко підключати датчики, дисплеї та виконавчі механізми. Для проєктів, де важливі простота, доступність, компактність та надійність – Arduino Nano є оптимальним вибором [12].

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця технічних характеристик

Платформа	Мікро контролер	Частота (МГц)	ОЗП (КБ)	Flash (КБ)	GPI O	Wi-Fi	Blue tooth	Інтерфейси	Напруження	Габарити (мм)
Arduino Nano	ATmega328P	16	2	32	22	Ні	Ні	UART, SPI, I2C	5 В	45×18
Arduino Uno	ATmega328P	16	2	32	20	Ні	Ні	UART, SPI, I2C	5 В	68.6×53.4
ESP8266 NodeMCU	ESP8266EX	80	80	4096	17	Так	Ні	UART, SPI, I2C	3.3 В	58×31
ESP32 DevKit	ESP32	160–240	до 520	до 16000	34	Так	Так	UART, SPI, I2C, CAN	3.3 В	58×30
STM32 Blue Pill	STM32F103C8 T6	72	20	64	37	Ні	Ні	UART, SPI, I2C, CAN	3.3 В	52×20

Arduino Nano – це мініатюрна мікроконтролерна плата, створена на основі чіпа ATmega328P. Завдяки своїм компактним розмірам (45 × 18 мм) та широкому набору функцій, вона ідеально підходить для проєктів, де простір обмежений, але потрібна повна функціональність (рис 2.3).

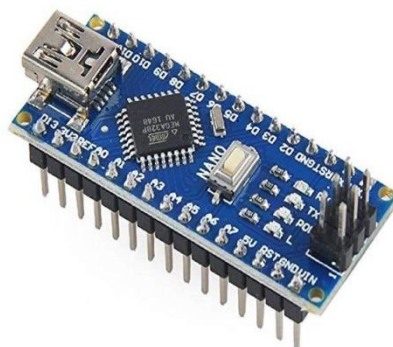


Рисунок 2.3 – Arduino Nano

Arduino Nano має 30 пінів: цифрові (D0–D13), аналогові (A0–A7), пін живлення (VIN, 5V, GND, 3.3V). Плата живиться через USB або через пін VIN (від 7 до 12 В). Сенсори температури, освітлення, вологості підключаються до аналогових входів, реле – до цифрових виходів. Для зв'язку із зовнішніми модулями часто використовуються I2C (A4 – SDA, A5 – SCL) або SPI (D10–D13). Через порт USB Nano також програмується і передає дані до комп'ютера. Основні характеристики включають 14 цифрових входів/виходів (6 з підтримкою PWM), 8

аналогових входів, тактову частоту 16 МГц, 32 КБ Flash-пам'яті та 2 КБ SRAM [13].

Схема електрична принципова Arduino Nano, наведена на рисунку 2.4, включає в себе такі ключові елементи. Центральний мікроконтролер U1 (ATmega328P-AU) є основним елементом плати Arduino Nano. Він виконує програмний код, керує периферійними пристроями та обробляє сигнали. Має 32 КБ Flash-пам'яті (2 КБ зайнято завантажувачем), 2 КБ SRAM, 1 КБ EEPROM, працює на частоті 16 МГц, живиться від 5 В або 3.3 В, має порти вводу/виводу PD0–PD7, PB0–PB5, PC0–PC5. Кварцові резонатори X1 і X2 (16 МГц) забезпечують стабільну тактову частоту для мікроконтролера і USB-UART модуля.

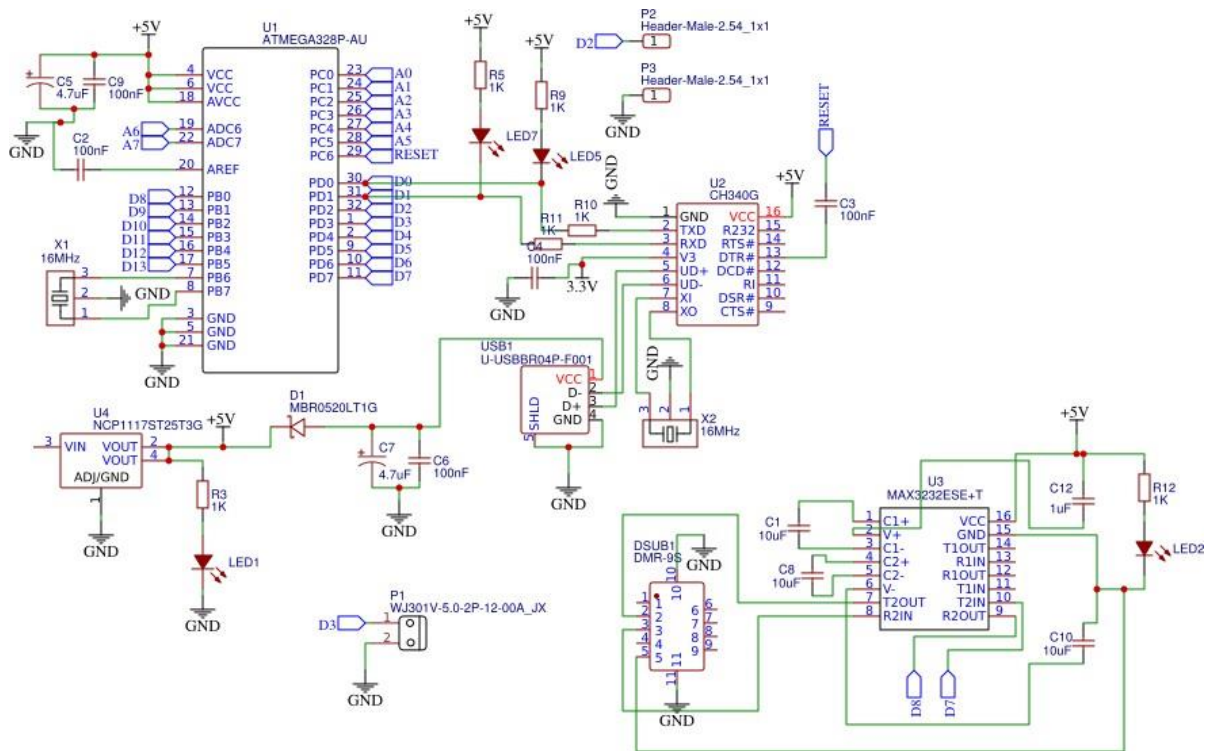


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова Arduino Nano

Стабілізатори живлення U4 (NCP1117) і діод D1 (MBR0520) стабілізують напругу до 3.3 В і запобігають зворотному струму при живленні через USB або VIN. USB-UART перетворювач U2 (CH340G) дозволяє програмувати Arduino через USB, має власний резонатор X2, лінії TX/RX з'єднані з PD0/PD1 мікроконтролера. Інтерфейс RS-232 через мікросхему U3 (MAX3232) перетворює

UART-рівні у формат, сумісний з RS-232, для підключення до класичних COM-портів. Роз'єми Header Male виводять сигнали мікроконтролера на макетну плату або для пайки. Світлодіоди LED1 (індикація живлення), LED2 (статус користувача), LED7 (індикатор D13) слугують для візуального контролю. Кнопка RESET дозволяє перезавантажити мікроконтролер вручну [14].

2.2.2 Модуль бездротового зв'язку ESP-01S є вдосконаленою версією популярного модуля ESP-01 на базі чипа ESP8266. Він призначений для забезпечення Wi-Fi-з'єднання в мікроконтролерних системах, таких як Arduino. ESP-01S має вбудований стек TCP/IP і підтримує стандарт 802.11 b/g/n (рис. 2.5).

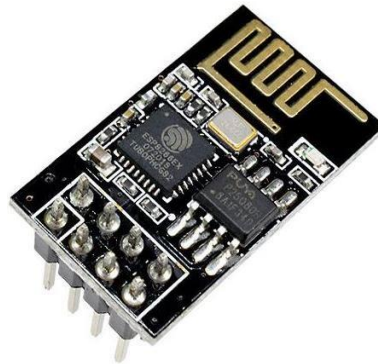


Рисунок 2.5 – WiFi модуль ESP-01S

Цей модуль має два GPIO-виходи, що дозволяє керувати зовнішніми пристроями. ESP-01S працює на частоті 2,4 ГГц і підтримує швидкості передачі даних до 72,2 Мбіт/с. Він легко інтегрується до Arduino через послідовний інтерфейс UART. Для підключення ESP-01S до Arduino Nano зазвичай використовують окремий адаптер живлення та логічний перетворювач рівнів, оскільки модуль працює на 3.3 В, тоді як UART Arduino Nano – на 5 В. Модуль підтримує AT-команди, що дозволяє зручно керувати мережею Wi-Fi та передавати дані. Завдяки своїм компактним розмірам, низькому енергоспоживанню та простоті інтеграції ESP-01S широко використовується в системах IoT [15].

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики модуля ESP-01S

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ESP8266EX
Стандарт Wi-Fi	802.11 b/g/n
Робоча частота	2,4 ГГц
Напруга живлення	3.0–3.6 В
Кількість GPIO	2
Інтерфейс	UART
Швидкість передачі	До 72,2 Мбіт/с
Режими роботи	STA, AP, STA+AP
Підтримка протоколів	TCP/IP, UDP
Розміри	14,3 мм x 24,8 мм

Модуль ESP-01S, у порівнянні з іншими подібними модулями (ESP32, NRF24L01+, HC-05), має компактні розміри, низьку вартість, простий інтерфейс та забезпечує стабільне Wi-Fi-з'єднання, що дозволяє реалізувати бездротову передачу даних у мережу Інтернет. На відміну від NRF24L01+ та HC-05, ESP-01S не потребує додаткових шлюзів для зв'язку з віддаленими сервісами, тому є оптимальним вибором для систем моніторингу витоків газу [17].

Таблиця 2.3 – Порівняльна таблиця бездротових модулів зв'язку

Критерій	ESP-01S	ESP8266 NodeMCU	ESP32 DevKit
Тип модуля	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi + Bluetooth
Процесор	ESP8266EX	ESP8266EX	Tensilica Xtensa LX6 dual-core
Кількість GPIO	2	10+	30+
Обсяг пам'яті	1 МБ Flash	4 МБ Flash	4–16 МБ Flash
Підтримка Bluetooth	Ні	Ні	Так (BLE)
Форм-фактор	Компактний (8 пінів)	Більший (30+ пінів)	Середній (38 пінів)
Споживання енергії	Низьке	Середнє	Вище середнього
Підключення до Arduino	Через адаптер або UART	Пряме програмування	Пряме програмування
Ціна (орієнтовна)	Низька (~60–90 грн)	Середня (~150–200 грн)	Вища (~250–400 грн)
Призначення	Прості Wi-Fi проекти	Універсальні IoT-пристрої	Складні IoT-рішення з Bluetooth

Для більш функціональних проєктів з великою кількістю датчиків, розширеним інтерфейсом чи Bluetooth-зв'язком доцільно розглянути ESP8266 NodeMCU або ESP32.

Наведена електрична принципова схема модуля ESP-01S заснована на мікросхемі ESP8266EX, яка є основним елементом керування та обміну даними (рис. 2.6).

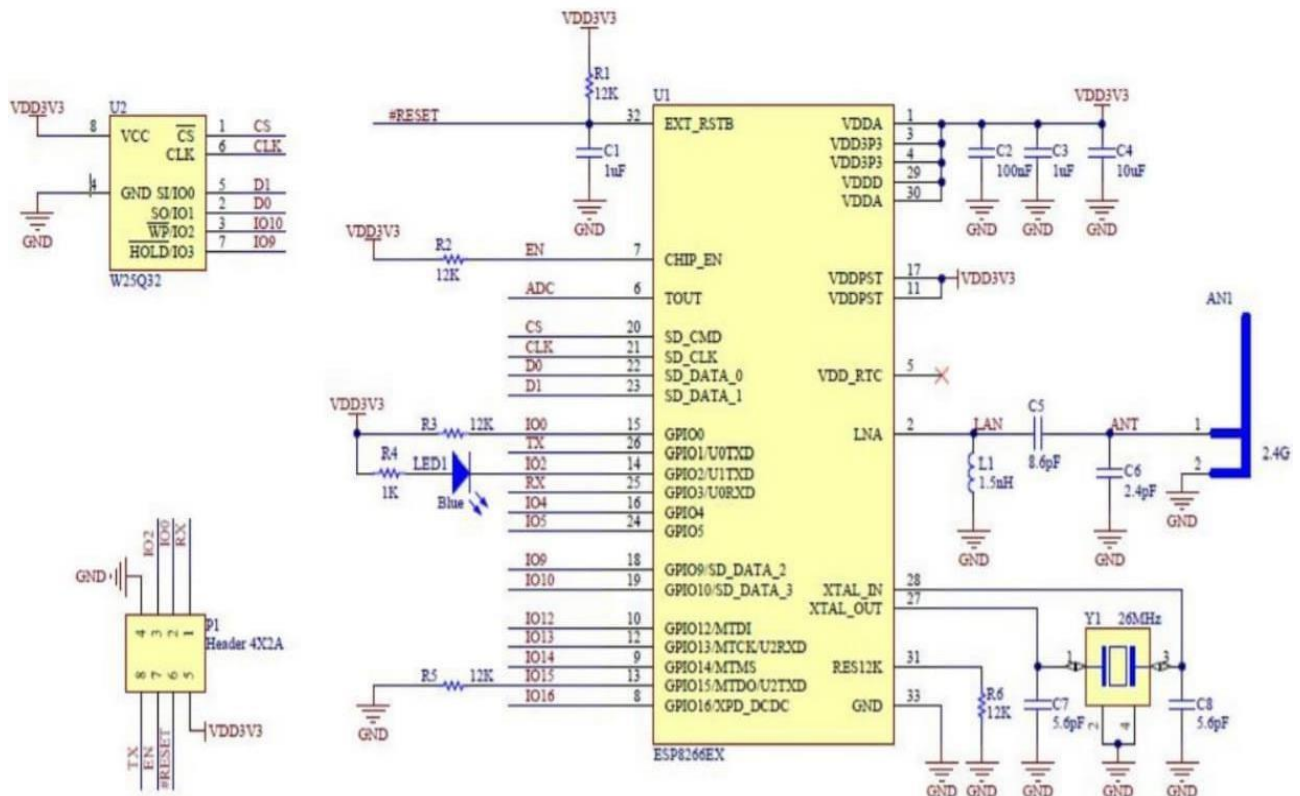


Рисунок 2.6 – Електрична принципова схема модуля ESP-01S

До виводів живлення VDD3V3 підключені конденсатори фільтрації C1, C2, C3, C4 номіналом по 10 мкФ і 0,1 мкФ, що забезпечують стабільність живлення мікросхеми. На вивід CH_PD (chipenable) подається логічна одиниця через резистор R1 номіналом 12 кОм для активації мікросхеми. Вивід GPIO0 через резистор R4 підключений до світлодіода LED1, що використовується як індикатор стану модуля, при цьому резистор обмежує струм. GPIO2 виведений окремо і може використовуватись для підключення зовнішніх пристроїв. До виводів

XTAL_IN та XTAL_OUT підключений кварцовий резонатор з двома конденсаторами по 22 пФ, що формують тактовий сигнал. На правій частині схеми зображено антену AN1, що з'єднана з модулем через LC-фільтр (конденсатори C6, C7 та індуктивність L1), що забезпечує фільтрацію високочастотних завад та узгодження з антенною. Ліворуч від основного модуля представлений SPI флеш-чип W25Q32, який забезпечує збереження прошивки та даних, підключений через лінії CS, CLK, DO, DI, HOLD. Також видно конектор UART (Serial 4C2A), який використовується для програмування і відлагодження ESP8266EX, і з'єднується з виводами TX та RX мікросхеми. Всі цифрові сигнали та лінії живлення проходять через підтягувальні резистори номіналом 10–12 кОм, що відповідає рекомендаціям виробника [18].

Модуль ESP-01S підключається до Arduino Nano за допомогою стандартного послідовного інтерфейсу UART, який використовує пін RX (прийом) та TX (передача). Оскільки ESP-01S працює на напрузі 3.3 В, а Arduino Nano на 5 В, для безпечного підключення необхідно використовувати понижувальний резистивний дільник напруги або логічний рівневий конвертер для RX-входу модуля. Пін VCC ESP-01S підключається до джерела живлення 3.3 В, GND – до загальної землі, пін CH_PD (або EN) необхідно підтягнути до 3.3 В для активації модуля. Стандартне підключення передбачає TX ESP-01S до RX Arduino (D0), RX ESP-01S через дільник до TX Arduino (D1). Для прошивки або початкового налаштування ESP-01S може знадобитися USB–TTL конвертер [19].

2.2.3 Датчик газу MQ-9 є напівпровідниковим газовим сенсором, призначеним для виявлення чадного газу (CO), метану (CH₄) та зрідженого нафтового газу (LPG). Його чутливий елемент складається з діоксиду олова (SnO₂), електропровідність якого змінюється залежно від концентрації цільового газу в повітрі (рис. 2.7).

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

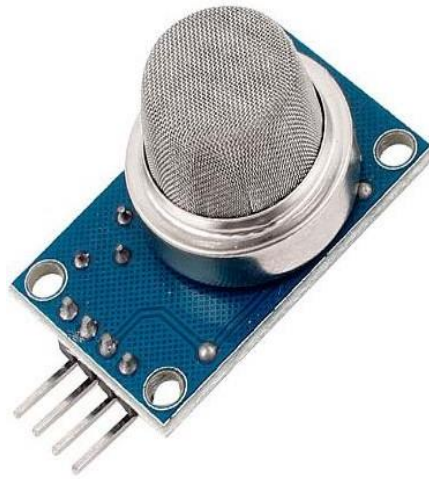


Рисунок 2.7 – Датчик газу MQ-9

У чистому повітрі електропровідність сенсора низька, проте при наявності горючих газів відбувається хімічна реакція на поверхні чутливого шару, що спричиняє зменшення опору та збільшення струму. Сенсор працює за принципом термokatалізу, для чого має вбудований нагрівач, що періодично змінює температуру для покращення вибірковості до різних газів. Датчик MQ-9 має аналоговий вихід, який змінюється пропорційно концентрації газу, і може бути легко інтегрований у мікроконтролерні системи, наприклад, з Arduino. MQ-9 широко використовується у побутових та промислових системах безпеки завдяки невисокій вартості, простоті експлуатації та можливості виявлення кількох типів газів. Проте основними недоліками сенсора є залежність від вологості, температури, наявність попередньої калібровки та обмежена точність [20]. У таблиці 2.4 наведені характеристики сенсорного датчика модуля газу MQ-9.

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики сенсорного модуля MQ-9

Параметр	Значення
Тип газів	CO (чадний газ), CH ₄ (метан), LPG (зріджений нафтовий газ)
Діапазон виявлення	10–1000 ppm (CO), 200–10000 ppm (CH ₂ LPG)
Час відгуку	≤10 секунд
Напруга живлення	5 В

Споживаний струм	Менше 150 мА
Тип виходу	Аналоговий і цифровий
Температура експлуатації	-10°C до +50°C
Вологість експлуатації	Відносна вологість до 95% (без конденсації)
Матеріал корпусу	Пластик із вентиляційними отворами
Сфера застосування	Побутові сигналізатори, системи виявлення витоків, системи безпеки

На основі порівняльного аналізу модуль MQ-9 обрано як найбільш універсальний і оптимальний варіант для побудови системи виявлення та запобігання витоку газу. Його перевагою є висока чутливість одночасно до чадного газу (CO) і вибухонебезпечного метану (CH₄), що дозволяє забезпечити підвищену безпеку в приміщеннях, де можливі обидва типи загроз. Також MQ-9 має стабільну роботу, наявність цифрового і аналогового виходів, що спрощує інтеграцію з мікроконтролерами, такими як Arduino Nano.

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз сенсорів газу

Параметр	MQ-2	MQ-4	MQ-9 (вибраний)	MQ-135
Тип газів	CH ₄ , LPG, дим	CH ₄ (метан)	CO, CH ₄ , LPG	CO ₂ , аміак, бензол, дим
Основне призначення	Побутовий газ, дим	Метан	CO і CH ₄ (комбінований)	Якість повітря
Діапазон вимірювання	200–10000 ppm (CH ₄)	200–10000 ppm (CH ₄)	10–1000 ppm (CO), 200–10000 ppm (CH ₄)	10–1000 ppm (CO ₂ та ін.)
Час відгуку	≤10 с	≤10 с	≤10 с	≤30 с
Напруга живлення	5 В	5 В	5 В	5 В
Інтерфейс	Аналоговий, цифровий	Аналоговий, цифровий	Аналоговий, цифровий	Аналоговий, цифровий
Температурна стабільність	Слабка	Краща за MQ-2	Висока	Середня
Сфера застосування	Газові тривоги, побут	Детектор витоку метану	Виявлення CO та метану	Моніторинг якості повітря

У порівнянні з MQ-2 чи MQ-135, MQ-9 забезпечує кращий баланс між функціональністю та точністю вимірювання для конкретного застосування – виявлення витoku газу [21].

2.2.4 Електропривід керування краном Smart Gas є пристроєм, призначеним для автоматичного перекриття подачі газу в разі витoku або аварійної ситуації. Цей пристрій встановлюється безпосередньо на запірну арматуру газової труби та керується за допомогою електричного сигналу від контролера системи (рис. 2.10). У нормальному стані електропривід знаходиться у режимі очікування, але при подачі напруги на керуючий вхід пристрій активується та повертає важіль газового клапана у положення «закрито».



Рисунок 2.10 – Електропривід керування краном SmartGas

Керування здійснюється, як правило, з мікроконтролера типу Arduino через модуль реле, що забезпечує гальванічну розв'язку та безпечне підключення. Підключення здійснюється за схемою: контролер → модуль реле → електропривід, при цьому живлення електроприводу може подаватися окремо з джерела постійного струму напругою 12В. Конструкція пристрою дозволяє багаторазове відкриття та закривання клапана, а також ручне повернення у початковий стан. Електроприводи цього типу широко використовуються у побутових газових системах, системах безпеки та протиаварійного захисту [21].

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Схема підключення передбачає використання керуючого сигналу від Arduino до модуля реле. Реле при активації замикає електричне коло, через яке подається напруга живлення 12В до електроприводу, що призводить до фізичного обертання вентиля та перекриття газу.

У таблиці 2.6 наведені характеристики електропривіда керування краном Smart Gas.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики електроприводу Smart Gas

Параметр	Значення
Напруга живлення	5–12 В (постійного струму)
Споживання струму	до 100 мА (в активному режимі)
Тип управління	Цифровий (через мікроконтролер або реле)
Кут повороту	90°
Час спрацювання	5–10 секунд
Матеріал корпусу	Пластик, металевий редуктор
Сумісність	Крани типу DN15, DN20
Тип з'єднання	3-провідне (VCC, GND, Signal)

Порівняльний аналіз вибору електроприводу керування газовим краном у вигляді таблиці 2.7 з критеріями, яка дозволяє порівняти Smart Gas із іншими поширеними аналогами.

Таблиця 2.7 – Порівняльна таблиця електроприводів керування газовим краном

Критерій	Smart Gas Valve	Tuya Zigbee Gas Valve	Xiaomi Aqara Gas Valve
Тип живлення	12 В DC	Акумулятор/USB (5 В)	Акумулятор + Zigbee Hub
Тип керування	Через реле / кнопку	Через мобільний застосунок	Zigbee-платформа
Підключення до розумного дому	Ні (тільки електроніка)	Так (через шлюз Zigbee)	Так (через Aqara Gateway)
Спосіб монтажу	Механічне кріплення на кран	Затискач/хомут	Затискач/адаптер
Час спрацювання	4–10 с	5–10 с	~5 с

Наявність ручного керування	Так	Так	Так
Надійність у екстрених умовах	Висока (постійне живлення)	Середня (залежить від заряду)	Середня
Вартість (орієнтовна)	Низька (~500–800 грн)	Середня (~1500–2000 грн)	Висока (~2500–3500 грн)
Сумісність з Arduino	Повна	Часткова	Обмежена
Рекомендоване використання	Просте автономне рішення	Розумний дім	Інтеграція екосистемою Xiaomi з

Електропривід Smart Gas Valve є найкращим варіантом для автономних систем виявлення витоку газу, які не потребують хмарних сервісів або смартфонів. Він простий у використанні, має повну сумісність з Arduino та забезпечує високу надійність у надзвичайних ситуаціях. Пристрої типу TuYa Zigbee або Xiaomi Aqara краще підходять для інтеграції в сучасні розумні будинки, але потребують додаткових шлюзів, стабільного з'єднання та не завжди є придатними для критичних систем безпеки.

2.3 Розробка електричної принципової схеми пристрою для запобігання витоку газу в приміщенні

Електрична принципова схема пристрою для запобігання витоку газу в приміщенні складається з кількох функціональних блоків, які забезпечують вимірювання концентрації газу, обробку даних, сигналізацію, керування виконавчими пристроями та передачу даних по бездротовому зв'язку (рис. 2.11).

У схемі використано сенсорний модуль MQ-9 (U1), який підключено до аналогового входу A0 мікроконтролера Arduino Nano (U2), а також до ліній живлення +5В та GND. Живлення мікроконтролера Arduino Nano здійснюється від джерела +5В через контакт VIN, а також через загальну землю. Для бездротового зв'язку використано модуль ESP-01S (U3), який підключено до цифрових портів D0 (RX) та D1 (TX) Arduino Nano для обміну даними по UART.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

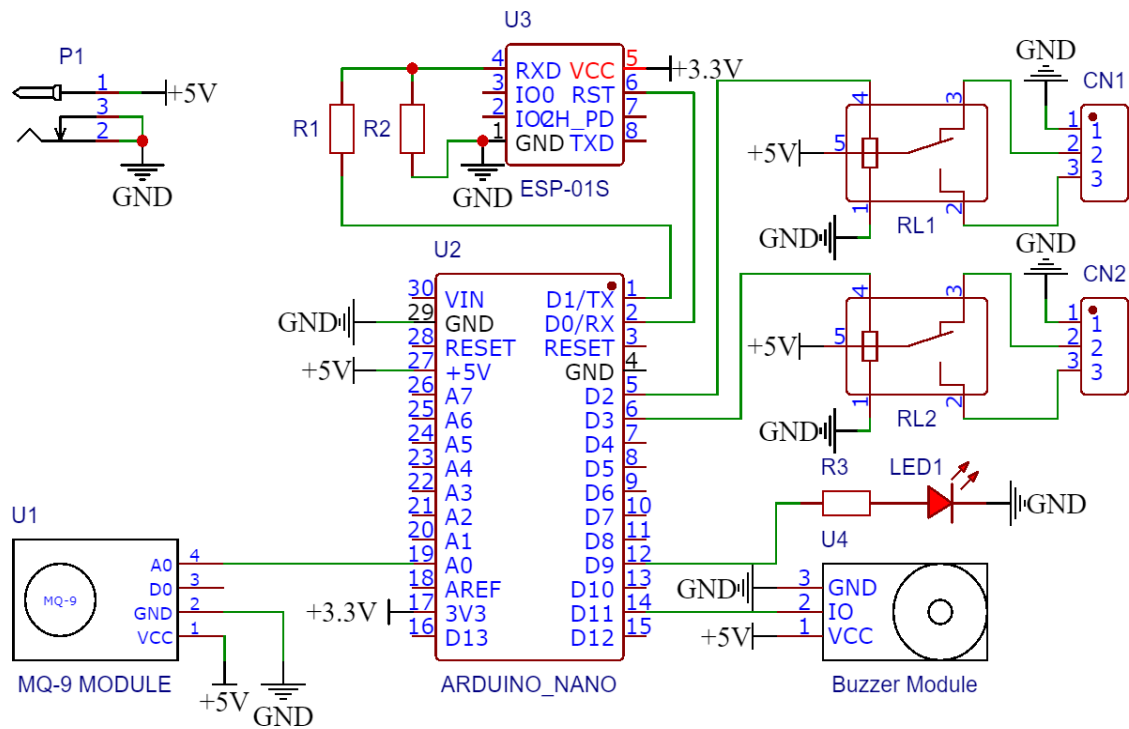


Рисунок 2.11 – Електрична принципова схема пристрою

Модуль ESP-01S живиться напругою +3.3В, поданою з зовнішнього стабілізатора, та має підтягувальні резистори R1 і R2 для забезпечення коректної роботи. До цифрових виходів мікроконтролера Arduino Nano також підключено два реле RL1 та RL2, які керують виконавчими пристроями, такими як електропривід перекривання газу та вентилятор. Живлення реле здійснюється від лінії +5В, а комутація відбувається через цифрові порти, що дозволяє у разі виявлення небезпечної концентрації газу миттєво активувати виконавчі механізми. Сигналізація реалізована за допомогою світлодіода LED1, підключеного через резистор R3 до порту D12, та п'єзодинаміка (U4), підключеного до порту D13 Arduino. Обидва елементи отримують живлення від +5В і сигналізують про аварійну ситуацію візуально та звуково. Джерело живлення на схемі подане через роз'єм P1, що дозволяє підключити зовнішній блок живлення з виходом +5В і GND. Уся система працює в автономному режимі, забезпечуючи постійний моніторинг навколишнього середовища, миттєве реагування на перевищення порогу концентрації газу та передавання даних користувачеві через Wi-Fi.

2.4 Створення друкованої плати

Для реалізації апаратної частини комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витоку газу була розроблена друкована плата (ДП), що забезпечує компактне, надійне та зручне компонування електронних елементів.

Проектування друкованої плати здійснювалося за допомогою САПР EasyEDA, яка дозволяє створювати схеми, розміщувати компоненти, трасувати з'єднання та формувати готові файли Gerber для виготовлення. На етапі розробки схеми враховувались електричні характеристики елементів, типи підключень та майбутні умови експлуатації системи.

Конструкція друкованої плати включає місця для монтажу основних компонентів: мікроконтролера Arduino Nano, газового сенсора MQ-9, модуля ESP-01S, реле, п'єзодинаміка, світлодіодів, роз'ємів живлення та інших пасивних елементів. Для забезпечення стійкості та зменшення електромагнітних завад були реалізовані широкі доріжки живлення, а аналогові та цифрові сигнальні лінії розведені з урахуванням мінімізації перешкод (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Конструкція друкованої плати

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Після завершення трасування була здійснена візуальна перевірка топології плати та електричних з'єднань на наявність помилок (DRC-аналіз). Після успішного проходження перевірки були сформовані файли у форматі Gerber та передані для виготовлення друкованої плати [24].

Виготовлена плата була змонтована вручну з дотриманням технічних вимог. Після пайки проведено тестування на предмет замикання, правильності підключення елементів та загальної працездатності. Готова плата продемонструвала стабільну роботу та відповідність функціональним вимогам системи.

Розрахунок надійності системи

Для оцінки надійності комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витoku газу в приміщенні розглянемо показники надійності основних компонентів системи, таких як мікроконтролер, давач газу MQ-9, модуль бездротового зв'язку ESP-01S, електропривід керування краном, блок живлення, та інші елементи. Припустимо, що всі елементи з'єднані послідовно, отже, загальна ймовірність безвідмовної роботи системи визначається добутком ймовірностей безвідмовної роботи кожного компонента. Нехай середній час напрацювання на відмову (MTBF) для компонентів становить:

Arduino Nano – 100 000 год, MQ-9 – 50 000 год, ESP-01S – 80 000 год, електропривід – 60 000 год, блок живлення – 90 000 год.

Визначимо загальний MTBF системи за формулою для послідовного з'єднання компонентів:

$1/MTBF_{\text{системи}} = \sum(1/MTBF_i)$. Отже, $1/MTBF_{\text{системи}} = 1/100000 + 1/50000 + 1/80000 + 1/60000 + 1/90000 = 0,00001 + 0,00002 + 0,0000125 + 0,0000167 + 0,0000111 = 0,0000703$, тоді $MTBF_{\text{системи}} \approx 14\ 220$ годин. Це свідчить про високу надійність системи в умовах побутової експлуатації. Для оцінки ймовірності безвідмовної роботи протягом часу $t = 1$ року (тобто приблизно 8760 год) використаємо експоненційну модель: $P(t) = \exp(-t/MTBF)$. Тоді $P(8760) = \exp(-8760/14220) \approx \exp(-0,616) \approx 0,540$. Отже, ймовірність

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

безвідмовної роботи системи протягом одного року складає приблизно 54%, що є прийнятним результатом для систем подібного призначення. Для підвищення надійності можливо передбачити резервування найкритичніших компонентів або впровадження періодичної діагностики системи з автоматичним повідомленням про потенційні відмови. Таким чином, система демонструє задовільні показники надійності, які відповідають вимогам до побутових захисних пристроїв і дозволяють використовувати її для ефективного виявлення та запобігання витoku газу в приміщеннях.

Висновок до розділу

У другому розділі було здійснено всебічне дослідження апаратної частини системи для запобігання витoku газу. Розглянуто структурну та принципову електричну схеми пристрою, детально описано призначення та функціонування кожного елемента системи. Проведено обґрунтований вибір основних компонентів: сенсорного модуля MQ-9, модулів керування, сигналізації та бездротового зв'язку ESP-01S, а також мікроконтролера Arduino Nano, з наведенням технічних характеристик, переваг та порівняльного аналізу з аналогами. Виконано проектування друкованої плати пристрою та її 3D-візуалізацію. Запропоноване технічне рішення відповідає сучасним вимогам до безпеки, енергоефективності та можливості віддаленого моніторингу, що забезпечує надійну та ефективну роботу системи в умовах побутового та промислового використання.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

3.1 Створення логіки функціонування системи виявлення та попередження витoku газу

Алгоритм функціонування комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витoku газу розпочинається з етапу ініціалізації всіх апаратних компонентів та необхідних програмних інтерфейсів (див. додаток А, рис. 3.1). Після запуску програми на мікроконтролері ArduinoNano виконується налаштування режимів роботи цифрових та аналогових пінів, що відповідають за керування світлодіодною індикацією, п'єзодинамічним сигналізатором, реле перекриття подачі газу та реле активації вентилятора. Одночасно виконується активація та початкове калібрування газового сенсора MQ-9, яке передбачає попереднє нагрівання сенсора до робочої температури.

Після завершення ініціалізації система переходить до основного циклу роботи, в межах якого постійно виконується зчитування даних з аналогового виходу датчика MQ-9. Отримані дані інтерпретуються у вигляді поточної концентрації горючих газів у повітрі та порівнюються з наперед заданим пороговим значенням, що визначає межу безпечного рівня. У разі перевищення цього порогу система переходить у тривожний режим. У цьому режимі активується світлова та звукова сигналізація – вмикається червоний світлодіод та п'єзодинамік. Крім того, реле 1 миттєво перекриває подачу газу, а реле 2 вмикає вентилятор для провітрювання приміщення та зменшення концентрації вибухонебезпечних речовин у повітрі.

У випадку, якщо концентрація газу не перевищує допустимого рівня, система залишається у нормальному режимі функціонування. У цьому режимі засоби сигналізації вимикаються, реле перекриття газу повертається у відкрите положення для відновлення подачі газу, а вентилятор знеструмлюється. Це

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

забезпечує автоматичне повернення системи до стандартного моніторингового стану без необхідності втручання з боку користувача.

Окрім локального реагування, система підтримує функціональність віддаленого моніторингу та керування завдяки вбудованому WiFi-модулю ESP-01S. Після завершення локальної ініціалізації, модуль встановлює з'єднання з інтернетом через WiFi та підключається до платформи Blynk. Надалі відбувається постійний обмін даними із сервером: передаються оновлення про поточний стан газового сенсора, стан тривожної сигналізації та виконавчих елементів. У разі виявлення небезпечної ситуації модуль автоматично надсилає повідомлення на мобільний застосунок Blynk, інформуючи користувача про виявлення витoku.

Через мобільний інтерфейс користувач має змогу в режимі реального часу переглядати стан системи та керувати реле – вручну перекривати подачу газу або активувати вентилятор. Завдяки цьому реалізується не лише автоматичне, а й дистанційне реагування на потенційно небезпечні ситуації.

Таким чином, реалізований алгоритм забезпечує комплексну модель функціонування системи виявлення витоків газу: від стабільного моніторингу та локального захисту до інтеграції із хмарними сервісами управління. Такий підхід значно підвищує рівень безпеки житлових і виробничих приміщень та створює зручні умови для користувача, забезпечуючи як автоматичну, так і ручну взаємодію із системою.

3.2 Підготовка програмного середовища

3.2.1 Вибір та обґрунтування середовища програмування

У процесі створення програмного забезпечення для комп'ютеризованої системи контролю та запобігання витoku газу було прийнято рішення використовувати середовище Visual Studio Code у поєднанні з розширенням PlatformIO. Visual Studio Code вирізняється сучасним, ергономічним інтерфейсом та широким спектром функціональних можливостей, що робить його надзвичайно зручним для написання та організації коду. Підтримка численних мов

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмування, зокрема C/C++, робить це середовище особливо придатним для розробки мікроконтролерних застосунків. PlatformIO, як доповнення до VSC, допомагає автоматизувати багато аспектів проектування, включаючи завантаження прошивки, керування бібліотеками та сумісність з різними платформами. Крім того, вбудована інтеграція з системами контролю версій, такими як Git, дозволяє ефективно координувати розробку та слідкувати за змінами.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця середовищ розробки

Середовище	Мови програмування	Переваги	Недоліки	Підтримка мікроконтролерів
Visual Studio Code + PlatformIO	C/C++, Python	Гнучкість, розширення, підтримка Git	Потребує налаштувань	ESP32, ESP8266, AVR, STM32
Arduino IDE	C/C++	Простота у використанні, підтримка Arduino	Менше функцій, обмежена інтеграція	Arduino, ESP8266, ESP32
Atmel Studio	C/C++	Повна інтеграція з AVR	Лише Windows, складний інтерфейс	AVR
Eclipse + Arduino Plugin	C/C++	Гнучкість, розширюваність	Складність налаштування	Arduino, STM32, ESP32

Ще однією перевагою обраного комплексу є активна спільнота, що постійно оновлює інструменти, ділиться досвідом і надає підтримку при вирішенні проблем. Завдяки поєднанню функціональності VSC та гнучкості PlatformIO створено оптимальне середовище, що повністю відповідає вимогам до реалізації програмного забезпечення системи виявлення та запобігання витoku газу в приміщеннях [25].

3.2.2 Конфігурація середовища PlatformIO

Щоб ініціювати створення нового програмного проекту в PlatformIO, необхідно скористатися майстром створення («Project Wizard»), де задається назва майбутнього проекту (рис 3.2). У налаштуваннях обирається платформа

Після інсталяції система автоматично оновлює конфігураційний файл `platformio.ini`, додаючи відповідну директиву. Це дозволяє відразу використовувати функціонал бібліотеки без додаткових налаштувань. За аналогією були підключені й інші бібліотеки, необхідні для реалізації логіки обробки сигналів, керування виконавчими пристроями та передачі даних у межах проекту створення системи виявлення та попередження витoku газу.

3.3 Реалізація програмної частини системи

На початковому етапі реалізації програми до проекту підключаються необхідні бібліотеки – зокрема, стандартна Arduino та спеціалізована `MQUnifiedsensor`, що дозволяє забезпечити взаємодію мікроконтролера Arduino Nano з сенсором газу MQ-9. Наступним кроком виконується призначення пінів мікроконтролера для керування зовнішніми пристроями: червоним світлодіодом (`RED_LED_PIN`), звуковим сигналізатором (`BUZZER_PIN`), двома реле (`RELAY_1_PIN` та `RELAY_2_PIN`), а також піном, на який підключено аналоговий вихід газового сенсора (`GAS_SENSOR_PIN`).

Крім цього, у кодi встановлюються параметри налаштування для MQ-9, серед яких: модель контролера, тип датчика, значення напруги для вимірювань (`Voltage_Resolution`), кількість розрядів аналого-цифрового перетворювача (`ADC_Bit_Resolution`), а також співвідношення опорів у чистому повітрі (`RatioMQ9CleanAir`), що є базовим значенням для калібрування (рис. 3.6).

На основі заданих параметрів у програмному кодi створюється екземпляр класу `MQ9`, який інкапсулює функціональність сенсора та забезпечує зручну взаємодію з ним. Це дозволяє розробнику безпосередньо зчитувати рівень концентрації газів у повітрі та оперувати отриманими даними у рамках реалізованої логіки роботи системи.

У функції `setup()` виконується базове конфігурування апаратних ресурсів плати Arduino Nano: для контактів, що керують світлодіодом, звуковим сигналізатором і двома реле, задається режим виводу (`OUTPUT`).

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Головна логіка функціонування пристрою реалізується у нескінченному циклі функції `loop()`. Спершу викликається метод `update()` для оновлення поточних значень сенсора, після чого за допомогою `readSensor()` виконується безпосереднє зчитування рівня концентрації газу. Вимірне значення зберігається у змінній `sensorValue` та виводиться у послідовний порт для спостереження результатів у режимі реального часу (рис. 3.8).

```
40 void loop() {
41   MQ9.update(); // Оновлення даних датчика
42   float sensorValue = MQ9.readSensor();
43   Serial.print("MQ-9 Reading: ");
44   Serial.println(sensorValue);
45
46   if (sensorValue > GAS_THRESHOLD) {
47     // Увімкнення тривоги
48     digitalWrite(RED_LED_PIN, HIGH);
49     digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
50     digitalWrite(RELAY_1_PIN, LOW); // Вимкнення подачі газу
51     digitalWrite(RELAY_2_PIN, HIGH); // Увімкнення вентилятора
52   } else {
53     // Вимкнення тривоги
54     digitalWrite(RED_LED_PIN, LOW);
55     digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
56     digitalWrite(RELAY_1_PIN, HIGH); // Відновлення подачі газу
57     digitalWrite(RELAY_2_PIN, LOW); // Вимкнення вентилятора
58   }
59   delay(1000);
60 }
```

Рисунок 3.9 – Лістинг коду функції `loop()` для Arduino

У ході роботи системи, якщо зчитане значення змінної `sensorValue` перевищує наперед заданий поріг `GAS_THRESHOLD`, пристрій автоматично переходить у стан тривоги. У цьому режимі активуються попереджувальні елементи: вмикається червоний світлодіод, запускається п'єзосигналізатор, спрацьовує реле, що перекриває подачу газу, а також увімкнюється друге реле для активації вентиляції. Цей механізм дозволяє оперативно реагувати на потенційно небезпечну концентрацію газу в повітрі.

У разі, якщо рівень газу виявляється на безпечному рівні, тобто значення `sensorValue` не перевищує `GAS_THRESHOLD`, система повертається до стандартного робочого режиму. У такому стані вимикаються всі сигнальні та виконавчі елементи: світлодіод, динамік, реле перекриття подачі газу, натомість

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

зупиняється робота вентилятора. Після цього система готується до повторного циклу вимірювання.

На завершення кожної ітерації циклу loop() виконується пауза тривалістю 1 секунда. Це затримка потрібна для зменшення частоти опитування сенсора, зниження навантаження на контролер і забезпечення стабільної роботи пристрою.

Для контролю зв'язку з хмарним сервісом Blynk реалізована функція checkBlynk(). Вона перевіряє наявність підключення за допомогою методу Blynk.connected(). У випадку активного з'єднання у послідовний порт виводиться повідомлення про стабільне підключення. Якщо ж з'єднання втрачено – система інформує користувача про розрив зв'язку з сервером (рис. 3.10).

```
38 void checkBlynk() {
39     if (Blynk.connected()) {
40         Serial.println("Connected to Blynk server");
41     } else {
42         Serial.println("Disconnected from Blynk server");
43     }
44 }
```

Рисунок 3.9 – Лістинг коду функції check Blynk()

Функція BLYNK_WRITE() виконує обробку вхідного значення параметра param, зчитуючи переданий рівень газу (gasLevel) та переводячи його у формат цілого числа для подальшого аналізу (рис. 3.10).

```
55 // Віртуальні піни для отримання даних з Arduino Nano
56 BLYNK_WRITE(V5) {
57     int gasLevel = param.asInt();
58     if (gasLevel > GAS_THRESHOLD) {
59         Blynk.notify("Gas leakage detected!");
60         Blynk.virtualWrite(V3, 1); // Червоний світлодіод у додатку
61     } else {
62         Blynk.virtualWrite(V3, 0);
63     }
64 }
```

Рисунок 3.10 – Лістинг коду функції BLYNK_WRITE()

У випадку, якщо отримане значення перевищує встановлений поріг безпеки, система активує механізм оповіщення через сервіс Blynk: надсилається повідомлення про виявлення витoku газу, а віртуальний світлодіод у мобільному додатку перемикається в активний стан, шляхом запису одиниці до піну V3. Якщо ж концентрація газу не досягає критичного значення, відповідний індикатор у застосунку деактивується – до віртуального піну V3 записується нуль, що візуально відображає нормальний стан системи [27].

3.4 Реалізація взаємодії з платформою Blynk

3.4.1 Характеристика платформи Blynk

З метою реалізації функції дистанційного контролю та управління комп'ютеризованою системою для виявлення та запобігання витoku газу було обрано платформу Blynk. Такий вибір зумовлений її функціональністю, гнучкістю інтеграції та простотою використання.

Blynk вирізняється зручним інтерфейсом для створення мобільних застосунків, який не потребує спеціалізованої технічної підготовки з боку користувача. Це значно спрощує процес адаптації системи в побуті, надаючи змогу оперативно управляти всіма процесами та контролювати стан системи в реальному часі.

Однією з ключових переваг є широка підтримка апаратних платформ, зокрема таких як Arduino, ESP8266 та ESP32, що відкриває можливості для реалізації на різних апаратних рішеннях. В даному проекті використання Arduino Nano разом із Wi-Fi модулем ESP-01S повністю сумісне з Blynk, що забезпечує надійний обмін даними та стабільну роботу системи.

Blynk дозволяє реалізувати дистанційний перегляд показників сенсорів і управляти виконавчими елементами системи через інтернет. Завдяки цьому користувач отримує повідомлення про наявність загрози витoku газу, може переглядати стан датчика, а також вмикати чи вимикати обладнання – наприклад,

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

вентилятор або електропривід перекриття подачі газу – прямо з мобільного пристрою [28].

Окрім підтримки цифрових і аналогових сенсорів, Vlynk забезпечує гнучке підключення до реле та інших пристроїв керування, що дозволяє реалізувати повноцінну автоматизовану систему безпеки. Платформа також підтримує створення умовних сценаріїв автоматичного реагування: при перевищенні допустимого рівня газу система самостійно активує необхідні дії – надсилає оповіщення, перекриває подачу газу, вмикає вентиляцію.

Таким чином, використання платформи Vlynk забезпечує високий рівень інтерактивності, автоматизації та безпеки при реалізації системи виявлення витоку газу, поєднуючи надійність апаратної частини з мобільним зручним інтерфейсом керування.

Платформа Vlynk вирізняється високим рівнем гнучкості та можливістю масштабування, що дозволяє користувачам самостійно формувати інтерфейс керування залежно від поточних потреб. Інструменти візуального налаштування інтерфейсу надають змогу додавати нові елементи управління та моніторингу, розширюючи функціонал системи без внесення значних змін у програмний код. Це дає змогу легко адаптувати рішення до змін у конфігурації обладнання або оновлення функцій у майбутньому.

Однією з ключових переваг Vlynk є здатність працювати з даними у режимі реального часу. Оперативне оновлення інформації забезпечує своєчасне виявлення загрозливих ситуацій, що є критично важливим для запобігання аваріям, пов'язаним із витоком газу. Швидке інформування користувача про підвищену концентрацію газу дозволяє миттєво вжити заходів безпеки, зокрема – перекрити газопостачання або активувати вентиляцію.

Крім того, використання платформи значно полегшує розробку програмного забезпечення для системи. Завдяки відкритим бібліотекам, прикладам та документації, інтеграція з апаратною частиною відбувається без ускладнень. Це скорочує час розробки, знижує потребу в написанні складного коду з нуля і дозволяє зосередитись на реалізації логіки керування та безпеки.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, вибір Vlynk як основного інструменту для реалізації дистанційного керування системою виявлення витoku газу є цілком виправданим. Поєднання зручного користувацького інтерфейсу, підтримки різноманітних мікроконтролерів, ефективної інтеграції з виконавчими елементами та сенсорами, а також можливості автоматизованого реагування та розширення функціональності робить платформу оптимальним рішенням для побудови сучасної інтелектуальної системи безпеки.

3.4.2 Конфігурація платформи Vlynk

Початковий етап налаштування хмарної платформи Vlynk полягав у створенні облікового запису користувача, що відкривало доступ до функцій дистанційного керування пристроями. Після входу в додаток було створено новий проєкт, у якому зазначено ім'я системи та вибрано відповідну апаратну платформу – ESP8266[29]. У результаті генерації проєкту користувач отримав токен автентифікації, який автоматично надіслався на електронну пошту. Цей токен є обов'язковим для встановлення зв'язку мікроконтролера з сервером Vlynk та його необхідно додати у програмний код пристрою.

У межах графічного інтерфейсу мобільного застосунку було додано необхідні елементи керування:

- Gauge (шкала) – використовується для візуалізації концентрації газу, прив'язаний до віртуального піну V5.
- LED (індикатор) – сигналізує про стан тривоги, пов'язаний із піном V3.
- Notification – забезпечує надсилання повідомлень про аварійну ситуацію на смартфон користувача.

Після завершення налаштування кожен віджет було інтегровано з відповідними програмними методами у прошивці контролера, що забезпечило стабільну та зручну взаємодію з системою в режимі реального часу (рис. 3.12).

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

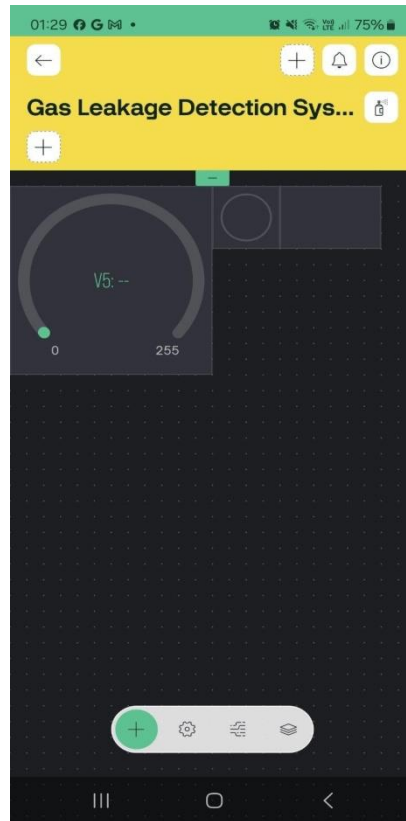


Рисунок 3.12 – Графічний інтерфейсу мобільного застосунку

Таким чином, конфігурація Vlynk дала змогу забезпечити повноцінне віддалене спостереження за параметрами роботи пристрою, а також своєчасне реагування на ситуації, пов'язані з виявленням витoku газу.

3.5 Тестування системи

Заключним етапом було тестування системи. У мобільному застосунку Vlynk виконувалася перевірка з'єднання з мікроконтролером, зчитування рівня газу та функціонування тривожних сигналів. Також тестувалася передача сповіщень про витік газу на мобільний пристрій.

Тестування проводилося з метою перевірки функціональності, надійності та відповідності технічним вимогам. Основна увага приділялася роботі сенсора MQ-9, активації захисних механізмів і стабільності зв'язку з платформою Vlynk. Система розміщувалася в тестовому приміщенні, де змінювалися рівні концентрації газу для оцінки реакції пристрою.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Результати тестування

Етап тестування	Умови	Результати	Висновок
1. Нормальний режим	Газ відсутній	Індикатори вимкнені, система стабільна	Система працює коректно в безпечних умовах
2. Аварійний режим	Перевищено поріг газу	Сигналізація активована, реле перекриває подачу газу	Система оперативно реагує на небезпеку
3. Сповіщення через Blynk	Симуляція витоку газу	Надіслані сповіщення, індикатори активні	Надійне сповіщення та контроль
4. Відновлення після збоїв	Втрати живлення або Wi-Fi	Система швидко відновлює роботу	Система стійка до збоїв

На основі результатів тестування встановлено, що комп'ютеризована система виявлення та запобігання витоку газу в приміщенні відповідає вимогам безпеки та демонструє стабільну роботу в різних умовах. Вона забезпечує швидке реагування на небезпечні ситуації, дистанційне керування та інформування користувача в режимі реального часу.

Висновок до розділу

У третьому розділі було детально розглянуто етапи реалізації комп'ютеризованої системи виявлення та запобігання витоку газу. Розроблено структурований алгоритм функціонування, обґрунтовано вибір апаратної платформи Arduino Nano та модулів ESP-01S, MQ-9, а також налаштовано відповідне середовище розробки на базі Visual Studio Code з розширенням PlatformIO. Проведено інтеграцію необхідних бібліотек та реалізовано програмне забезпечення, що забезпечує коректну обробку даних сенсора та керування виконавчими пристроями.

Особливу увагу було приділено взаємодії з хмарною платформою Blynk, що дозволила реалізувати віддалене керування, моніторинг та сповіщення у реальному часі. Під час тестування система продемонструвала стабільну роботу, високу чутливість до змін концентрації газу та ефективність заходів безпеки.

Таким чином, розроблена система повністю відповідає поставленим технічним вимогам, поєднує функціональність, доступність і простоту у впровадженні, що робить її придатною для використання у побутових та промислових умовах.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті реалізації проєкту було розроблено сучасну комп'ютеризовану систему виявлення та запобігання витoku газу, яка поєднує інтелектуальні апаратно-програмні рішення з високим рівнем функціональної адаптивності та зручності у використанні. Система базується на мікроконтролері Arduino Nano у поєднанні з Wi-Fi модулем ESP-01S і сенсором MQ-9, що дозволяє здійснювати безперервний моніторинг концентрації газу в повітрі у режимі реального часу. При виявленні небезпечного рівня газу система автоматично активує захисні механізми – зокрема звукову сигналізацію, запуск вентиляції та перекриття подачі газу, що значно підвищує оперативність реагування на потенційні загрози.

Особливу роль у реалізації проєкту відіграла інтеграція з мобільною платформою Blynk, яка забезпечила зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для моніторингу параметрів системи та дистанційного керування її роботою. Це дозволило досягти високого рівня мобільності та гнучкості у використанні розробленого рішення. Підтримка керування системою через Інтернет відкриває додаткові можливості для її використання у віддалених або складнодоступних місцях, де присутність користувача обмежена або неможлива.

Результати експериментального тестування підтвердили точність, надійність і стабільність функціонування системи в умовах, наближених до реальних. Система продемонструвала здатність своєчасно виявляти витoki газу, коректно генерувати сповіщення та реалізовувати автоматичне реагування на загрози. Висока адаптивність рішення дозволяє масштабувати його відповідно до різних умов експлуатації, а також легко інтегрувати з іншими сенсорами, модулями або системами в межах концепцій «розумного дому» або промислової автоматизації.

Створена комп'ютеризована система не лише повністю відповідає заявленим технічним вимогам, а й демонструє високий потенціал до подальшого розвитку. Її впровадження сприяє значному підвищенню рівня безпеки в

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

житлових, комерційних і промислових приміщеннях, а також закладає основу для майбутніх інновацій у сфері моніторингу довкілля та управління критичними системами.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Безпека при експлуатації газових установок: підручник / за ред. О. М. Якименка. Київ: Ліра-К, 2021. – 256 с.
2. Савченко П. І. Газова безпека: промисловий та побутовий аспекти. Харків: Університетська книга, 2019. – 184 с.
3. Мельничук С. А. Технічне обслуговування газових мереж. Львів: Новий Світ, 2020. – 132 с.
4. Сидоренко О. А. Побутовий газ: фізичні властивості та безпека використання. Київ: Наукова думка, 2018. – 124 с.
5. MQ Gas Sensor Series. URL: <https://www.pololu.com> (дата звернення: квітень 2025).
6. NDIR Gas Sensors – Principles and Applications. URL: <https://www.co2meter.com> (дата звернення: квітень 2025).
7. Honeywell Sensepoint XCL: URL: <https://sps.honeywell.com/us/en/products/safety/gas-and-flame-detection/fixed-gas-detectors/sensepoint-xcl> (дата звернення: квітень 2025).
8. Dräger PointGard 2200. URL: <https://www.draeger.com> (дата звернення: квітень 2025).
9. Honeywell ConneXt: <https://sps.honeywell.com> (дата звернення: квітень 2025).
10. Panther PRO. URL: <https://www.ionscience.com/product/panther-pro/> (дата звернення: квітень 2025).
11. Heiman HS1CG-E: URL: <https://www.heimantech.com>121. Heiman WS2CG: <https://www.heimantech.com> (дата звернення: квітень 2025).
12. Ковальчук О. Arduino: від азів програмування до створення практичних пристроїв. – Київ: Arduino.ua, 2022. – 312 с.
13. Рожко В. І., Бойко М. І. Мікроконтролери AVR в пристроях автоматики. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2019. — 276 с.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

14. Сітало І.В., Наконечний С.І. Системи на мікроконтролерах: навч. посібник. Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. – 310 с.
15. Технічна документація ESP8266. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266> (дата звернення: квітень 2025).
16. Технічна документація ESP32. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>(дата звернення: травень 2025).
17. Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf (дата звернення: травень 2025).
18. ArduinoDocumentation. URL: <https://docs.arduino.cc> (дата звернення: травень 2025).
19. Schwartz M. Internet of Things with ESP8266. – Birmingham: Packt Publishing, 2016. – 192 p.
20. Левченко В. А. Основи цифрової схемотехніки : навч. посіб. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 156 с.
21. Войцехович І. В. Сенсорні модулі та мікроконтролери в автоматизованих системах : навч. посіб. – Київ: Ліра-К, 2020. – 204 с.
22. Інтернет-ресурс. MQ-9 Gas Sensor Datasheet. URL: <https://www.winsensor.com/d/files/semiconductor/mq-9.pdf> (дата звернення: травень 2025).
23. Князьков С.І. Основи побудови вбудованих систем з використанням Arduino. – Київ: Техніка, 2020. – 240 с.
24. Smart Gas Valve Controller. URL: <https://smartgas.com/manual> (дата звернення: травень 2025).
25. Михайлов С.В., Сенсорні технології в автоматизованих системах: навчальний посібник. Київ: НАУ, 2020. – 212 с.
26. Сергієнко В. П. Релейні модулі в системах автоматизації. Харків: ХНУРЕ, 2020. – 168 с.
27. Гордієнко, П. С. Проєктування друкованих плат в онлайн-середовищі EasyEDA. Електроніка та робототехніка, 2021. – № 2(18). – С. 32–36.

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. КемпбеллМ. Visual Studio Code. Посібник для початківців. – Київ: Діалектика, 2020. – 240 с.

29 Офіційна документація PlatformIO. URL: <https://docs.platformio.org> (дата звернення: квітень 2025).

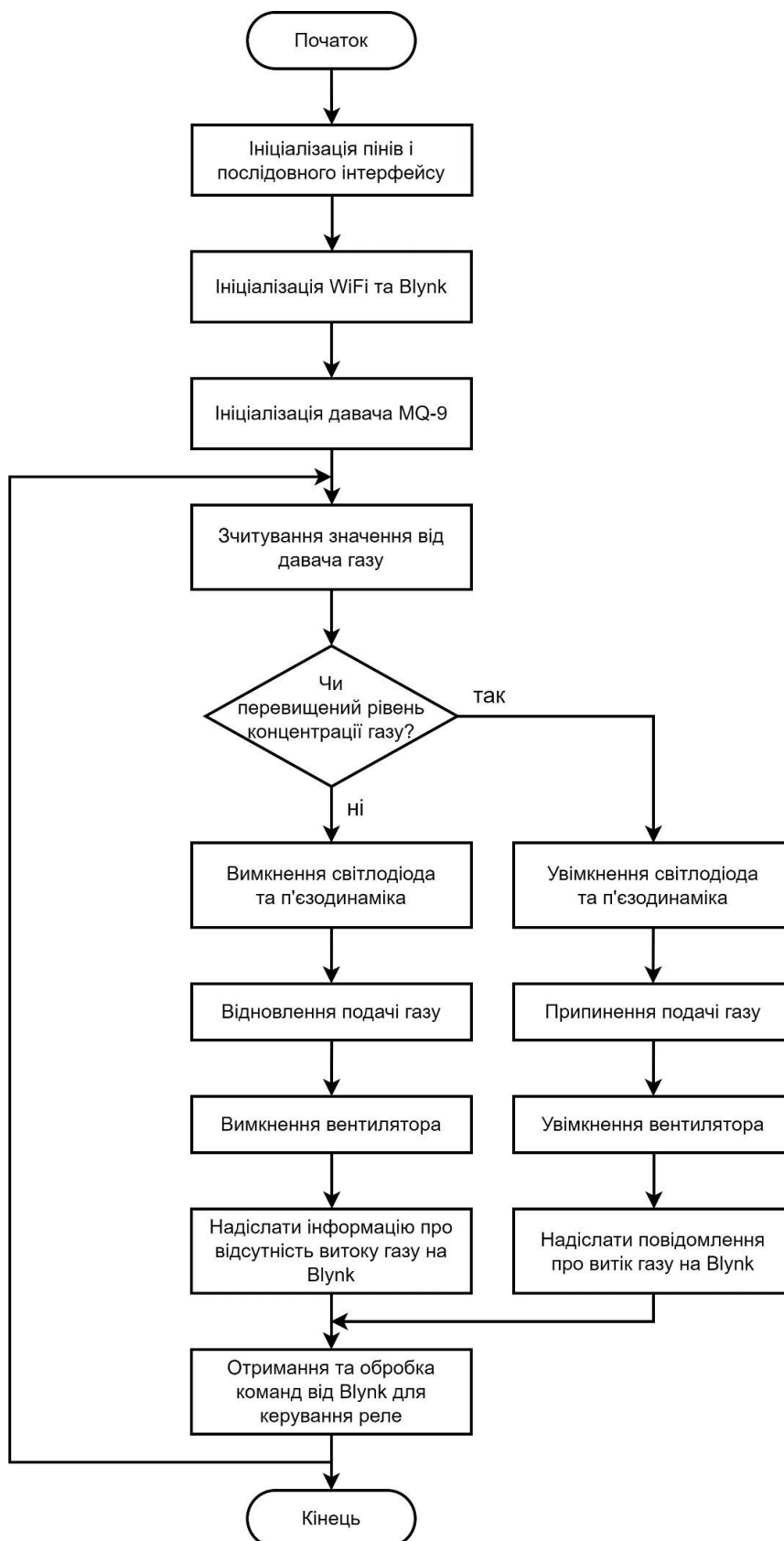
30. Браун Дж. Вбудоване програмування для мікроконтролерів. – Харків: Фоліо, 2021. – 275 с.

31. BlynkIoTPlatformDocumentation. URL: <https://docs.blynk.io> (дата звернення: квітень 2025).

32. Blynk Library for Arduino, ESP8266, ESP32. URL: <https://github.com/blynkkk/blynk-library> (дата звернення: травень 2025).

					БР.КІ-08.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Рисунок А.1 – Блок-схема алгоритму роботи системи виявлення та запобігання витіку газу в приміщенні



Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера платформи Arduino Nano для реалізації системи виявлення та запобігання витоку газу в приміщенні

```
#include <Arduino.h>
#include<MQUnifiedsen
sor.h>

// Піни
підключення
#define RED_LED_PIN 9

#define BUZZER_PIN 11

#define RELAY_1_PIN 2

#define
RELAY_2_PIN 3
#define GAS_SENSOR_
PIN_A0

// Параметри MQ-9
#define Board "Arduino"
#define Type "MQ-9"

#define Voltage_Resolution 5

#define ADC_Bit_Resolution 10

#define RatioMQ9CleanAir 9.8

MQUnifiedsensor MQ9(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution,
GAS_SENSOR_PIN, Type);

// Порогові значення для тривоги
const float GAS_THRESHOLD = 200.0;

void setup() {
    pinMode(RED_LED_PIN, OU
```

```

TPUT);
pinMode (BUZZER_PIN,
OUTPUT);
pinMode (RELAY_1_PIN,OU
TPUT);
pinMode (RELAY_2_PIN,OU
TPUT);

digitalWrite (RED_LED_PIN,LOW);
digitalWrite (BUZZER_PIN, LOW);

digitalWrite (RELAY_1_PIN,HIGH);//Реле нормально замкнене
digitalWrite (RELAY_2_PIN, LOW);// Вентилятор вимкнено

Serial.begin (9600
); MQ9.init();

Serial.println ("MQ-9 warming up!");
delay (20000);//Час для нагрівання датчика
}

void loop () {

MQ9.update();//Оновлення даних датчика
float sensorValue = MQ9.readSensor();
Serial.print ("MQ-9 Reading: ");
Serial.println (sensorValue);

if (sensorValue>GAS_THRESHOLD) {

// Увімкнення тривоги
digitalWrite (RED_LED_PIN,HIGH)
; digitalWrite (BUZZER_PIN,
HIGH);

digitalWrite (RELAY_1_PIN, LOW);// Вимкнення подачі газу
digitalWrite (RELAY_2_PIN,HIGH);//Увімкнення вентилятора
}else{

// Вимкнення тривоги
digitalWrite (RED_LED_PIN,LOW);
digitalWrite (BUZZER_PIN, LOW);
}
}

```

```
digitalWrite(RELAY_1_PIN,HIGH);//Відновлення подачі газу
digitalWrite(RELAY_2_PIN, LOW);// Вимкнення вентилятора
}
delay(1000);
}
```

Лістинг В.2 – Код програми мікроконтролера Wi Fi модуля для реалізації дистанційної взаємодії з IoT платформою Blynk

```
#define BLYNK_PRINT
Serial #include
<ESP8266WiFi.h>
#include<BlynkSimpleEsp8
266.h>

char auth[] =
"AuthToken";
charssid[]="NetworkNam
e"; char pass[] =
>Password";

// Піни
підключення
#defineRELAY_1_PIN
D1
#defineRELAY_2_PIN
D2

BlynkTimertimer;

voidsetup() {

    // Налаштування піни реле
    pinMode(RELAY_1_PIN,OUTPUT);
    pinMode(RELAY_2_PIN,OUTPUT);

    //Початковий стан реле
    digitalWrite(RELAY_1_PIN, HIGH); // Нормально замкнене
    digitalWrite(RELAY_2_PIN,LOW); //Вентилятор вимкнено
    Serial.begin(9600);

    Blynk.begin(auth,ssid,pass);

    //Таймер для перевірки підключення до Blynk
    timer.setInterval(1000L, checkBlynk);

}
```

```

void loop() {
  Blynk.run();

  timer.run();
}

void checkBlynk() {
  if (Blynk.connected()) {
    Serial.println("Connected to Blynk server");
  } else {
    Serial.println("Disconnected from Blynk server");
  }
}

//Віртуальні пini для керування реле з додатка Blynk
BLYNK_WRITE(V1) {

  int relay1State = param.asInt();
  digitalWrite(RELAY_1_PIN, relay1State);

}

BLYNK_WRITE(V2) {

  int relay2State = param.asInt();
  digitalWrite(RELAY_2_PIN, relay2State);

}

//Віртуальні пini для отримання даних з Arduino Nano
BLYNK_WRITE(V5) {

  int gasLevel =
  param.asInt();
  if (gasLevel > GAS_THRESHOLD) {

    Blynk.notify("Gas leakage detected!");
    Blynk.virtualWrite(V3, 1); //Червоний світло діод у
    додатку
  }
}

```

```
} else {  
  Blynk.virtualWrite(V  
    3,0);  
}  
}
```

БІБЛОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: **Розробка мікроконтролерної системи виявлення та сигналізації витоку газу в приміщенні на платформі Atmega 328PU**

Обсяг пояснювальної записки 57 аркушів:

12 таблиць;

29 рисунків;

3 додатки.

Дата завершення роботи: *09 червня 2025р.*

Підпис студента- _____ *Долід Р.В.*