

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: **Комп'ютеризована система вимірювання витрат та контролю
витоку природного газу у побутовому секторі**

Виконала: студентка 2 курсу, групи ІВТ-3м
Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»
Волинець Юлія Григорівна
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор
Подчашинській Юрій Олександрович
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент:

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« 4 » листопада 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студентка Волинець Юлія Григорівна

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система вимірювання витрат та контролю витоку природного газу у побутовому секторі

Керівник роботи: д.т.н., професор Подчашинський Юрій Олександрович

затверджена наказом по університету від « 4 » листопада 2025 р. № 622/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 23 » грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Вдосконалення системи вимірювання витрати та функції комп'ютеризованої контролю витоку природного газу шляхом додавання датчиків; галузь застосування системи комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз існуючих методів вимірювання витрати газу, розробка структурної схеми системи, вибір технічних засобів вимірювальної системи, розробка алгоритму та програми для вимірювальної системи та обробки вимірювальної інформації, оцінка вимірюваних значень витрати та витоку газу; розрахунок метрологічних характеристик системи

5. Перелік графічного матеріалу

структурна схема вимірювань, принципова схема вимірювальної системи, блок-схема алгоритму роботи вимірювальної системи

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-2	Подчашинський Ю.О.		
3-5	Подчашинський Ю.О.		

7. Дата видачі завдання 4 листопада 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз існуючих пристроїв вимірювання витрати газу	14.11.25 – 17.11.25	Виконано
2	Формулювання завдання роботи	18.11.25 – 19.11.25	Виконано
3	Аналіз покращень пристрою	20.11.25 – 23.11.25	Виконано
4	Розробка структурної схеми	24.11.25 – 25.11.25	Виконано
5	Розробка алгоритму та коду програми	26.11.25 – 28.11.25	Виконано
6	Розробка програми оцінки метрологічних характеристик	29.11.25 – 30.11.25	Виконано
7	Проведення експерименту з виміряними даними	1.12.25 – 11.12.25	Виконано
8.	Обробка відібраних джерел для основних розділів роботи	12.12.25 – 14.12.25	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації	15.12.25 – 23.12.25	Виконано

Студентка

Волинець Ю.Г.

(підпис)

Керівник роботи

Подчашинський Ю.О.

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему «Комп'ютеризована система вимірювання витрат та контролю витоку природного газу у побутовому секторі». В дипломній магістерській роботі розроблена комп'ютеризована система вимірювання витрат та контролю витоку природного газу. Зроблений аналіз існуючих методів вимірювання. Проведений аналіз та вибір складових елементів системи. Розроблена структурна та принципова електрична схема. Розроблена друкована плата пристрою. Розроблена блок-схема алгоритму роботи програми та відповідна програма. Для контролю та обробки вимірювальних даних було обрано мікроконтролер ESP8266.

Ключові слова: лічильник газу, інформаційно-вимірювальні системи, ротор лічильника, витратомір, датчик Холла, датчик газу, ESP8266 мікроконтролер, похибки вимірювань.

ABSTRACT

Master's thesis on 'Computerised system for measuring consumption and controlling natural gas leaks in the domestic sector'. The master's thesis develops a computerised system for measuring consumption and controlling natural gas leaks. An analysis of existing measurement methods is provided. The components of the system are analysed and selected. A structural and schematic electrical diagram is developed. A printed circuit board for the device is developed. A block diagram of the program's algorithm and the corresponding program are developed. The ESP8266 microcontroller is selected for monitoring and processing measurement data.

Keywords: gas meter, information and measurement systems, meter rotor, flow meter, Hall sensor, gas sensor, ESP8266 microcontroller, measurement errors.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена розробці *комп'ютеризованої системи вимірювання витрат та контролю витоку природного газу у побутовому секторі* з можливістю дистанційного моніторингу вимірювальних даних.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення точності його обліку та рівня експлуатаційної безпеки. Більшість існуючих побутових лічильників забезпечують лише вимірювання витрати газу та не мають засобів контролю витоку, що унеможлиблює виявлення малих концентрацій газу без використання додаткових приладів. Крім того, встановлення лічильників у важкодоступних місцях ускладнює оперативне зчитування показників. Упровадження комп'ютеризованої системи вимірювання з інтегрованими датчиками витрати та витоку газу, а також можливістю дистанційної передачі даних, дозволяє підвищити точність обліку, своєчасно виявляти аварійні ситуації та забезпечити віддалений моніторинг параметрів споживання газу.

Метою даної роботи є розробка нової комп'ютеризованої системи для вимірювання витрати газу в побутовому секторі з розширеними технічними та підвищеними метрологічними характеристиками.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі задачі: проведено аналіз існуючих витратомірів газу; вибір контрольованого параметра; розроблено структурну та принципову схеми ІВС; розроблена блок-схема та програма пристрою для збору, обробки та передачі вимірних даних; обробка експериментально вимірних даних та підтвердження метрологічних характеристик системи.

Об'єктом дослідження є процеси вимірювання витрати газу в побутовому секторі.

Предметом дослідження є комп'ютеризована система для вимірювання витрати та витоку газу в побутовому секторі.

Методи дослідження базуються на аналітичному виведенні рівнянь математичної моделі вимірювального каналу, використанні методів визначення

витрати та витоку газу, використанні обчислювальних блоків у вимірювальному каналі, застосуванні методів комп'ютерного моделювання з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

У *першому розділі* роботи виконано огляд та аналіз сучасних методів і засобів вимірювання витрати природного газу в побутовому секторі. Розглянуто класифікацію витратомірів газу, принципи їх роботи, конструктивні особливості побутових лічильників, зокрема роторного типу. Проаналізовано існуючі методи вимірювання об'єму та витрати газу, а також їхні переваги та недоліки. На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність використання роторного лічильника газу як базового елемента комп'ютеризованої системи.

У *другому розділі* розроблено структурну схему комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи вимірювання витрат та контролю витоку природного газу. Розглянуто фізичні принципи роботи датчика Холла та напівпровідникового датчика газу, виконано обґрунтування вибору мікроконтролера, датчиків та пристроїв індикації. Визначено склад і функціональне призначення основних елементів системи, а також описано принцип їх взаємодії в межах вимірювального каналу.

У *третьому розділі* описано вибір елементної бази та розробка принципової електричної схеми комп'ютеризованої системи. Обґрунтовано вибір основних апаратних компонентів, зокрема мікроконтролера ESP8266, датчика Холла А3144, датчика газу MQ-4, OLED дисплею та світлодіода. Розроблено принципову електричну схему пристрою та друковану плату, а також запропоновано схему живлення, що забезпечує стабільну та надійну роботу системи.

У *четвертому розділі* розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованої системи. Створено блок-схему алгоритму роботи пристрою та програму для збору, обробки й передачі вимірювальних даних. Реалізовано алгоритми підрахунку витрат газу, виявлення витоку та передачі інформації на веб-сторінку для дистанційного моніторингу параметрів у режимі реального часу.

У *п'ятому розділі* описана обробка експериментальних даних та оцінка метрологічних характеристик системи. Розроблено імітаційну модель лічильника газу, виконано розрахунок похибок вимірювання та статистичну обробку результатів експерименту. За отриманими даними підтверджено працездатність розробленої системи та відповідність її метрологічних характеристик допустимим нормам..

Наукова новизна даної роботи полягає в: вдосконаленні структурної схеми комп'ютеризованої системи для вимірювання витрати природного газу в побутовому секторі; вдосконалено програмно-алгоритмічний метод визначення витрати та витоку газу на основі чисельного обрахунку та дистанційного виводу на веб-сторінку.

Практична цінність даної роботи полягає в можливості використання розробленої комп'ютеризованої системи для автоматизованого обліку витрат та дистанційного контролю витоку природного газу, підвищення точності й надійності вимірювань, а також розширення функціональних можливостей побутових газових лічильників і інформаційно-вимірювальних систем енергетичного призначення.

Дана робота складається з анотації, реферату, вступу, 5 основних розділів, висновку, переліку використаних літературних джерел та додатків. Робота викладена на 97 сторінках основного тексту і містить 63 рисунки, 11 формул, 4 таблиці та 37 джерел.

Ключові слова: лічильник газу, інформаційно-вимірювальні системи, ротор лічильника, витратомір, датчик Холла, датчик газу, ESP8266 мікроконтролер, похибки вимірювань.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПОБУТОВОГО ГАЗУ.....	13
1.1.Огляд існуючих методів вимірювання витрати газу.....	13
1.2 Будова лічильника.....	17
1.3. Принцип вимірювання об'єму газу за допомогою роторного лічильника.....	20
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	22
2.1 Фізичний принцип роботи датчика Холла.....	22
2.2 Фізичний принцип роботи датчика газу.....	23
2.3 Обґрунтування мікропроцесору.....	23
2.4 Обґрунтування датчика Холла.....	28
2.5 Обґрунтування датчика газу.....	30
2.6 Обґрунтування дисплею.....	33
2.7 Обґрунтування вибору живлення.....	37
2.8 Побудова структурної схеми.....	39
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	42
3.1 Вибір елементної бази.....	42
3.2 Побудова принципової схеми пристрою.....	45
3.3 Побудова друкованої плати пристрою.....	47
4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	50
4.1 Розробка блок-схеми пристрою.....	50
4.2 Розробка коду програми.....	53
5. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ.....	63
5.1 Розробка імітаційної моделі лічильника.....	63
5.2 Структурна схема макету лічильника.....	66
5.3 Розрахунок похибок.....	67
5.4 Тестування роботи програми.....	75
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
ДОДАТКИ.....	85
Додаток А.....	86
Додаток Б.....	87
Додаток В.....	88
Додаток Г.....	89
Додаток Д.....	93
Додаток Е.....	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

KIBC – комп’ютеризована інформаційно-вимірювальна система;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

АЛП – арифметико-логічний пристрій;

ПЗУ – постійний запам’ятовувальний пристрій;

ДП – друкована плата;

МК – мікроконтролер;

ГРІО – цифрові входи/виходи;

СКВ – середнє квадратичне відхилення.

ВСТУП

Актуальність теми. Широке застосування природного газу у промисловості та господарстві вимагає обов'язкового впровадження ефективних систем газової безпеки. Невід'ємною частиною цих систем є пристрої, які забезпечують точний і зрозумілий користувачеві контроль за витратою та можливим витоком газу. Це пов'язано з тим, що стандартний метод зчитування є недостатньо точним, а ідентифікація малих витоків вимагає використання спеціальних приладів.

Хоча на ринку представлено багато типів витратомірів, більшість з них не мають датчику витоку газу. Це значний недолік конструкції, що мав бути передбачений. Адже визначити незначний витік газу неможливо без спеціальних приладів, що у свою чергу створює потенційну загрозу для користувача побутовим газом.

Також суттєвим чинником для створення можливості перегляду витрати газу через мобільний телефон є те, що лічильники часто встановлені у важкодоступних місцях, що ускладнює зчитування показників. Така комп'ютеризована система дозволить ефективно контролювати витрати газу у домогосподарствах без фізичного доступу до лічильника.

Отже, актуальність розробки комп'ютеризованої системи для обліку обсягу спожитого газу в домогосподарствах полягає в точних вимірювань витрати газу, попередження його витоку та передачу вимірюваних даних дистанційно на веб-сторінку.

Метою даної роботи є розробка нової комп'ютеризованої системи для вимірювання витрати газу в побутовому секторі з розширеними технічними та підвищеними метрологічними характеристиками.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вибір контрольованого параметра і розробка на його основі структури KIBC для вимірювання витрати газу;

- розробка структурної та принципової схеми комп'ютеризованої системи вимірювання;
- розробка блок-схеми алгоритму та програми;
- розробка метрологічного забезпечення КІВС шляхом експериментального підтвердження метрологічних похибок виміряних значень.

Об'єкт дослідження – процеси вимірювання витрати газу в побутовому секторі.

Предмет дослідження – комп'ютеризована система для вимірювання витрати та витоку газу в побутовому секторі.

Методи дослідження базуються на аналітичному виведенні рівнянь математичної моделі вимірювального каналу, використанні методів визначення витрати та витоку газу, використанні обчислювальних блоків у вимірювальному каналі, застосуванні методів комп'ютерного моделювання з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- 1) Удосконалено структурну схему комп'ютеризованої системи для вимірювання витрати природного газу в побутовому секторі;
- 2) Удосконалено програмно-алгоритмічний метод визначення витрати та витоку газу на основі чисельного обрахунку та дистанційного виводу на веб-сторінку.

Практична цінність даної роботи полягає в:

- 1) можливості використання розробленої комп'ютеризованої системи для автоматизованого обліку витрат та дистанційного контролю витоку природного газу;
- 2) підвищення точності й надійності вимірювань;
- 3) розширення функціональних можливостей побутових газових лічильників і інформаційно-вимірювальних систем енергетичного призначення;

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, реферату, вступу, 5 основних розділів, висновку, переліку використаних

літературних джерел та додатків. Робота викладена на 97 сторінках основного тексту і містить 63 рисунки, 11 формул, 4 таблиці та 37 джерел.

Публікації. За темою кваліфікаційної магістерської роботи було опубліковано 1 тезу науково-практичної конференції:

1. Лугових О. О., Волинець Ю. Г. Комп'ютеризована система вимірювання витрат та контролю витоку природного газу в побутовому секторі. Тези XV Міжнародної науково-технічної конференції, 28–29 березня 2025 року. Житомир: «Житомирська політехніка», 2025, с. 281-284. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/informatsiyno-komp%CA%BCyuterni-tekhnohohiyi-28-29-berezhnya-2025-r/>

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПОБУТОВОГО ГАЗУ

1.1.Огляд існуючих методів вимірювання витрати газу

У сучасній промисловій діяльності одним із ключових аспектів є точне й ефективне управління потоками газу, що своєю чергою, вимагає використання надійних і точних пристроїв для вимірювання його витрати. Витратоміри газу відіграють у цьому процесі провідну роль, надаючи підприємствам необхідні дані для оптимізації виробничих процесів, скорочення витрат на енергоресурси та мінімізації впливу на навколишнє середовище

Витратоміри газу – це пристрої, призначені для вимірювання об'ємної або масової витрати газу в трубопроводі. Залежно від принципу дії вони поділяються на кілька типів (кожен тип має свої особливості, які роблять його кращим для конкретних умов експлуатації та видів газу):

- Об'ємні витратоміри вимірюють об'єм газу, що проходить через вимірювальну камеру за певний проміжок часу. Ці пристрої ідеально підходять для точних вимірювань при низьких і середніх тисках.



Рисунок 1.1.1 – Приклад об'ємного витратоміру

- Турбінні витратоміри використовують обертання турбіни в потоці газу для визначення його швидкості, яка прямо пропорційна об'ємній витраті. Вони вирізняються високою точністю і надійністю в широкому діапазоні робочих умов.



Рисунок 1.1.2 – Приклад турбінного витратоміру

- Вихрові витратоміри засновані на ефекті кишенькових вихорів, що виникають за перешкодою в потоці газу. Перевагами цього типу є відсутність рухомих частин і можливість використання в умовах високих температур і тисків.



Рисунок 1.1.3 – Приклад вихрового витратоміру

- Ультразвукові витратоміри вимірюють час проходження ультразвукових сигналів у напрямку потоку і проти нього, що дає змогу визначити швидкість потоку і відповідно його витрату. Ці пристрої характеризуються високою точністю вимірювань і здатністю працювати без втручання в потік газу.

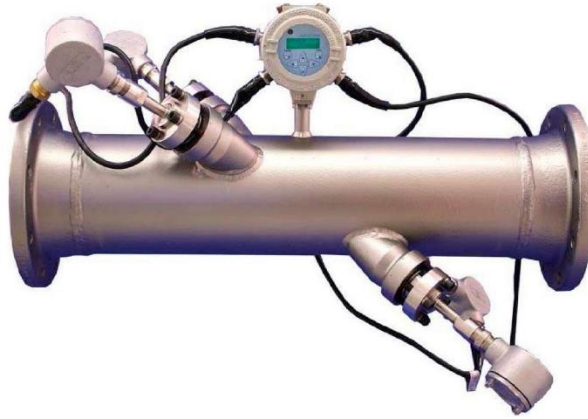


Рисунок 1.1.4 – Приклад ультразвукового витратоміру

- Коріолісові витратоміри визначають масову витрату газу, вимірюючи силу Коріоліса, що діє на вібруючий потік газу всередині трубки. Вони мають високу точність і надійність у широкому діапазоні умов.



Рисунок 1.1.5 – Приклад коріолісового витратоміру

- Теплові витратоміри засновані на вимірюванні кількості тепла, що поглинається або віддається газом під час його проходження через вимірювальну ділянку. Цей тип витратомірів підходить для вимірювання малих витрат газів[1].



Рисунок 1.1.6 – Приклад теплового витратоміру

Згідно з метою цієї роботи я розробляю пристрій для побутового сектора, тому зосереджую увагу на побутових лічильниках газу, а ті що використовуються у промислових масштабах – відкидаю.

Типи побутових лічильників газу:

- Мембранні

Використовується на малих витратах газу. Основна перевага таких газових лічильників - простота в експлуатації і виготовленні, що дає їм достатньо високу точність вимірювань. З мембранним газовим лічильником не буде проблем з впливом магнітного поля на показання або поява газу під склінням циферблатом.

- Ротаційні

Одні з перших, а тому були масово поширені. У середині ротаційного газового лічильника обертається ротор налаштований на один оборот при витісненні певного обсягу газу. На рахунковому механізмі лічильника буде видно кількість обертів пророблені ротором.

- Ультразвукові лічильники

Ультразвук, який пускається проти ходу і по ходу струму газу, має різницю в швидкості руху, пропорційну швидкості руху газу. Порівнюючи їх, отримують швидкість потоку і, таким чином, обсяг і витрату газу[2].

1.2 Будова лічильника

В даному підрозділі описані дані роторного лічильника. Пристрій, що розробляється в даному дипломному проекті, сконструйований спеціально для цього виду лічильників. Тому, що датчик Холла, який виконує основну функцію в цьому пристрої має зчитувати поворот ротора в лічильнику газу.

Лічильник газу складається з вимірювача та відлікового пристрою (склад та будова лічильників показана на рисунку 1.2.1). Вимірювач складається з корпусу (1) і розміщених в ньому двох роторів (2) вісімкоподібної форми, які розташовані у взаємно перпендикулярному положенні і обертаються в протилежних напрямках. Корпус з двох сторін закритий стінками (3), на яких змонтовані дві пари підшипників, що є опорами роторів. На валах роторів установлені синхронізуючі шестерні (4), які забезпечують належне положення одного ротора відносно іншого при їх обертанні. Шестерні герметично закриті кришкою (5), яка утворює камеру шестерень. На валу одного з роторів змонтована півмуфта. Вимірювач кришкою (6) герметично відокремлений від пристрою відлікового. Пристрій відліковий (7) складається з механізму відлікового і кінематично зв'язаної з ним магнітної півмуфти.

Механізм відліковий складається з кронштейна і цифрових барабанів (8). Лічильник з двох сторін герметично закритий передньою (6) та задньою (5) кришками. В передній кришці лічильника є вікно, закрите склом, за яким знаходиться циферблат пристрою відлікового. На циферблаті є написи позначень та основних характеристик лічильника.

Штуцери відбору тиску (9) розміщені на корпусі лічильника і дозволяють проводити вимірювання тиску на вході і виході лічильника. Штуцер відбору тиску на вході позначений і служить для підключення датчика тиску, який входить до складу коректора об'єму газу[3].

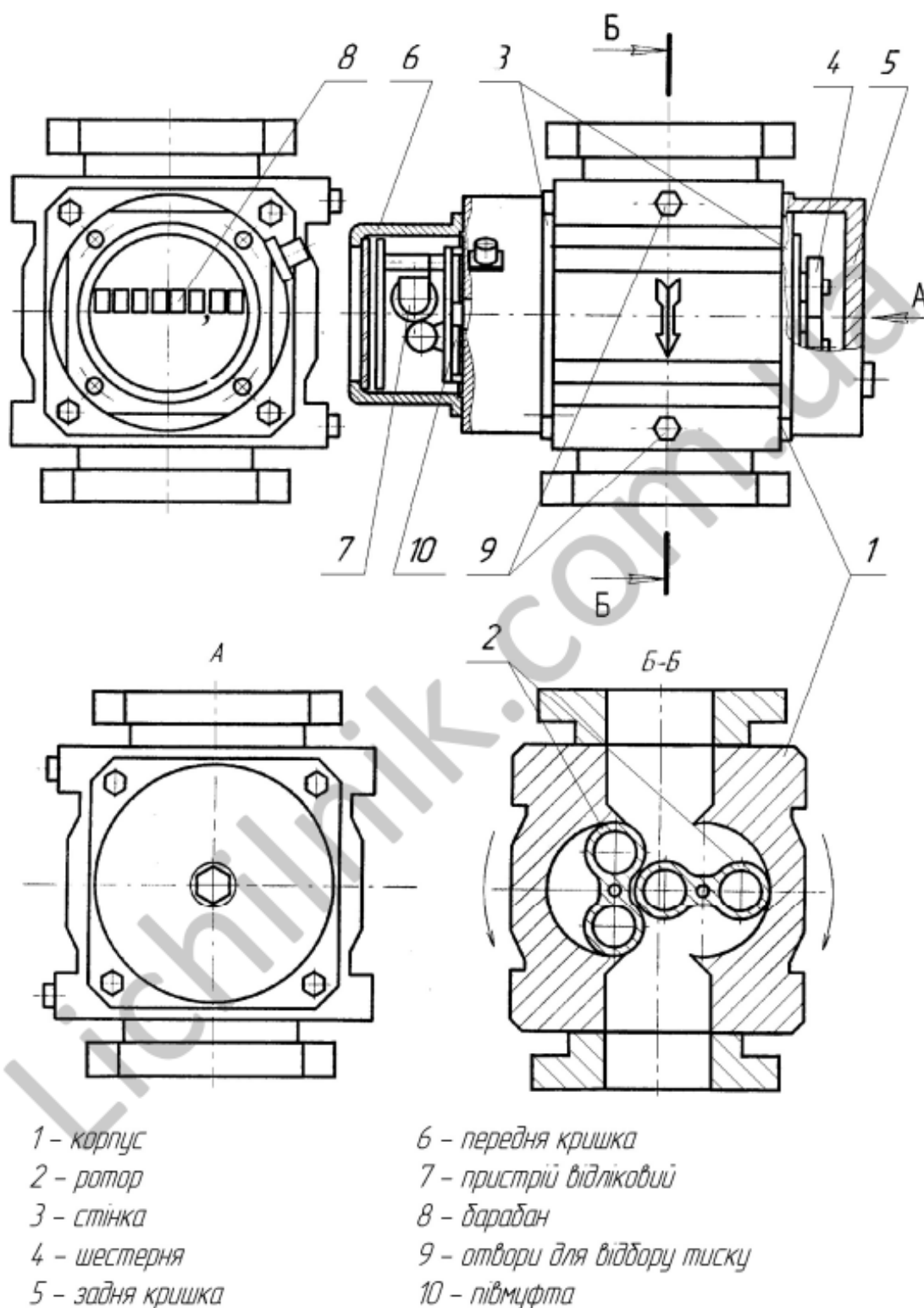
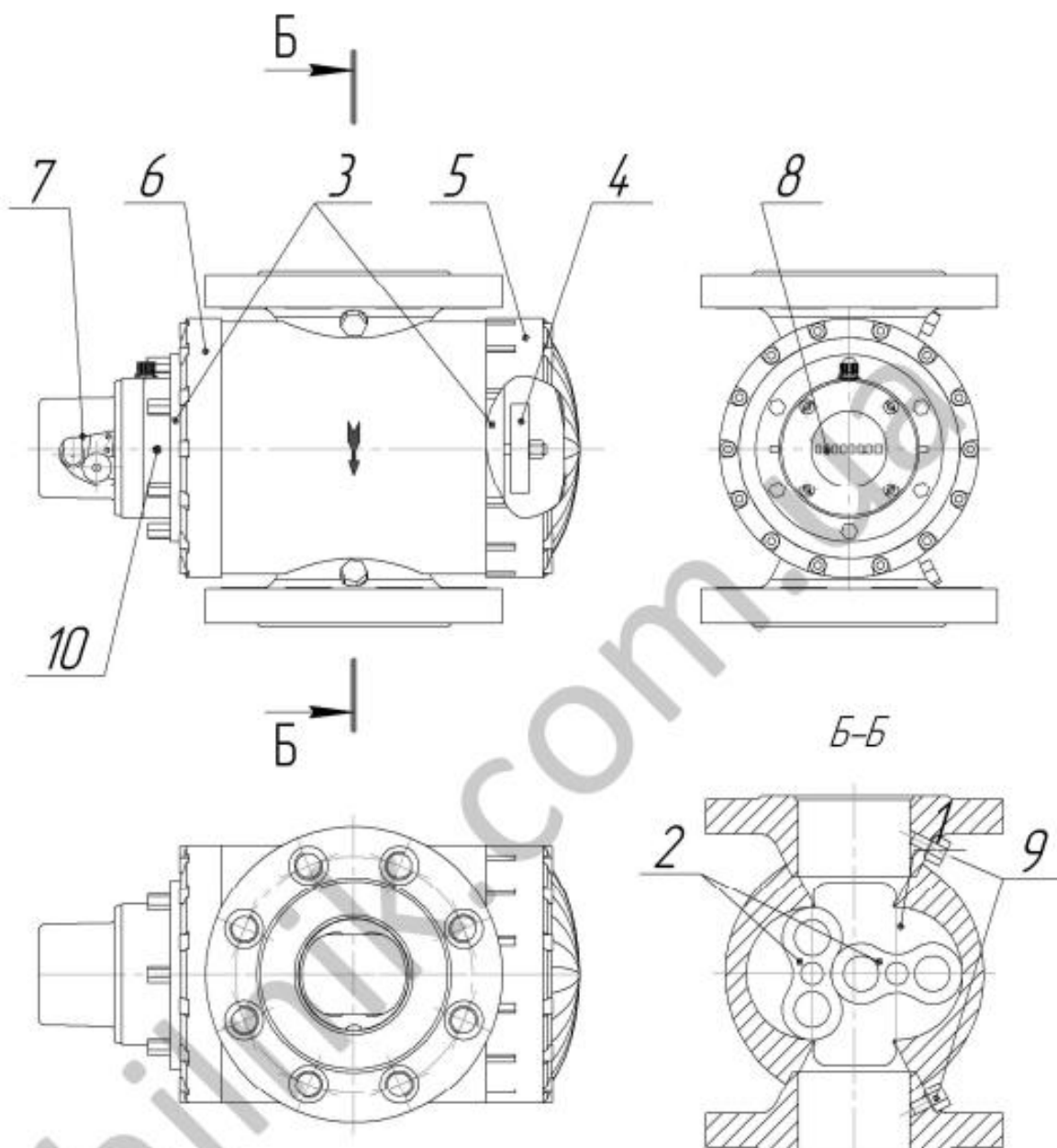


Рисунок 1.2.1 – Будова лічильників типорозмірів G25, G40, G65.

Лічильник газу працює наступним чином (принцип роботи лічильника показаний на рисунку 1.2.2). При протіканні потоку газу через лічильник внаслідок різниці тисків на вході і виході вимірювача, ротори синхронно обертаються. Обертотий рух одного з роторів через магнітну півмуфту передається на пристрій відліковий.



1 – корпус;
 2 – ротор;
 3 – стінка;
 4 – шестерня;
 5 – задня кришка;
 6 – передня кришка;

7 – відліковий пристрій;
 8 – фарафони;
 9 – отвори для відбору тиску;
 10 – гвинт.

Рисунок 1.2.2 – Будова лічильників типорозмірів G100, G160, G250, G400

При обертанні роторів ними відсікається певний об'єм газу, який відповідає об'єму камери, що створюється внутрішньою поверхнею корпуса і зовнішніми поверхнями роторів.

За кожний повний оберт роторів два рази проходить наповнення камери газом і два рази – виштовхування газу. Механізм відліковий фіксує кількість газу, який протікає через лічильник.

Передавальне число пристрою відлікового вибране так, що відлік газу, який пройшов через лічильник в робочих умовах здійснюється безпосередньо в кубічних метрах[3].

1.3. Принцип вимірювання об'єму газу за допомогою роторного лічильника

Лічильник газу – ЗВТ, що призначений для вимірювання, об'єму газу, що проходить через нього за робочих умов та має нормовані метрологічні характеристики.

Принцип дії роторного лічильника газу ґрунтується на попереми́нному відсіканні за допомогою роторів об'ємів газу, що дорівнюють відомому об'єму вимірювальної камери та залежності кількості обертів роторів від об'єму газу за робочих умов, що пройшов через лічильник.



Рисунок 1.3.1 – Схематичне зображення принципу дії роторного лічильника газу

Лічильник роторного типу являє собою пристрій з однією або двома парами роторів, виконаних у вигляді шестерень, які мають форму вісімки та знаходяться в постійному зчепленні. Обертання шестерень відбувається під впливом різниці тисків газу на вході та виході лічильника. При обертанні роторів ними попереми́нно відсікаються від входу об'єми газу, що дорівнюють об'єму вимірювальної камери, утвореної внутрішньою порожниною корпусу та

зовнішньою поверхнею половини шестерні. З вимірювальної камери газ витісняється ротором у вихідний патрубок лічильника. За один повний оберт двох роторів від вхідних порожнин в вихідний патрубок лічильника переміщується об'єм газу, що дорівнює об'єму чотирьох вимірювальних камер.

Кількість обертів роторів за інтервал часу t_i , прямо пропорційна об'єму газу за робочих умов, що пройшов через лічильник. Об'єм газу за умов вимірювання $V_{p(i)}$ (м³), який пройшов через роторний лічильник газу за інтервал часу t_i , або приріст об'єму газу за i -й інтервал часу усереднення параметрів газу t_i , визначається за формулою:

$$V_{p(i)} = k_A * N_{(i)}, \quad (1.3.1)$$

де: k_A - коефіцієнт, значення якого чисельно дорівнює об'єму газу за умов з вимірювань на один імпульс вихідного сигналу лічильника газу, м³;

$N_{(i)}$ - кількість імпульсів, які одержані від лічильника газу за інтервал часу t_i .

Об'ємну витрату через роторний лічильник газу за умов вимірювань при i -му опитуванні $q_{(i)}$ (м³/с) визначають за формулою:

$$q_{(i)} = V_{p(i)} / t_i \quad (1.3.2)$$

де t_i - проміжок часу між попереднім та поточним опитуваннями лічильника обчислювачем коректора, с.

Визначення об'єму газу V_P (м³), який пройшов через лічильник за умов вимірювань, протягом n його опитувань здійснюється згідно з формулою[4]:

$$V_P = \sum_{i=1}^n V_{p(i)} \quad (1.3.3)$$

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1 Фізичний принцип роботи датчика Холла

Ефект Холла названий на честь Едвіна Холла, який у 1879 році виявив, що на провідній пластині зі струмом виникає потенціал напруги, коли магнітне поле проходить через пластину в напрямку, перпендикулярному до площини пластини.

Коли через плоский провідник (або напівпровідник) протікає електричний струм і цей провідник поміщають у магнітне поле, вектор магнітної індукції якого перпендикулярний до площини струму, на рухомі заряди починає діяти сила Лоренца.

$$F = q(v * B) \quad (2.1.1)$$

де q – заряд, v – швидкість дрейфу електронів, B – магнітна індукція.

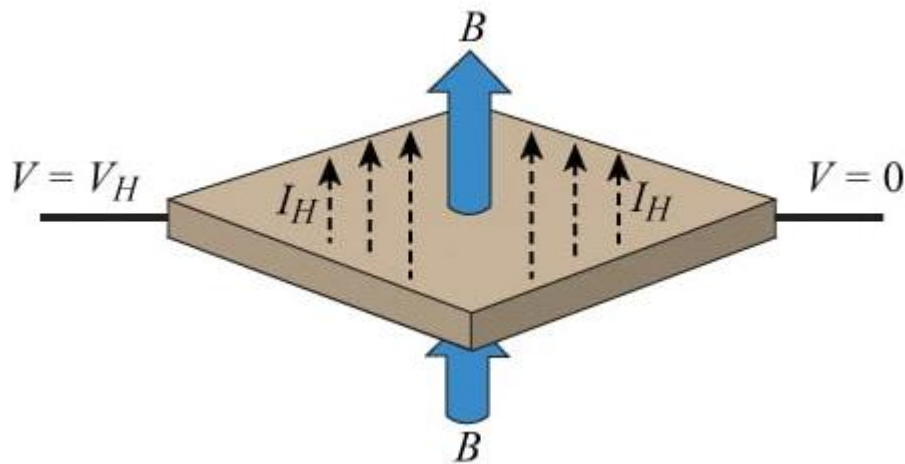


Рисунок 2.1.1 – Ефект Холла та сила Лоренца. Сині стрілки, B , зображують магнітне поле, що проходить перпендикулярно через провідну пластину.

Внаслідок відхилення на одній грані пластини накопичується негативний заряд, а на протилежній — позитивний. Між цими гранями виникає різниця потенціалів, яку і називають напругою Холла. Вона прямо пропорційна силі магнітного поля:

$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{d} \quad (2.1.2)$$

де I – сила струму, B – магнітна індукція, d – товщина пластини, R_H – коефіцієнт Холла[5].

2.2 Фізичний принцип роботи датчика газу

Датчики газу належать до класу напівпровідникових газових сенсорів і призначені для виявлення метану та природного газу в повітрі, з можливістю застосування в системах безпеки, побутових і промислових детекторах газу.

Основою таких датчиків є чутливий напівпровідниковий шар з діоксиду олова (SnO_2), нанесений на керамічний елемент[6]. Також всередині датчика є вбудований нагрівальний елемент, який піднімає температуру чутливого шару приблизно до 200–300 °C. Така висока температура необхідна для активації хімічних реакцій на поверхні напівпровідника та для стабільної роботи сенсора[7].

Коли метан (або інші відновні горючі гази) потрапляє на поверхню чутливого шару молекули газу адсорбуються на поверхні SnO_2 . І на поверхні сенсорного елемента в нормі присутні адсорбовані кисневі іони (O^- , O_2^-), які захоплюють електрони з провідної зони напівпровідника. Під час контакту з метаном ці кисневі іони взаємодіють із молекулами газу, і в результаті звільняються електрони назад у провідну зону матеріалу. Ця реакція призводить до збільшення концентрації вільних носіїв заряду (електронів) у чутливому шарі, що, у свою чергу, зменшує його електричний опір. Зміна опору є безпосереднім сигналом наявності й концентрації газу[8].

2.3 Обґрунтування мікропроцесору

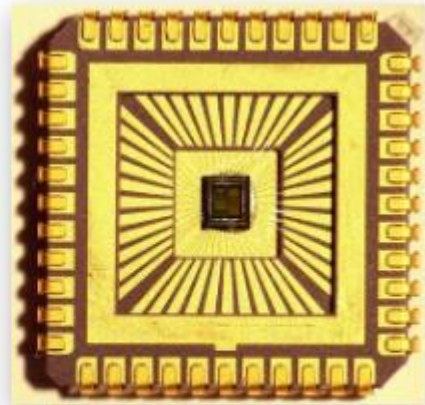
Мікропроцесор – це мікроелектронний програмований пристрій, що призначений для обробки інформації та керування процесами обміну цією інформацією у складі мікропроцесорної системи (комп'ютера).

Чому «мікроелектронний»? Тому що мікропроцесори виготовляються за допомогою технологій сучасної мікроелектроніки на основі напівпровідникового кристалу. Інформація в мікропроцесорній системі передається електричними імпульсами. Конструктивно мікропроцесор виконується у вигляді однієї мікросхеми (інколи – декількох). Мікросхема

складається з пластикового або керамічного корпусу, всередині якого міститься мініатюрна напівпровідникова підкладка. На цій підкладці лазером «накреслені» усі електронні схеми мікропроцесора. Входи та виходи схеми на підкладці з'єднані з металевими виводами, що розташовані по боках або знизу корпуса мікросхеми.



а)



б)

Рисунок 2.3.1 – Інтегральна мікросхема (а) та її внутрішня побудова (б)

Мікропроцесорні системи взагалі є універсальними, тобто здатні виконувати широке коло завдань з обробки інформації. А на виконання конкретної задачі мікропроцесор «налаштовується» за допомогою програми – переліку машинних команд.

Обов'язковими компонентами мікропроцесора є регістри, арифметико-логічний пристрій (АЛП), та блок керування. Регістри призначені для тимчасового зберігання даних, арифметико-логічний пристрій – для виконання арифметичних і логічних операцій (тобто, для обробки даних). Блок керування відповідає за послідовне виконання команд програми та правильне спрямування потоків даних[9].

Нижче описані існуючі плати з мікроконтроллерами, що мають відповідати вимогам для створення пристрою.

Міні-контролер ESP32-S3-Zero має широкий набір функцій та високу обчислювальну продуктивність при своєму крихітному розмірі, що спрощує інтеграцію до інших хост-плат. Ця плата використовує чіп ESP32-S3FH4R2 як систему на кристалі (SoC), в якому інтегрований малопотужний WiFi та BLE5.0

з 4 МБ флеш-пам'яті та 2 МБ PSRAM. Крім того, є апаратний прискорювач шифрування, модулі RNG, HMAC та цифрового підпису для відповідності вимогам безпеки Інтернету речей та надання багатьох периферійних інтерфейсів[10].



Рисунок 2.3.2 – Плата ESP32-S3-Zero Type-C 4MB

Характеристики:

- Процесор: 32-бітовий двоядерний процесор Xtensa LX7 із частотою до 240 МГц;
- Бездротові інтерфейси: Wi-Fi 2.4 ГГц (802.11 b/g/n) та Bluetooth 5 (LE) ;
- Вбудована пам'ять: SRAM об'ємом 512 КБ та ROM об'ємом 384 КБ, вбудована флеш-пам'ять об'ємом 4 МБ та PSRAM об'ємом 2 МБ;
- Виконання: Модуль із зубцями та вбудованою керамічною антеною дозволяє виробляти паяння безпосередньо на несучі плати;
- Управління енергоспоживанням: Підтримує гнучку тактову частоту, незалежне налаштування живлення модуля та інші елементи керування для реалізації низького енергоспоживання у різних сценаріях;
- Інтегрований повношвидкісний контролер послідовного порту USB, 24 контакти GPIO[10].

Плата розробки ESP32-C6-Zero, на базі чіпа ESP32-C6FH4 з тактовою частотою 160 МГц, Wi-Fi 6 (2.4 ГГц) та Bluetooth 5 (LE). Ця плата розробки поєднує у собі достатню обчислювальну потужність укладену в компактному

розмірі (18x23.5мм). Слід зазначити можливість працювати з бездротовими мережами Wi-Fi 6 (2.4 ГГц) та Bluetooth 5 (LE). Дана плата відмінне рішення для проектів, в яких потрібна взаємодія з сучасними бездротовими мережами, швидкодія при достатній обчислювальній потужності, укладена в компактному розмірі[11].



Рисунок 2.3.3 – Плата розробника ESP32-C6-Zero Mini
(ESP32-C6FH4, WiFi 6, Bluetooth 5)

Технічні особливості:

- Плата оснащена однопоточним 32-бітним процесором ESP32-C6FH4 (HP: високопродуктивний RISC-V із тактовою частотою до 160 МГц, LP: енергоефективний RISC-V із тактовою частотою до 20 МГц) ;
- Вбудоване ПЗУ 320 КБ та флеш-пам'ять 4 МБ (HP: SRAM 512 КБ, LP: SRAM 16 КБ);
- Підтримка Wi-Fi 6 (2.4 ГГц зі смугою пропускання 40 МГц) та Bluetooth 5 LE;
- Плата оснащена керамічною антеною;
- GPIO: 22 контакти;
- Додатково на платі розміщені: кнопка RESET, кнопка BOOT, RGB світлодіод WS2812;
- Інтерфейс підключення до комп'ютера USB Type-C[11].

NodeMCU (Lolin V3) являє собою плату розробника на базі чіпа ESP8266 (версія ESP12E), який являти собою UART-WiFi модуль з ультра низьким

споживанням. Сам чіп проєктувався для пристроїв зі світу інтернет речей, а дана плата дозволяє спростити розробку, тому що на ній вже реалізовано підключення по USB, регулятор живлення і всі виводи чіпа розведені на гребінки зі стандартним кроком 2.54 мм, що дозволяє вставити його в макетну плату і створити прототип навіть не включаючи паяльник. Крім цього плата поставляється з прошивкою NodeMCU, що дозволяє програмувати її за допомогою мови Lua або за допомогою Arduino IDE[12].



Рисунок 2.3.4 – Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266 (V3 CH340)

Характеристики:

- WiFi 802.11 b / g / n;
- підтримка STA / AP / STA + AP режимів;
- вбудований стек протоколів TCP / IP з підтримкою множинних клієнтських підключень (до 5) ;
- D0 ~ D8, SD1 ~ SD3: можуть бути використані як GPIO, PWM, ІІС, тощо;
- ток на виведення: 15 мА;
- AD0: 1 виведення АЦП;
- живлення: 4.5 - 9В (10В максимум), живлення від USB з наданням отладового інтерфейсу;
- споживання: обмін даними: ~ 70 мА (200 мА максимум), очікування: <200 мкА;
- швидкість передачі: 110-460800 б/сек;
- підтримка UART / GPIO інтерфейсів передачі даних;

- перепрошивка з хмари або через USB;
- відстань між контактними пинами: 28 мм;
- діапазон робочих температур: $-40 \sim +125^{\circ}\text{C}$;
- вага: 18 г[12].

2.4 Обґрунтування датчика Холла

Датчик Холла (Hall effect sensor) – це електронний пристрій, призначений для вимірювання магнітних полів або положення об'єктів на основі фізичного явища, що називається ефектом Холла. Він перетворює зміни магнітного поля в електричний сигнал, який може бути оброблений мікроконтролером або іншим цифровим/аналоговим пристроєм[13].

Переваги датчиків Холла:

- Безконтактність – датчик не має механічних рухомих частин, що підвищує надійність і довговічність.
- Висока швидкодія – дозволяє виявляти швидкі зміни магнітного поля.
- Точність та стабільність – добре працюють у широкому діапазоні температур та зовнішніх умов[14].

Далі вказані варіанти датчиків Холла, які можна обрати.

Зручний модуль датчика Холла SS49E. Не вимагає застосування пайки для підключення. На 4-х контактний роз'єм виведені контакти підключення живлення, аналоговий вихід датчика і цифровий вихід компаратора напруги LM393. Яскраві та зручні світлодіоди наявності живлення та спрацьовування датчика[15].



Рисунок 2.4.1 – Модуль датчика Холла SS49E

Характеристики:

- Висока якість датчика;
- Маленькі розміри: 36ммх16мм;
- Монтажний отвір для кріплення модуля діаметром 3 мм;
- Світлодіоди Power і Sensor;
- Напруга живлення від 3.3 - 5.5В[15].

Стандартний модуль із цифровим датчиком Холла А3144. Не вимагає застосування паяння для підключення. На чотириконтактний роз'єм виведені контакти живлення (4.5-24В), аналоговий вихід та цифровий вихід компаратора LM393. Також є світлодіоди живлення та спрацьовування датчика. Зважаючи на особливості датчика на аналоговому виході напруга протилежна цифровому рівню сигналу[16].

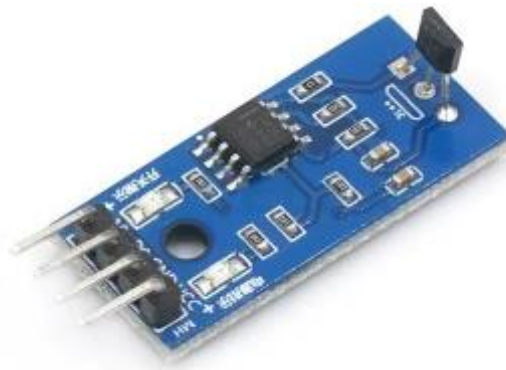


Рисунок 2.4.2 – Модуль датчика Холла А3144 V2

Плата з розпаяним на ній уніполярним датчиком Холла 3144 серії. Незамінний для застосування з безпечною макетною платою. Сам датчик А3144 вже містить: стабілізатор напруги, детектор магнітного поля, компаратор напруги та ключ з відкритим колектором[17].

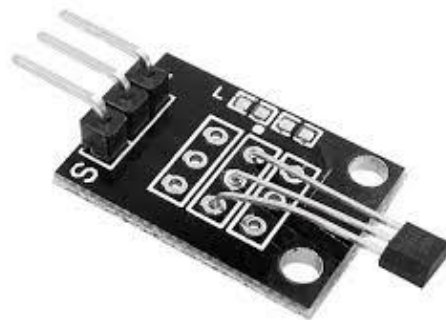


Рисунок 2.4.3 – Модуль датчика Холла А3144

Характеристики:

- Тип датчика: уніполярний, А3144;
- Напруга живлення: 4,5 - 24В;
- Позначення висновків (з боку роз'єму): 1-пін: (-) живлення, 2-пін: (+) живлення, 3-пін: сигнальний;
- Розміри: 15 x 20 мм;
- Вага: 1,5 г[17].

2.5 Обґрунтування датчика газу

Датчик газу — це пристрій, що вимірює концентрацію певних газів у повітрі або в контрольованому середовищі та перетворює цю інформацію у електричний сигнал для подальшої обробки або сигналізації. Датчики газу широко використовуються у системах безпеки, промисловому моніторингу, екологічному контролі та побутових застосуваннях[18].

Далі зазначені датчики газу які підходять для виконання завдання системи.

Модуль якості повітря ZP07-MP503-4 використовує удосконалений товстоплівковий напівпровідниковий датчик газу. Датчик має надзвичайно високу чутливість до летких органічних газів, таких як формальдегід, бензол, окис вуглецю, аміак, водень, алкоголь, сигаретний дим та ароматизатори. Після старіння, налагодження, калібрування та калібрування модуль має гарну узгодженість та надзвичайно високу чутливість[19].



Рисунок 2.5.1 – Модуль датчика якості повітря ZP07-MP503

Характеристики:

- Гази, що виявляються: формальдегід, бензол, окис вуглецю, водень, спирт, аміак, сигаретний дим, ароматизатор і т.д;
- Фізичний інтерфейс: термінальна розетка ХН2.54-4Р;
- Вихідні дані: від 0 до +4 В;
- Робоча напруга живлення: 5.0 ± 0.2 В постійного струму (без захисту від зворотного підключення напруги) ;
- Тип вихідних даних: аналоговий сигнал рівня TTL (вбудований захисний опір 200 Ом) ;
- Робочий струм: ≤ 60 мА;
- Час розігріву: ≤ 3 хвилини;
- Час відгуку: ≤ 20 секунд;
- Час відновлення: ≤ 60 секунд;
- Робоча температура: $0 \sim +50$ °С;
- Робоча вологість: 95% відносної вологості;
- Розміри: 24x20x16 мм (ДxШxВ);
- Послаблення чутливості: ≤ 1 %/рік[19].

Модуль датчика газу MQ-6 служить для детектування зріджених вуглеводневих газів (LPG), ізобутану, бутану[20].



Рисунок 2.5.2 – Модуль датчика газу MQ-6

Характеристики:

- Газ, який детектується: Скраплені вуглеводневі гази (LPG), ізобутан, бутан;

- Діапазон чутливості: 300-10000 ppm;
- R_s (опір чутливого елемента): 1 ... 20 кОм 2000ppm C3H8;
- Газ, для якого нормується датчик: Ізобутан, 1000ppm;
- Час відгуку: ≤ 10 с;
- Чутливість: $(R \text{ в повітрі}) / (R \text{ в присутності характерного газу}) \geq 5$ с;
- R_h (опір нагрівача): $31\Omega \pm 3\Omega$;
- I_h (струм нагрівача): ≤ 180 мА;
- V_h (напруга нагрівача): $5V \pm 0,2 V$;
- P_h (потужність нагрівача): ≤ 900 мВт;
- V_c (напруга схеми): ≤ 24 В;
- Стандартні робочі умови: Температура: $-10 \sim + 50^\circ \text{C}$, вологість: $\leq 95\%$ RH, концентрація кисню: 21% (стандартні умови) ;
- Умови зберігання: Температура: $-20 \sim + 70^\circ \text{C}$, вологість: $\leq 70\%$ RH;
- Конфігурація: А або В (металевий або пластиковий корпус) [20].

Датчик газу MQ-4 виконаний у вигляді модуля. Служить для детектування таких газів, як природний газ та метан[21].



Рисунок 2.5.3 – Модуль датчика газу MQ-4

Характеристики:

- Газ, що детектується: природний газ (метан) ;
- Діапазон чутливості 300-10000 ppm;
- R_s (опір чутливого елемента) 1 ... 20 кОм 5000ppm CH₄;
- Газ, для якого нормується датчик - Метан, 5000ppm;
- Час відгуку ≤ 10 с;

- Чутливість (R в повітрі) / (R в присутності характерного газу) ≥ 5 с;
- R_h (опір нагрівача) $31\Omega \pm 3\Omega$;
- I_h (струм нагрівача) $\leq 180\text{mA}$;
- V_h (напруга нагрівача) $5\text{V} \pm 0,2\text{V}$;
- P_h (потужність нагрівача) $\leq 900\text{mW}$;
- V_c (напруга схеми) $\leq 24\text{V}$;
- Стандартні робочі умови Температура: $-10 \sim + 50^\circ\text{C}$, вологість: $\leq 95\% \text{RH}$, концентрація кисню: 21% (стандартні умови) ;
- Умови зберігання Температура: $-20 \sim + 70^\circ\text{C}$, вологість: $\leq 70\% \text{RH}$;
- Конфігурація А або В (металевий або пластиковий корпус) [21].

2.6 Обґрунтування дисплею

Дисплей – це пристрій візуального відображення інформації, який використовується для виведення тексту, числових даних, графіки або символів у електронних, вимірювальних та інформаційних системах. Головна функція дисплея — забезпечити зручну взаємодію між електронною системою та користувачем шляхом наочного відображення даних.

Дисплеї широко застосовуються у випадках, коли необхідно:

- бачити результати вимірювань;
- контролювати стан системи;
- відображати параметри роботи пристрою в реальному часі.

Далі зазначені дисплеї які підходять для виконання завдання системи.

Текстовий дисплей 20 символів, 4 рядки. Побудований на базі чіпа сумісного з HD44780, що дозволяє працювати з ним через стандартну бібліотеку LiquidCrystal. Даний дисплей не підтримує кирилицю. Відображати кириличні символи можна через визначені користувачем символи.

Підключення стандартне як і для всієї лінійки подібних дисплеїв на цьому контролері. Використовувати дисплей можна як в 8 так і в 4-бітному режимі[22].



Рисунок 2.6.1 – LCD 2004 символний дисплей 20x4 (синій)

Характеристики:

- Напруга живлення: від 3,3 до 5В (при напрузі нижче 4В для високої контрастності потрібне джерело негативної напруги для регулятора контрастності);
- Напруга логічних рівнів: від 3 до 5В;
- Розміри модуля: 98 x 60 x 14 мм;
- Видима область: 75 x 25 мм[22].

Яскравий, економічний, дуже контрастний OLED-дисплей гідно прикрасить будь-яку Вашу конструкцію, для якої важливі розміри і зовнішній вигляд. Контрастність дисплея дозволить впевнено зчитувати з нього інформацію навіть при дуже яскравому світлі. Поширений I2C інтерфейс дозволить підключити декілька дисплеїв до сучасного мікроконтролера (STM32/ESP32/Mega2560) або міні-комп'ютера (RaspberryPi/OrangePi/NanoPi).

Адресу можна вибрати перепайкою перемички, типова адреса 0x3с. Зверніть увагу: даний дисплей не підходить до Arduino Uno і подібним через особливості бібліотеки U8g2lib[23].

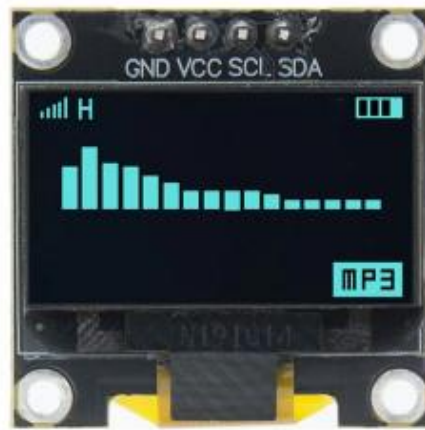


Рисунок 2.6.2 – Дисплей OLED S0.96" I2C 128x64 (синій)

Характеристики:

- Діагональ дисплея: 0.96" (21.7x11.2 мм) ;
- Тип матриці: OLED (драйвер SSD1315) ;
- Колір світіння: блакитний;
- Кут огляду: ~ 160 градусів;
- Роз'єм підключення: 4-pin (SDA/SCL/VIN/GND) ;
- Рівні входних сигналів: 3.3V/5V;
- Напруга живлення: +3.3 ~ + 6 В;
- Роздільна здатність дисплея: 128*64 пікселів;
- Розміри плати: 27 x 27 x 8 мм[23].

Яскравий, економічний, дуже контрастний OLED дисплей гідно прикрасить будь-яку Вашу конструкцію, для якої важливі розміри і зовнішній вигляд. Контрастність дисплея дозволить впевнено зчитувати з нього інформацію навіть при дуже яскравому світлі. Просте підключення і поширений I2C інтерфейс дозволить підключити декілька дисплеїв до будь-якого мікроконтролера або міні-комп'ютера[24].



Рисунок 2.6.3 – OLED дисплей 0.91" I2C 128x32 (білий)

Характеристики:

- Розмір екрану 0.91;
- Тип екрану OLED;
- Роз'єм 4-пін;
- Напруга живлення 3.3В - 6В;
- Роздільна здатність дисплея 128 * 32;
- Товщина 12 мм (з роз'ємом) ;
- Ширина 12 мм;
- Довжина 38 мм;
- Вага 3.0 грама;

Специфікація:

- Драйвер OLED модуля: SSD1306;
- Кут огляду:> 160 градусів;
- Роз'єм: 4-pin;
- Напруга живлення: 3.3-6V;
- Рівні входних сигналів: 3.3V / 5V;

Цоколювання роз'єму:

- GND: Загальний;
- VCC: Напруга живлення;
- SDA: Шина даних;
- SCL: Шина тактування даних[24].

2.7 Обґрунтування вибору живлення

Для забезпечення коректної та безперебійної роботи електронного пристрою необхідне відповідне джерело живлення, яке має відповідати як технічним вимогам обладнання, так і нормам техніки безпеки при експлуатації газового господарства. У випадку встановлення обладнання поблизу лічильників газу, використання живлення від електричної мережі змінного струму є неприпустимим. Згідно з вимогами безпеки, у зоні розміщення газових лічильників забороняється встановлення електричних розеток, вимикачів та інших джерел мережевої напруги. Це обумовлено підвищеним ризиком виникнення іскри, перегріву або короткого замикання, що в умовах можливої наявності газу може призвести до вибухонебезпечних ситуацій. Крім того, електрообладнання, підключене безпосередньо до мережі 220 В, створює додаткову небезпеку у разі пошкодження ізоляції або нештатних режимів роботи[25].

У зв'язку з цим постає необхідність у використанні альтернативного, автономного способу живлення, який не потребує прямого підключення до електромережі. Найбільш доцільним рішенням у даних умовах є застосування акумуляторних джерел живлення. Такі джерела забезпечують стабільну подачу низьковольтного живлення, безпечного для використання поблизу газового обладнання.

Мініатюрний бокс Powerbank для одного акумулятора типорозміру 18650 (Без модуля захисту) з вихідною напругою 5В і стандартним USB виходом. Має світлову індикацію режимів роботи (заряд / розряд). Можна використовувати як портативний зарядний пристрій для заряду мобільних пристроїв і як джерело напруги 5В. Вмикання і вимикання пристрою автоматичне. Powerbank має стандартний вихід USB і вхід micro-USB. Можна використовувати будь-які акумулятори формату 18650 (ємністю 1800 мАг, 2200 мАг, 2600 мАг, 2800 мАг, 3400 мАг), при цьому, вони повинні бути без модуля захисту (мікросхема захисту є на платі перетворювача). Для установки акумулятора в корпус Powerbank не потрібне застосування пайки. Кришка корпусу закривається на засувки[26].



Рисунок 2.7.1 – Портативний зарядний пристрій Powerbank 1x 18650
з виходом USB

Характеристики:

- Максимальна ємність 3400 мАг;
- Тип акумулятора: 1x 18650 Li-Ion;
- Напруга заряду: 5 В (USB micro-B) ;
- Напруга виходу: 5 В (USB-AF);
- Максимальний струм заряду: 1А;
- Максимальний вихідний струм: 950 мА;
- ККД: більше 85% при вхідній напрузі 3.7 В і навантаженні 5В / 1А;
- Струм в режимі очікування: 8 мкА;
- Розміри: 95 x 25 x 22 мм[26].

Мініатюрний бокс Powerbank для двох акумуляторів типорозміру 18650 (Без модуля захисту) з вихідною напругою 5В і стандартним USB виходом. Має світлову індикацію режимів роботи (заряд / розряд). Можна використовувати як портативний зарядний пристрій для заряду мобільних пристроїв і як джерело напруги 5В. Павербанк має стандартний вихід USB і вхід micro-USB[27].



Рисунок 2.7.2 – Портативний зарядний пристрій Powerbank 2x18650
з виходом USB

Характеристики:

- Максимальна ємність: 6800 мАг;
- Тип з'єднання акумуляторів: 2P - 18650 Li-Ion;
- Напруга заряду: 5 В (USB micro-B) ;
- Напруга виходу: 5 В (USB-AF);
- Максимальний струм заряду: 1А;
- Максимальний вихідний струм: 950 мА;
- ККД: більше 85% при вхідній напрузі 3.7 В і навантаженні 5В / 1А;
- Струм в режимі очікування: 8 мкА;
- Розміри: 95 x 40 x 22 мм
- Колір: корпус – чорний, кришка – біла[27].

2.8 Побудова структурної схеми

Структурна схема – показує основну частину даного виробу і може показувати їхні взаємозв'язки та можливе їхнє призначення.

Під функціональною типовою частиною мають на увазі певну складову схеми, це може бути функціональна група, функціональна ланка, елементи і пристрій.

Призначенням структурної схеми є відображення основних блоків, тобто вузлів даного приладу і зв'язків між ними.



Рисунок 2.8.1 – Структурна схема пристрою

Структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювання витрат та контролю витоку природного газу складається з джерела живлення, мікроконтролера, датчика Холла, датчика газу, дисплея та світлодіода.

Джерело живлення забезпечує подачу стабілізованої електричної енергії на всі елементи системи, зокрема мікроконтролер і периферійні пристрої. Воно гарантує безперебійну та надійну роботу системи в процесі вимірювання та контролю.

Мікроконтролер є центральним керуючим елементом системи. Він здійснює прийом сигналів від датчика Холла та датчика газу, виконує обробку вимірювальної інформації відповідно до заданого алгоритму, формує значення витрат газу та визначає наявність витоку. Крім того, мікроконтролер керує відображенням інформації на дисплеї та роботою світлодіодного індикатора.

Датчик Холла призначений для реєстрації імпульсів, що виникають під час обертання вимірювального елемента лічильника. Сигнали з датчика Холла надходять до мікроконтролера, де здійснюється їх підрахунок і перетворення у значення об'єму витраченого газу.

Датчик газу використовується для контролю концентрації природного газу в навколишньому середовищі з метою виявлення можливих витоків. Інформація з датчика передається до мікроконтролера для аналізу та порівняння з пороговими значеннями.

Дисплей призначений для візуалізації поточних значень витрат газу, службової інформації та попереджувальних повідомлень. Виведення даних здійснюється під керуванням мікроконтролера.

Світлодіод (діод) виконує функцію світлової індикації стану системи. Він може використовуватися для сигналізації нормального режиму роботи або аварійного стану у разі виявлення витоку газу.

3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1 Вибір елементної бази

Для вимірювання магнітних імпульсів ротора лічильника газу буде використано датчик Холла моделі А3144. Для цього цифрового датчика не потрібні додаткові бібліотеки для роботи з Arduino, що спрощує інтеграцію в систему, також не має додаткових елементів на собі, на відміну від іншої моделі, що полегшує і пришвидшує роботу з ним. Особливо важливо вказати що цей датчик має високу чутливість, точність і швидкість відгуку.

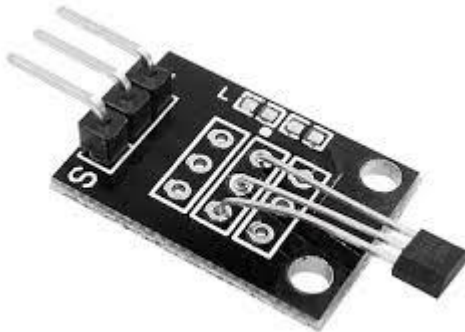


Рисунок 3.1.1 – Модуль датчика Холла А3144

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 3.3V - 5V DC;
- Робочий струм: 4-24 мА;
- Розміри: 15 x 20 мм;
- Робоча температура: мінус 20°C до плюс 85°C;
- Вага: 1,5 г.

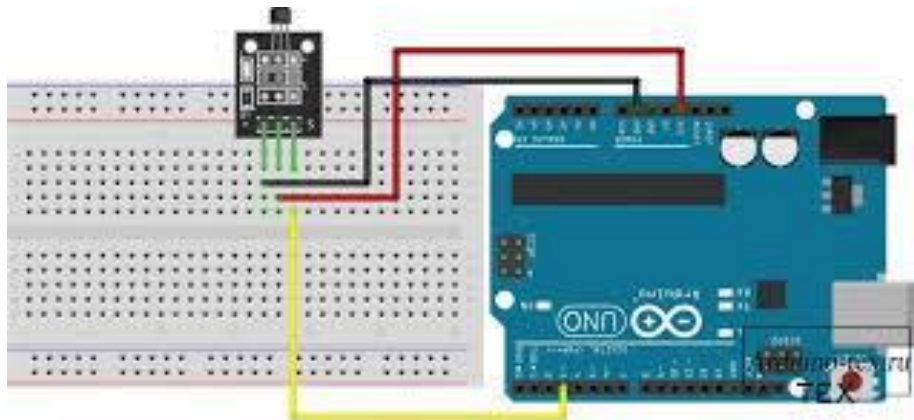


Рисунок 3.1.2 – Схема підключення датчика

Для вимірювання концентрації природного газу та метану біля лічильника газу буде використано датчик MQ-4. Цей датчик має малий час відгуку, стабільну роботу, довгий термін служби та просту схему підключення. Для роботи з цим датчиком не потрібні додаткові бібліотеки, що збільшує зручність роботи з ним.



Рисунок 3.1.3 – Модуль датчика газу MQ-4

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 5В;
- Струм споживання: <150 мА;
- Робоча температура: від мінус 10°C до плюс 50°C;
- Час розігріву 60 секунд;
- Вага: 13,4 г;
- Габаритні розміри: 32x20x22 мм.

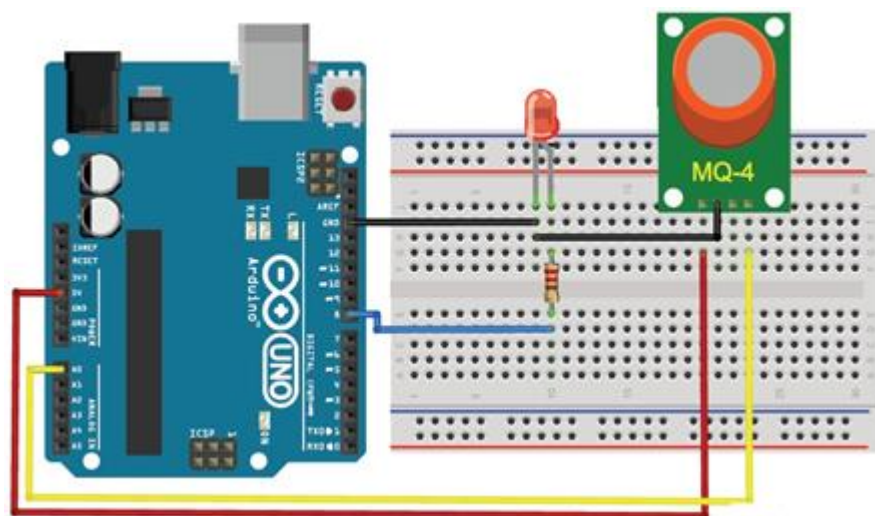


Рисунок 3.1.4 – Схема підключення датчика

Для виведення даних з датчиків буде використано OLED дисплей. Цей дисплей має невеликий розмір, але цього достатньо для виводу інформації. Для

роботи з ним потрібно підключити бібліотеку, як і з будь яким іншим дисплеєм. Особливо важливим є те, що цей дисплей має низьке енергоспоживання та простоту використання.



Рисунок 3.1.5 – OLED дисплей 0.91" I2C 128x32 (білий)

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 3.3-5В;
- Споживання: 0.04 вата;
- Інтерфейс: I2C;
- Габаритні розміри: 38x12x2,6 мм.



Рисунок 3.1.6 – Схема підключення дисплея

Для виведення даних про наявність газу у повітрі потрібно включити діод. Він буде сигналізатором про небезпечну ситуацію. Для роботи з діодом додаткових та особливих умов не потрібно і можна використати майже будь який з світлодіодів.



Рисунок 3.1.7 – Світлодіод 10мм

Технічні характеристики:

- Колір жовтий(червоний, зелений, синій);
- Діаметр: 10mm;
- Лінзи: Прозора;
- Довжина хвилі: 587-590nm;
- Робоча напруга (V): 1.9-2.1;
- Струм: 20 mA;
- Сила світла (MCD): 8,000 - 10,000

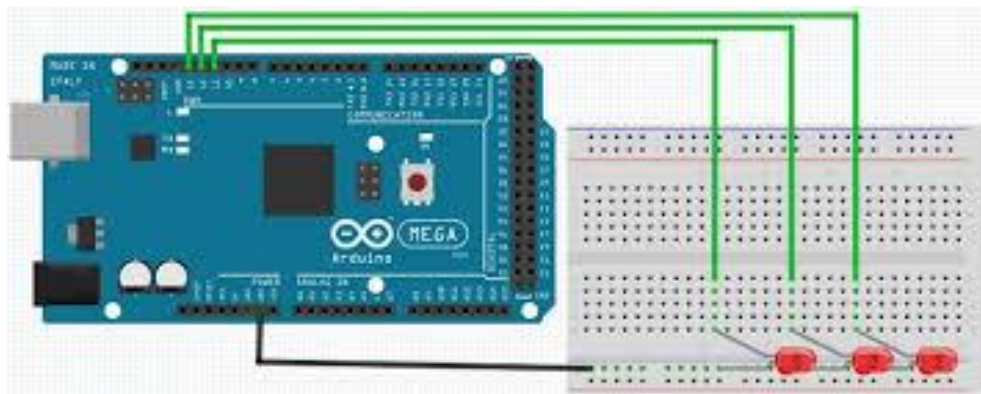


Рисунок 3.1.8 – Схема підключення світлодіода

3.2 Побудова принципової схеми пристрою

Принципові електричні схеми призначенні для повного відображення взаємозв'язків пристроїв з урахуванням принципів їх дії і послідовності роботи. На принципових електричних схемах електричні елементи зображують за допомогою умовних позначень, а також вказують лінії зв'язків між ними, блоками та модулями. На схемі, також, розміщується наступна інформація: умовне зображення принципу роботи функціональних вузлів, пояснювальні

написи, частини окремих елементів, діаграми переключення контактів, а також перелік використовуваних в даній схемі пристроїв.

Для створення електричної принципової схеми обрано програму Ms Visio. Вона створена для розробки різноманітних візуальних схем, діаграм, блок-схем, організаційних діаграм та планів, що допомагає перетворити складні дані на зрозумілі зображення. Також ця програма надзвичайно легка та зручна в роботі.

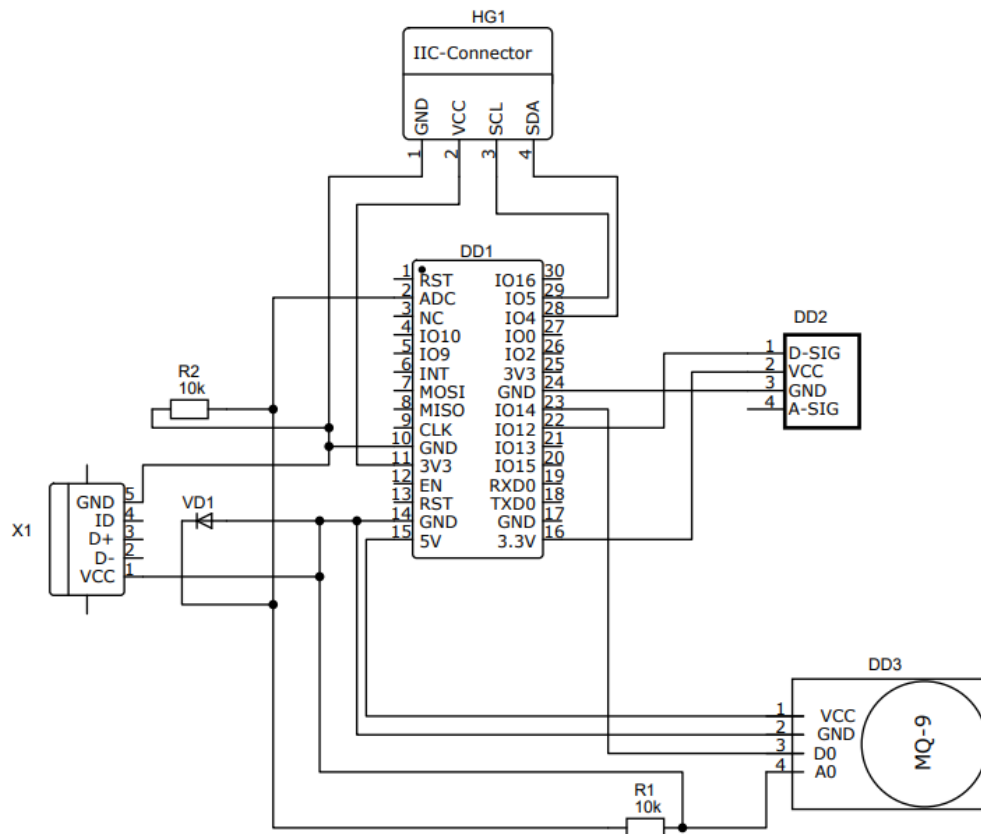


Рисунок 3.2.1 – Принципова електрична схема пристрою

Складові системи:

DD1 – мікроконтролер ESP8266;

DD2 – датчик Холла A3144;

DD3 – датчик газу MQ-9;

HG1 – OLED дисплей;

R1 – резистор номіналом 10 кОм;

R2 – резистор номіналом 10 кОм;

VD1 – світлодіод 10мм;

X1 – USB-роз'єм.

3.3 Побудова друкованої плати пристрою

Для побудови друкованої плати пристрою обрано програму EasyEDA. EasyEDA – китайський онлайн редактор схем та друкованих плат. Працює в браузері (є оффлайн версія), дозволяє проектувати схеми практично будь-якої складності та робити на їх основі друковані плати з можливістю автоматичного трасування (розведення доріжок). З плюсів: величезна база офіційних та користувальницьких електронних компонентів, можна додавати свої компоненти (схема + плата), є компоненти з бібліотек для будь якої потреби.

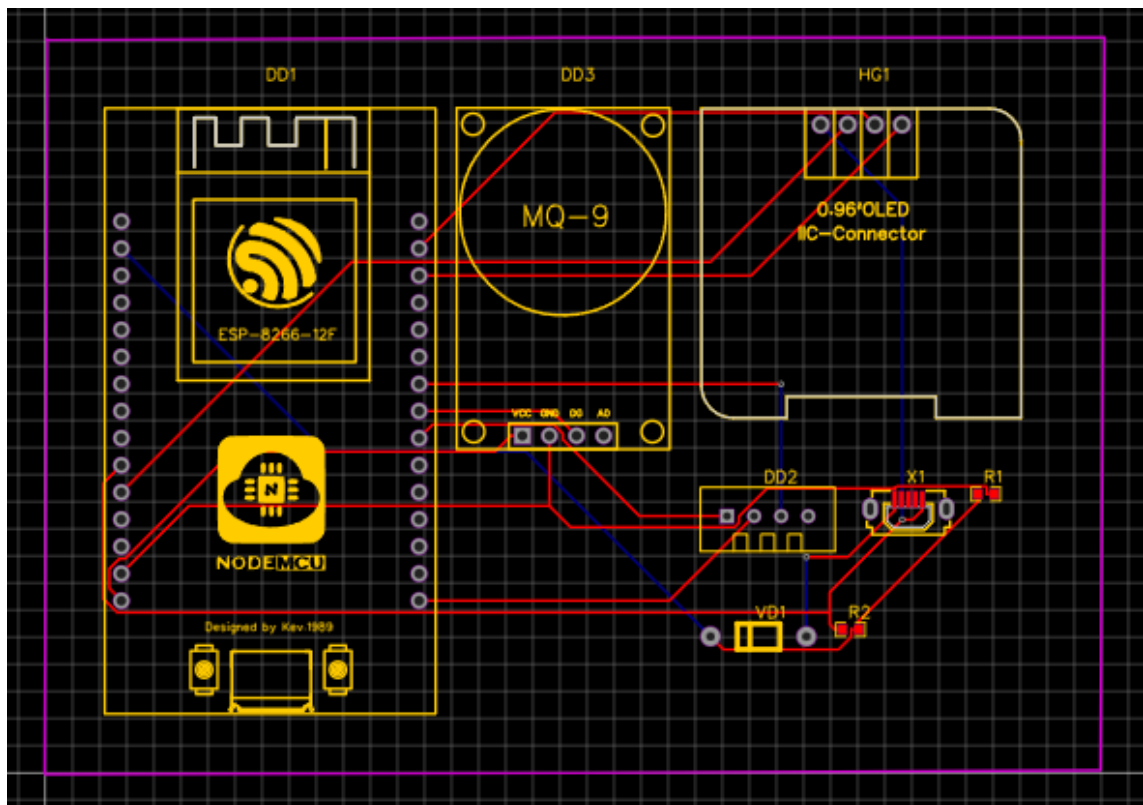


Рисунок 3.3.1 – Друкована плата пристрою

На рисунку ми бачимо всі елементи схеми гарно скомпоновані та розведені доріжки за допомогою функції програми «автотрасування».

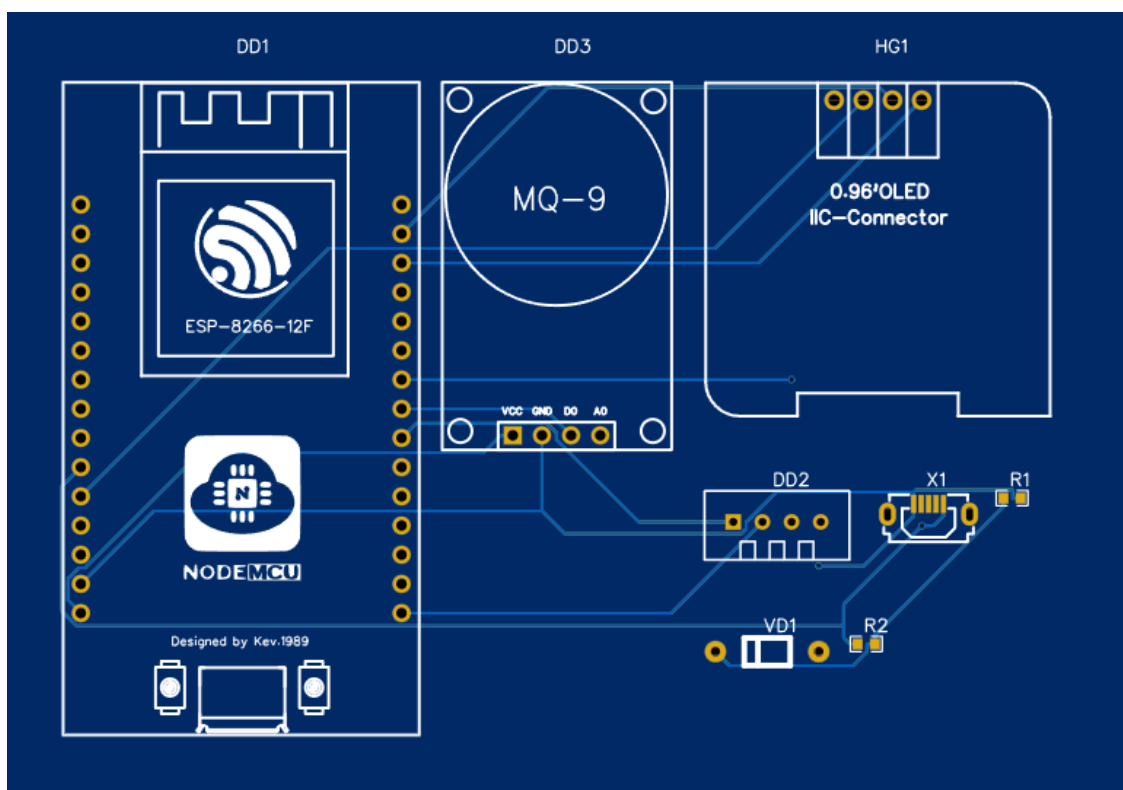


Рисунок 3.3.2 – Друкована плата пристрою в 2Д виді (верхній шар)
Також програма своїм функціоналом дозволяє побачити плату у вигляді 3Д.

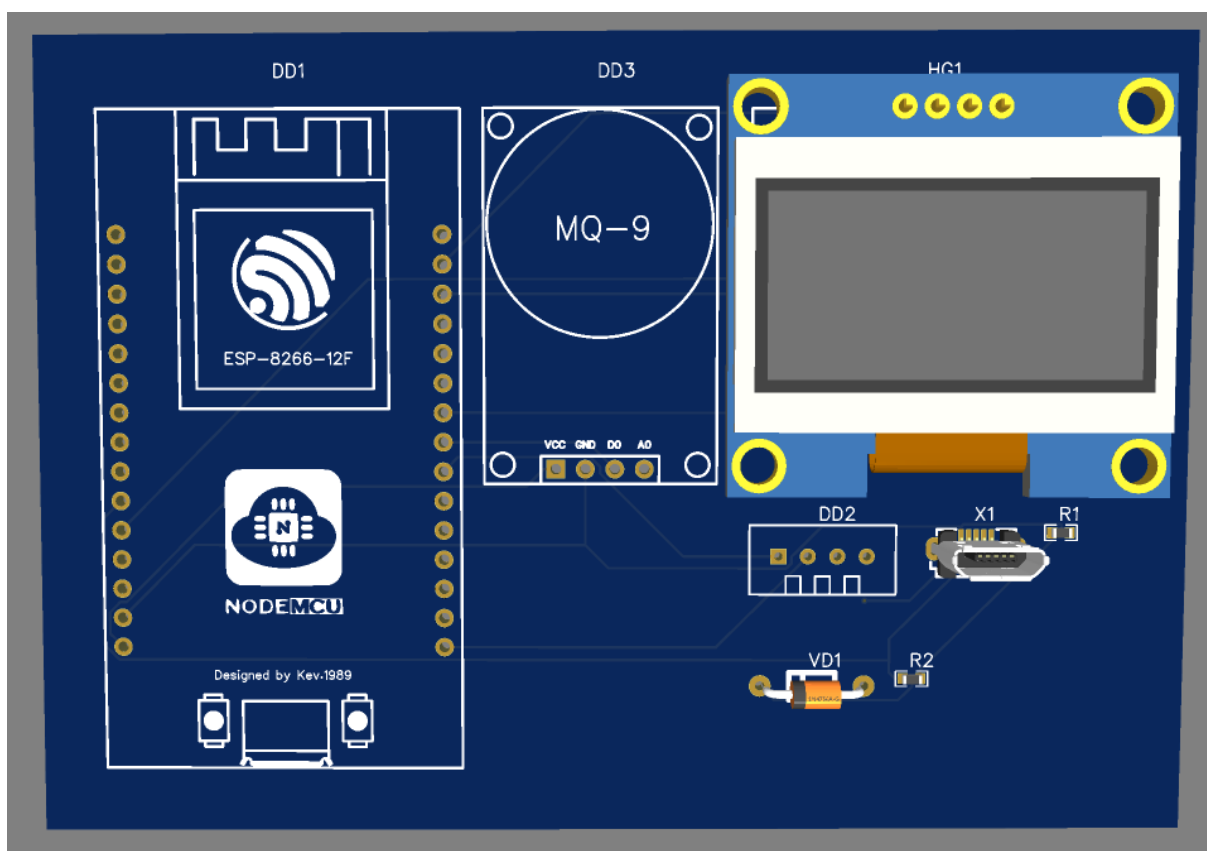


Рисунок 3.3.3 – Друкована плата пристрою в 3Д виді (верхній шар)

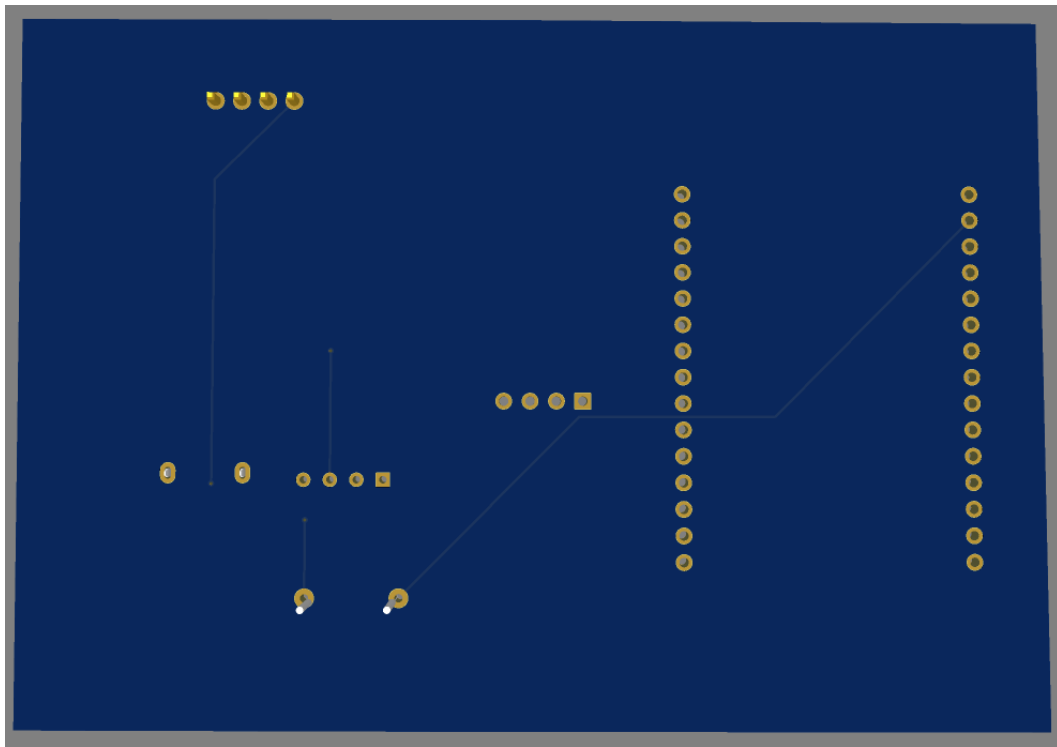


Рисунок 3.3.4 – Друкована плата пристрою в 3Д виді (нижній шар)

На останніх двох рисунках представлено друковану плату розробленої системи у тривимірному (3D) вигляді. Використання засобів тривимірної візуалізації програмного середовища проєктування дозволяє наочно оцінити просторове розміщення елементів та конструктивні особливості плати.

Завдяки можливостям програми чітко відображаються випуклі елементи, розташовані на верхньому шарі друкованої плати. До них належать дисплей, світлодіод та USB-роз'єм, які є основними елементами інтерфейсу взаємодії з користувачем і потребують зручного доступу під час експлуатації. Таке розміщення забезпечує ергономічність конструкції та спрощує підключення живлення й зчитування візуальної інформації.

На зображенні нижнього шару друкованої плати більш детально видно топологію провідних доріжок, що з'єднують елементи схеми, а також контактні майданчики та клеми окремих компонентів. Аналіз нижнього шару дозволяє оцінити коректність трасування, відсутність перехрещень та дотримання технологічних вимог до ширини доріжок і відстаней між ними. Таке представлення є корисним для перевірки електричних з'єднань, оптимізації конструкції плати та підготовки її до виготовлення.

4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Розробка блок-схеми пристрою

Блок-схема – це графічне відображення алгоритму або процесу. Вона складається з набору блоків, які представляють різні дії, дані, умови та цикли. Блоки з'єднуються між собою лініями, які вказують напрямок потоку даних.

Блок-схеми використовуються в різних галузях, включно з програмуванням, інженерією, управлінням і бізнесом. Це своєрідна «карта» для програміста, яка допомагає розбити складну задачу на більш дрібні та керовані компоненти.

Блок-схема програми відіграє ключову роль на кожному етапі життєвого циклу розробки ПЗ, починаючи з фази планування і завершуючи етапом тестування. Її важливість проявляється у створенні чіткого розуміння алгоритмів, управлінні складністю та забезпеченні ефективної взаємодії в команді розробки.

Основні елементи:

- Блок-схеми використовують чітко визначені символи для відображення різних елементів алгоритму та їхніх символів:
- Символи для дій (прямокутник): позначають конкретні операції або дії, які виконуються в процесі. Це може включати блок схеми з функціями, що представляють обчислення, введення/виведення даних або виклик конкретних функціональних блоків.
- Символи для даних (паралелограм): операції, пов'язані з обробкою даних. Тут описуються операції, такі як введення, виведення, збереження або читання даних.
- Символи для умов (ромб): розгалуження в алгоритмі, де програма має прийняти рішення залежно від певної умови. Наприклад, це може бути перевірка значення змінної.

- Символи для циклів (овал): показують, що певні дії будуть виконуватися багаторазово, поки виконується певна умова. Це може бути цикл for, while або інший механізм повторення[28].

На рисунку представлена блок-схема роботи пристрою. На блок схемі показано що пристрій працює в циклі, тобто може працювати безперервно.

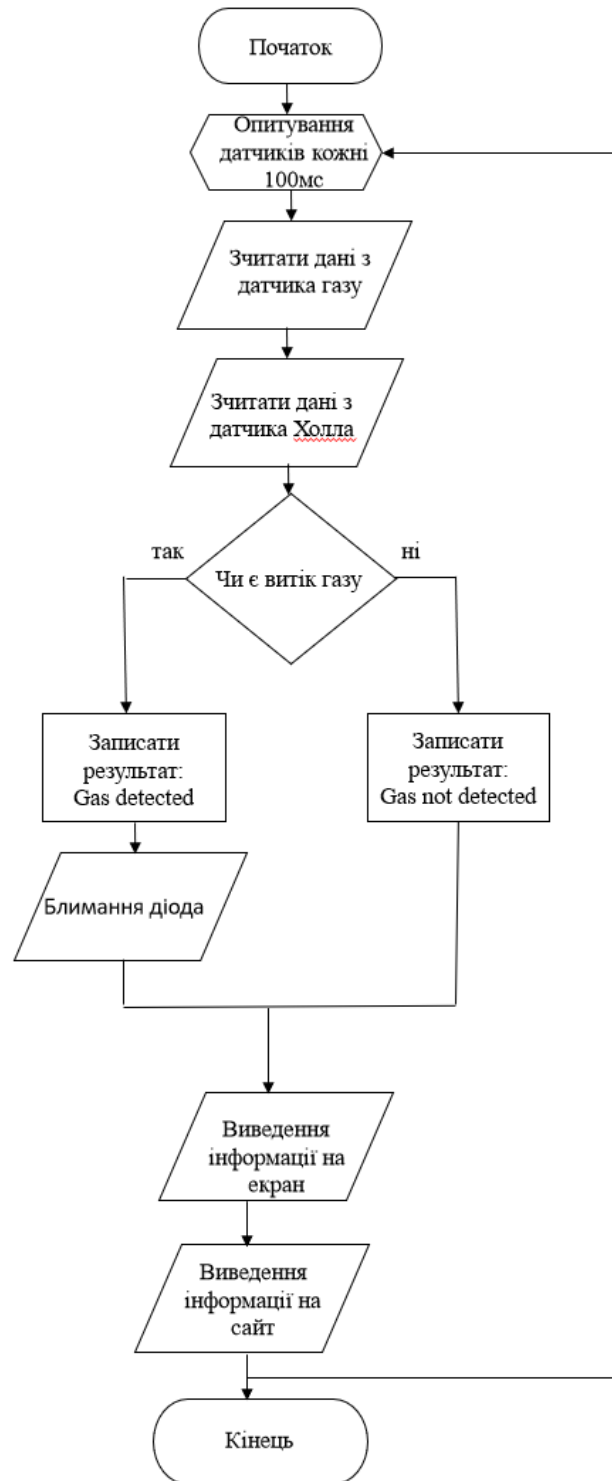


Рисунок 4.1.1 – Блок-схема пристрою

Складові блок-схеми:

- Початок: початковий блок позначає старт роботи програмно-алгоритмічного забезпечення комп'ютеризованої системи. У цьому блоці ініціалізуються основні змінні, налаштовуються порти введення-виведення мікроконтролера та готуються до роботи підключені датчики й периферійні пристрої.
- Зчитати дані з датчика газу: у даному блоці здійснюється зчитування сигналу з напівпровідникового датчика газу. Отримане аналогове або цифрове значення відповідає поточній концентрації природного газу (метану) в навколишньому середовищі. Ці дані використовуються для подальшого аналізу на наявність витоку газу.
- Зчитати дані з датчика Холла: на цьому етапі відбувається зчитування сигналів з датчика Холла, який фіксує обертання ротора газового лічильника. Кількість імпульсів від датчика пропорційна об'єму газу, що пройшов через лічильник, і використовується для визначення витрати газу.
- Чи є витік газу: даний блок є логічним блоком прийняття рішення. У ньому виконується порівняння виміряного значення з датчика газу з наперед заданим пороговим рівнем. Якщо концентрація газу перевищує допустиме значення, фіксується факт витоку газу; у протилежному випадку вважається, що витік відсутній.
- Записати результат: Gas detected: цей блок виконується у випадку, якщо витік газу виявлено. У ньому формується та зберігається результат вимірювання, який свідчить про наявність газу. Отриманий результат надалі використовується для індикації, сигналізації та передачі інформації користувачеві.
- Блімання діода: у цьому блоці реалізується аварійна світлова індикація. Світлодіод починає блимати, сигналізуючи користувача про наявність витоку газу. Такий спосіб індикації забезпечує швидке візуальне оповіщення у разі небезпечної ситуації.

- Записати результат: Gas not detected: даний блок виконується у випадку, якщо концентрація газу не перевищує встановленого порогового значення. Система фіксує нормальний режим роботи та відсутність витоку газу, що надалі відображається користувачеві.
- Виведення інформації на екран: на цьому етапі результати вимірювань (поточна витрата газу, стан витоку, службові повідомлення) виводяться на дисплей. Це забезпечує локальний контроль параметрів роботи системи без використання додаткових пристроїв.
- Виведення інформації на сайт: у цьому блоці здійснюється передача вимірювальних даних через бездротовий інтерфейс на веб-сторінку. Користувач отримує можливість дистанційного моніторингу витрати газу та контролю стану витоку у режимі реального часу.
- Кінець: кінцевий блок формально завершує один цикл виконання алгоритму. Після цього програма повертається до початку та повторює цикл зчитування й обробки даних, забезпечуючи безперервну роботу системи.

4.2 Розробка коду програми

Існує багато мов програмування та середовищ, де ними можна скористатися. Але потрібно обрати ту мову та середовище, що найкраще підійде для програмування елементів системи та буде зручна у використанні і не буде обтяжувати процес написання коду програми.

1. Мова: C/C++ (Arduino API)

Середовище: Arduino IDE

Arduino IDE – найпопулярніше середовище для програмування ESP8266. Для роботи з ESP8266 необхідно встановити додаткову плату через менеджер плат (ESP8266 Boards Manager). Використовує стандартний синтаксис C/C++, але надає спрощений API для роботи з GPIO, Wi-Fi, серійним портом тощо.



Рисунок 4.2.1 – Логотип програми

Переваги:

- Велика спільнота та безліч прикладів.
- Швидкий старт для прототипів.
- Підтримка бібліотек для MQTT, HTTP, вебсерверів[29].

2.Мова: C/C++

Середовище: PlatformIO

PlatformIO – це екосистема для вбудованого програмування, що підтримує багато платформ, включаючи ESP8266. Працює як плагін для VS Code або Atom, або як окремий CLI. Може використовувати Arduino API або ESP-IDF (офіційний фреймворк Espressif).



Рисунок 4.2.2 – Логотип програми

Переваги:

- Підтримка багатьох платформ у одному середовищі.
- Можливість роботи з менеджером бібліотек та автоматизацією збірки.
- Професійні можливості для CI/CD[30].

3.Мова: Python (спрощена версія для мікроконтролерів)

Середовище: Thonny, uPyCraft, VS Code + Pymakr

MicroPython – це реалізація Python 3 для мікроконтролерів. ESP8266 підтримує MicroPython через прошивку, яка завантажується на плату. Підтримуються основні GPIO, UART, I2C, SPI, Wi-Fi та HTTP.

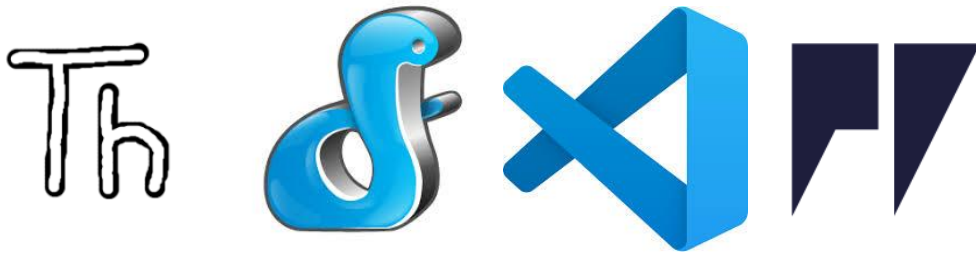


Рисунок 4.2.3 – Логотипи програм(Thonny, uPyCraft, VS Code, Румакр)

Переваги:

- Простий синтаксис для швидкого прототипування.
- Можливість навчання програмуванню без C/C++.
- Швидкий цикл розробки через інтерпретатор.

Недоліки:

- Менша продуктивність у порівнянні з C/C++.
- Обмежена кількість бібліотек[31].

4. Мова: Lua

Середовище: NodeMCU Firmware, ESPlorer IDE, LuaLoader

NodeMCU – це прошивка для ESP8266, яка дозволяє писати програми на Lua. Підтримуються GPIO, Wi-Fi, MQTT, PWM, ADC тощо.



Рисунок 4.2.4 – Логотип програми

Переваги:

- Швидкий старт без компіляції.
- Інтерактивне виконання команд через серійний порт.

Недоліки:

- Менша продуктивність у порівнянні з C/C++ та MicroPython.
- Обмежена підтримка сучасних бібліотек[32].

5. Мова: JavaScript

Середовище: Espruino Web IDE

Espruino – це інтерпретатор JavaScript для мікроконтролерів, включаючи ESP8266. Підтримуються GPIO, I2C, SPI, Wi-Fi, HTTP та MQTT.



Рисунок 4.2.5 – Логотип програми

Переваги:

- Зручний для веб-розробників.
- Інтерактивне програмування через консоль.

Недоліки:

- Обмежена продуктивність.
- Мала кількість прикладів порівняно з Arduino та MicroPython[33].

Обрано мову для програмування C/C++. Ця мова є основною для програмування мікропроцесора ESP8266. Обираючи цю мову програмування потрібно звернути увагу на те, що існує два середовища де можна вільно використовувати цю мову. З представлених вище я обираю середовище Arduino IDE. Воно підходить для програмування МЦ і має бібліотеки для роботи з іншими елементами системи.

Нижче наведено код програми з детальними поясненнями кожного блока:

```

1  #include <ESP8266WiFi.h>
2  #include <ESP8266WebServer.h>
3  #include <Wire.h>
4  #include <Adafruit_GFX.h>
5  #include <Adafruit_SSD1306.h>

```

Рисунок 4.2.6 – Підключення бібліотек для подальшої роботи

```

7 // ----- OLED -----
8 #define SCREEN_WIDTH 128
9 #define SCREEN_HEIGHT 32
10 #define OLED_RESET -1
11 Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
12
13 // ----- Wi-Fi -----
14 const char* ssid = "ESP_MONITOR";
15 const char* password = "12345678";
16
17 ESP8266WebServer server(80);
18
19 // ----- MQ-4 -----
20 #define GAS_PIN A0
21
22 // ----- RPM -----
23 volatile unsigned long lastMicros = 0;
24 volatile int rpm = 0;
25 #define HALL_PIN D2
26
27 void IRAM_ATTR hallISR() {
28     unsigned long now = micros();
29     if (lastMicros != 0) {
30         rpm = 60.0 / ((now - lastMicros) / 1000000.0);
31     }
32     lastMicros = now;
33 }
34
35 // ----- LED -----
36 #define LED_PIN D4 // світлодіод на D4

```

Рисунок 4.2.7 – Ініціалізація апаратних та програмних налаштувань для проекту на ESP8266 (налаштування компонентів: OLED, Wi-Fi, MQ-4, Hall-сенсор, LED)

```

38 // ----- HTML сторінка -----
39 String getPage() {
40     int gasValue = analogRead(GAS_PIN);
41
42     String page = R"====(
43 <!DOCTYPE html>
44 <html>
45 <head>
46 <meta charset="UTF-8">
47 <title>ESP8266 Monitor</title>
48 <style>
49 body { font-family: Arial; background: #fff3cd; text-align:center; margin-top:140px; }
50 .box { background:white; display:inline-block; padding:20px; border-radius:15px;
51 | | | box-shadow:0 0 10px rgba(0,0,0,0.2); margin:10px; }
52 .value { font-size:48px; font-weight:bold; }
53
54 .signature {
55     margin-top: 40px;      /* відступ зверху */
56     font-size: 18px;      /* розмір шрифту підпису */
57     color: #333;          /* темний сірий колір */
58     font-style: italic;   /* курсив для підпису */
59
60 .signature2 {
61     margin-top: 60px;      /* відступ зверху */
62     font-size: 18px;      /* розмір шрифту підпису */
63     color: #333;          /* темний сірий колір */
64     font-style: italic;   /* курсив для підпису */
65
66 .signature3 {
67     margin-top: 80px;      /* відступ зверху */
68     font-size: 18px;      /* розмір шрифту підпису */
69     color: #333;          /* темний сірий колір */
70     font-style: italic;   /* курсив для підпису */
71
72 .signature4 {
73     margin-top: 100px;     /* відступ зверху */
74     font-size: 18px;      /* розмір шрифту підпису */
75     color: #333;          /* темний сірий колір */
76     font-style: italic;   /* курсив для підпису */
77
78 .signature5 {
79     margin-top: 100px;     /* відступ зверху */
80     font-size: 18px;      /* розмір шрифту підпису */
81     color: #333;          /* темний сірий колір */

```

Рисунок 4.2.8 – Код налаштування HTML ч.1

```

82 | font-style: italic;          /* курсив для підпису */
83 | </style>
84 | </head>
85 | <body>
86 |
87 | <div class="box">
88 |   <h2>Рівень газу (MQ-4)</h2>
89 |   <div id="gas" class="value">0</div>
90 | </div>
91 |
92 | <div class="box">
93 |   <h2>Швидкість обертів (RPM)</h2>
94 |   <div id="rpm" class="value">0</div>
95 | </div>
96 |
97 | <!-- Підпис -->
98 | <p class="signature">Кваліфікаційна робота магістра</p>
99 |
100 | <!-- Підпис -->
101 | <p class="signature2">на тему</p>
102 |
103 | <!-- Підпис -->
104 | <p class="signature3">"Комп'ютеризована система вимірювання витрат та контролю витоку природного г
105 |
106 | <!-- Підпис -->
107 | <p class="signature4">Виконала студентка групи ІВТ-3м, Волинець Юлія</p>
108 |
109 | <!-- Підпис -->
110 | <p class="signature5">Житомир 2025</p>
111 |
112 | <script>
113 | function updateData() {
114 |   fetch("/gas").then(r => r.text()).then(v => {
115 |     document.getElementById("gas").innerText = v;
116 |   });
117 |   fetch("/rpm").then(r => r.text()).then(v => {
118 |     document.getElementById("rpm").innerText = v;
119 |   });
120 | }
121 | setInterval(updateData, 500);
122 | updateData();
123 | </script>
124 |
125 | </body>

```

Рисунок 4.2.9 – Код налаштування HTML ч.2

```

126 | </ht
127 | )=====";
128 |   return page;
129 | }
130 |

```

Рисунок 4.2.10 – Код налаштування HTML ч.3

На рисунках 4.2.8 – 4.2.11 формується веб-сторінка з двома блоками для показу (рівень газу (MQ-4) і швидкість обертів (RPM)). Також стилізує сторінку та додає

підписи і додає автоматичне оновлення даних без перезавантаження сторінки через JavaScript (fetch + setInterval).

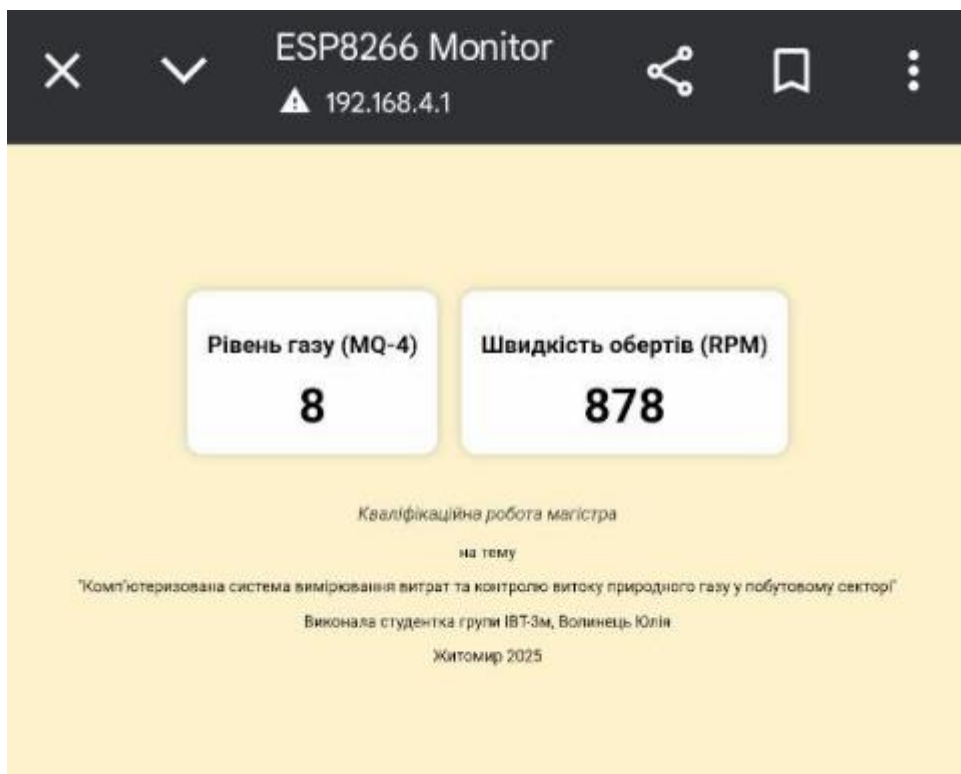


Рисунок 4.2.11 – Веб-сторінка

```

131 // ----- Setup -----
132 void setup() {
133     Serial.begin(115200);
134
135     // Hall sensor
136     pinMode(HALL_PIN, INPUT_PULLUP);
137     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALL_PIN), hallISR, FALLING);
138
139     // LED
140     pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
141     digitalWrite(LED_PIN, LOW); // вимкнений на старті
142
143     // OLED init (SDA=D1, SCL=D5)
144     Wire.begin(D1, D5);
145     display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
146     display.clearDisplay();
147     display.display();
148
149     // Wi-Fi AP
150     WiFi.mode(WIFI_AP);
151     WiFi.softAP(ssid, password);
152     Serial.println("WiFi AP запущено");
153     Serial.print("IP адреса: ");
154     Serial.println(WiFi.softAPIP());
155
156     // Обробка сторінки
157     server.on("/", []() {
158         server.send(200, "text/html", getPage());
159     });
160
161     // Дані газу
162     server.on("/gas", []() {
163         int gasValue = analogRead(GAS_PIN);
164         server.send(200, "text/plain", String(gasValue));
165     });
166
167     // Дані RPM
168     server.on("/rpm", []() {
169         server.send(200, "text/plain", String(rpm));
170     });
171
172     server.begin();
173     Serial.println("Web server started.");
174 }

```

Рисунок 4.2.12 – Функція setup() для ESP8266, яка виконує початкову конфігурацію апаратних компонентів та веб-сервера.

```

176 // ----- Loop -----
177 void loop() {
178   if ((micros() - lastMicros) > 1000000) {
179     rpm = 0;
180   }
181
182   int gasValue = analogRead(GAS_PIN);
183
184   // LED control
185   if (gasValue > 8) {
186     digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // газ > 8 → світиться
187     delay(2000);
188   } else {
189     digitalWrite(LED_PIN, LOW); // газ ≤ 8 → вимкнений
190   }
191
192   // OLED output
193   display.clearDisplay();
194   display.setTextSize(1);
195   display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
196
197   display.setCursor(0, 0);
198   display.print("RPM: ");
199   display.println(rpm);
200
201   display.setCursor(0, 16);
202   display.print("GAS: ");
203   display.println(gasValue);
204
205   display.display();
206
207   server.handleClient();
208   delay(200);
209 }
210

```

Рисунок 4.2.13 – функція loop(), яка виконується постійно на ESP8266 і керує всім у реальному часі: зчитування сенсорів, керування LED, оновлення OLED та обслуговування веб-сервера.

5. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

5.1 Розробка макету лічильника

Дослідження принципів роботи та перевірка алгоритмів підрахунку потребують наочного й керованого експериментального середовища. Одним із ефективних підходів до такого дослідження є використання імітаційних моделей.

Імітаційне моделювання дозволяє відтворити роботу лічильника в умовах, наближених до реальних, із можливістю зміни параметрів та режимів роботи без застосування промислового обладнання. Це спрощує процес налагодження, тестування та аналізу системи, а також зменшує часові й матеріальні витрати на етапі розробки.

У даному розділі розглядається макет роботи лічильника, побудований на основі електромеханічних та електронних компонентів, яка забезпечує формування імпульсів, керування швидкістю їх надходження та автономне живлення системи.

Макет лічильника реалізує принцип підрахунку подій на основі обертального руху та магнітної взаємодії. Основним елементом макету є електродвигун, на валу якого закріплено диск з приклеєним неодимовим магнітом. Під час обертання двигуна магніт періодично проходить повз чутливий елемент, що дозволяє імітувати формування імпульсів, які відповідають одиницям підрахунку лічильника.

Швидкість обертання двигуна регулюється за допомогою потенціометра, що дає змогу змінювати частоту надходження імпульсів. Таким чином реалізується імітація різної інтенсивності подій, які підлягають підрахунку. Це дозволяє дослідити роботу лічильника в широкому діапазоні швидкостей та режимів.

Кнопка використовується для керування режимами роботи імітаційної моделі, зокрема для запуску, зупинки або скидання значення лічильника до початкового стану. Це забезпечує можливість багаторазового проведення експериментів та перевірки коректності алгоритму підрахунку.

Живлення імітаційної моделі здійснюється від двох акумуляторів, що забезпечує автономність роботи системи та стабільність напруги під час експериментів. Використання акумуляторного живлення дозволяє наблизити умови роботи моделі до реальних експлуатаційних умов.

Розроблений макет дає змогу наочно відтворити принцип роботи лічильника, провести аналіз його поведінки при зміні вхідних параметрів та виконати налагодження програмної частини без застосування реального промислового обладнання.

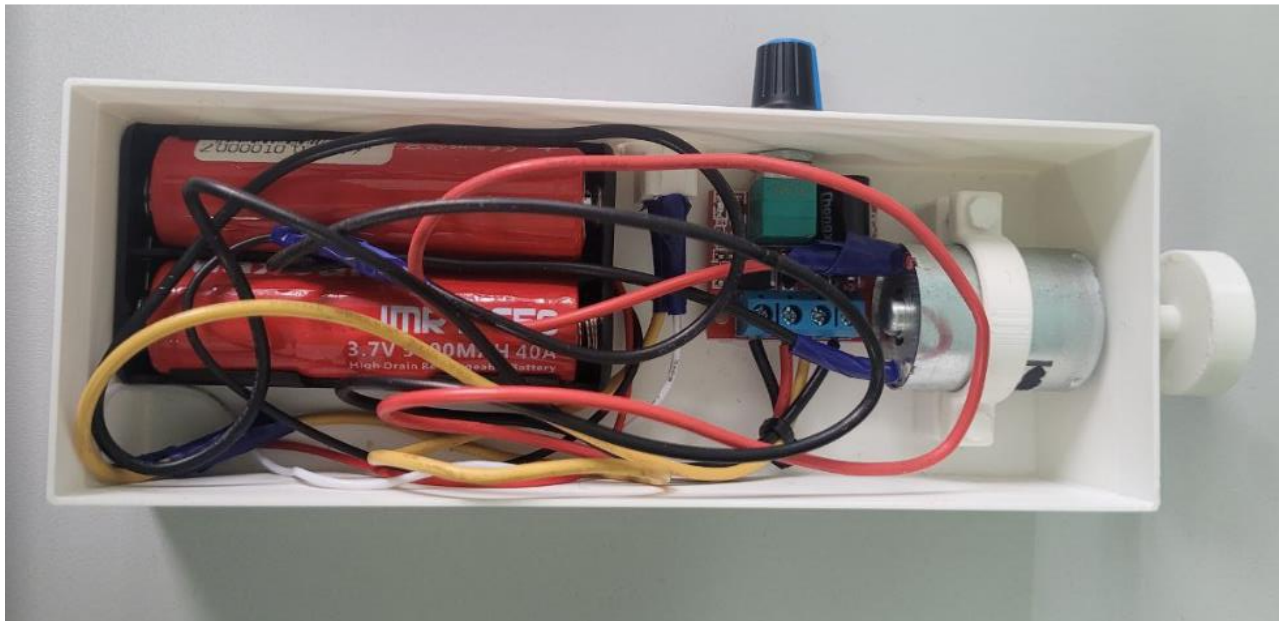


Рисунок 5.1.1 – Усі складові макету лічильника
в пластиковому корпусі(вид зверху)

На рисунку 5.1.1 ми бачимо складові цієї моделі лічильника, далі наводжу технічні характеристики кожного елемента.

1. Моторчик

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 3 - 6 В;
- Номінальний струм: близько 300 мА при напрузі 3;
- Загальна довжина: 35 мм;
- Діаметр: 21 мм;
- Довжина валу: 9 мм;
- Діаметр валу: 2 мм;

- Вага: 20 г[34].

2. Потенціометр

- Технічні характеристики:
- Розмір плати: 24 x 21 мм;
- Висота: 15 мм;
- Вхідний вихідний роз'єм: ХН2.543Р;
- перемикач: ХН2.542Р;
- Монтажний отвір: 6 мм 0,24 дюйма[35].

3. Кнопка

Технічні характеристики:

- Матеріал корпусу: пластик;
- Номінальна сила струму: 6 А;
- Габаритні розміри: діаметр 15 мм[36].

4. Акумулятори

Технічні характеристики:

- Склад: Li-ion;
- Типовий розмір: 18650;
- Ємність: 3000mAh;
- Напруга: 3.7-4.2V[37].

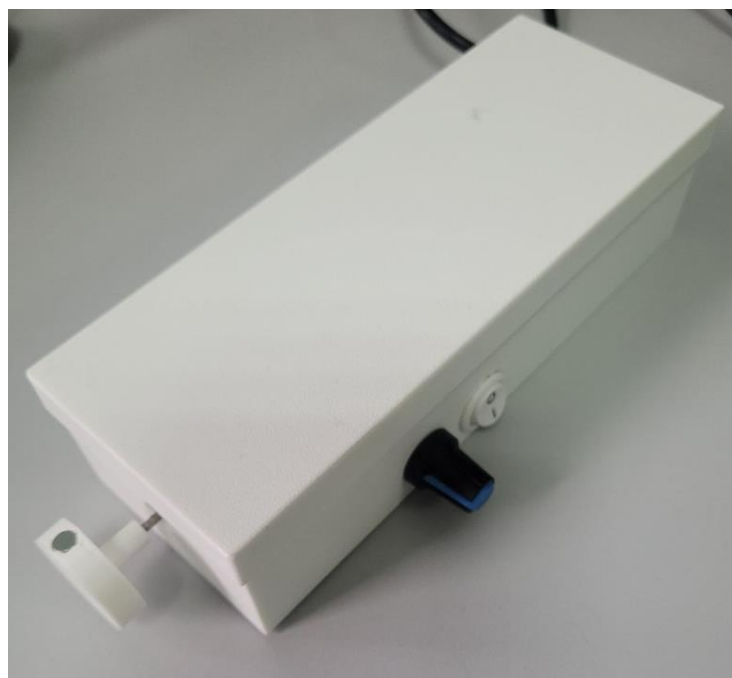


Рисунок 5.1.2 – Макет лічильника(вид зверху) з закритою кришкою

5.2 Структурна схема макету лічильника



Рисунок 5.2.1 – Структурна схема макету лічильника

Макет лічильника складається з автономного джерела живлення, дискретного елемента керування, вузла аналогового регулювання та електромеханічного виконавчого механізму, що забезпечує імітацію процесу вимірювання витрати газу.

Опис елементів структурної схеми:

–Акумулятор виконує функцію автономного джерела електроживлення макету лічильника. Він забезпечує стабільну подачу постійної напруги на всі функціональні вузли схеми.

–Кнопка є дискретним елементом керування і призначена для комутації ланцюга живлення або формування керувального сигналу запуску макету. У замкненому стані кнопка забезпечує подачу напруги на наступні елементи схеми, а у розімкненому — відключає навантаження. Кнопка реалізує ручне

керування режимом роботи макету та дозволяє здійснювати швидке аварійне вимкнення пристрою.

–Потенціометр є змінним резистивним елементом, який використовується для плавного регулювання електричних параметрів керування мотором. Зміна опору потенціометра призводить до зміни напруги або струму, що подається на виконавчий механізм. Таким чином забезпечується безперервне регулювання швидкості обертання мотора, що у межах макету відповідає зміні умовної витрати газу.

–Мотор є електромеханічним виконавчим елементом макету та призначений для перетворення електричної енергії в механічний обертальний рух. Він імітує роботу ротора газового лічильника. Частота обертання вала мотора визначається величиною керувального сигналу, сформованого потенціометром, і може змінюватися в широкому діапазоні, що дозволяє відтворювати різні режими роботи лічильника.

5.3 Розрахунок похибок

Для обрахунку похибок я використаю програму Matlab. MATLAB – пакет прикладних програм для чисельного аналізу, а також мова програмування, що використовується в цьому пакеті. Система, створена компанією The MathWorks, є засобом для роботи з математичними матрицями, побудови графіків функцій, роботи з алгоритмами, створення робочих оболонок (інтерфейсів користувача) з програмами іншими мовами програмування. Хоча продукт спеціалізується на чисельному аналізі, спеціальні інструментальні засоби працюють з програмним забезпеченням Maple, що робить його повноцінною системою для роботи з алгеброю.

Ця програма ідеально підходить для обробки даних вимірювань, обрахунку похибок та візуалізації графіків. Код програми зображений в додатку.

Проведемо експеримент з вибіркою в 20 значень вимірів з датчика MQ-4 та отримаємо відповідні дані табл.5.3.1.

Вибірка X1:

X1 = [8 6 5 10 18 12 9 16 7 4 11 13 15 17 14 5 11 10 9 7];

Середньоарифметичне значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1 обчислюється за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i \quad (5.3.1)$$

Де:

$\bar{x}$ – середнє арифметичне значення;

x_i – i-те значення вибірки;

n – кількість елементів у вибірці;

$\sum$ – знак суми.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i = 10.350$$

Середньо геометричного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X1:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} \quad (5.3.2)$$

Де:

$G(x)$ – середнє геометричне значення;

x_j – j-те значення вибірки;

n – кількість елементів у вибірці;

$\prod$ – знак добутку.

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} = 9.515$$

Значення медіани результатів багатократних вимірювань фізичної величини опору для вибірки X1:

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} \quad (5.3.3)$$

Де:

M – середнє геометричне значення;

x_k – k -те значення вибірки;

n – кількість елементів у вибірці.

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} = 10.000$$

Оцінки випадкової величини наступні:

- Оцінка дисперсії: 4.158
- Середньоквадратичного відхилення середнього значення: 0.930.

Висновок: значення не перевищують допустимі межі.

Визначаємо закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X1 рис.5.3.1.

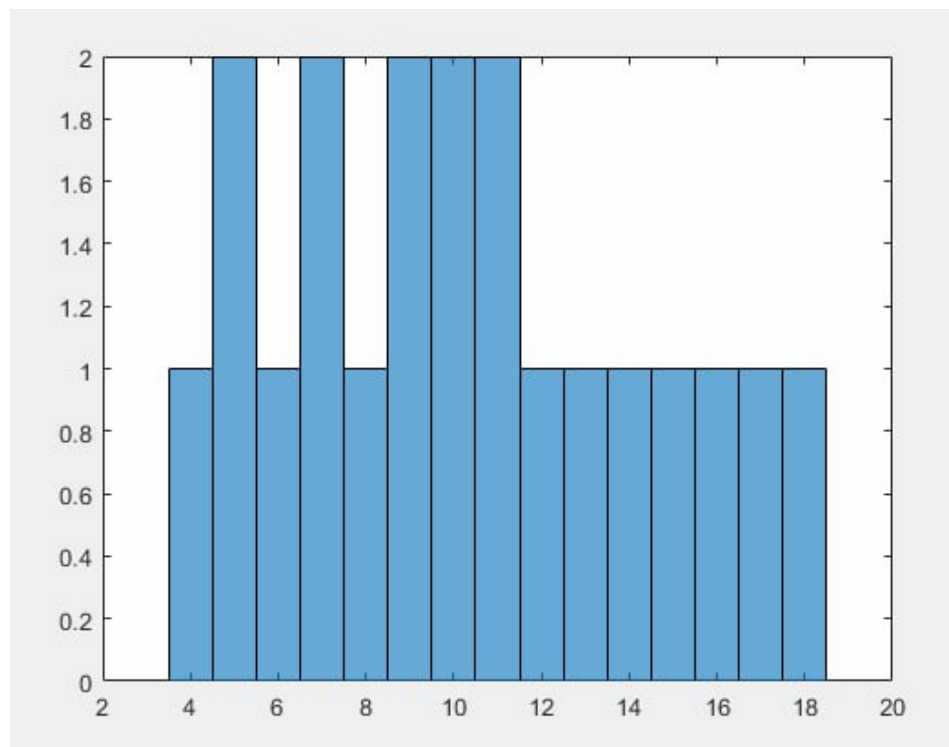


Рисунок 5.3.1 – Закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X1

Виконуємо перевірку на наявність грубих помилок за критерієм Ірвіна, для цього визначаємо коефіцієнти по формулі.

Таблиця 5.3.1. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Ірвіна

<i>N</i>	<i>X1</i>	Похибка
1	8	Відсутня

2	6	Відсутня
3	5	<i>Присутня</i>
4	10	Відсутня
5	18	<i>Присутня</i>
6	12	<i>Присутня</i>
7	9	Відсутня
8	16	<i>Присутня</i>
9	7	<i>Присутня</i>
10	4	Відсутня
11	11	Відсутня
12	13	Відсутня
13	15	Відсутня
14	17	Відсутня
15	14	Відсутня
16	5	<i>Присутня</i>
17	11	<i>Присутня</i>
18	10	Відсутня
19	9	Відсутня
20	7	Відсутня

Як бачимо з результатів обчислення, декілька результатів вимірювання вважається помилковим, тому їх потрібно виключити при подальшій обробці результатів спостережень.

За критерієм Романовського обрахуємо помилки табл.5.3.2.

Таблиця 5.3.2. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Романовського

<i>N</i>	<i>X1</i>	Похибка
1	8	Відсутня
2	6	Відсутня

3	5	Відсутня
4	10	Відсутня
5	18	Відсутня
6	12	Відсутня
7	9	Відсутня
8	16	Відсутня
9	7	Відсутня
10	4	Відсутня
11	11	Відсутня
12	13	Відсутня
13	15	Відсутня
14	17	Відсутня
15	14	Відсутня
16	5	Відсутня
17	11	Відсутня
18	10	Відсутня
19	9	Відсутня
20	7	Відсутня

За обрахунками значення з грубою помилкою не виявлено.

Оцінки елімінованого масиву за критерієм Діксона.

- Середнє значення: 10.350.
- Допустимий діапазон: 10.350 +/- 1.618.

Також виконано обрахунок для вимірів даних датчика Холла.

Вибірка X2:

X2 = [1120 1185 1240 1800 1315 1600 1280 700 1330 1205 1170 1950 1225 1145 1310 1190 500 1340 1210 1240];

Середньоарифметичного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X2:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i \quad (5.3.4)$$

Де:

$\bar{x}$ – середнє арифметичне значення;

x_i – i -те значення вибірки;

n – кількість елементів у вибірці;

$\sum$ – знак суми.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i = 1252.750$$

Середньо геометричного значення результатів багатократних вимірювань опору для вибірки X2:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} \quad (5.3.5)$$

Де:

$G(x)$ – середнє геометричне значення;

x_j – j -те значення вибірки;

n – кількість елементів у вибірці;

$\prod$ – знак добутку.

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} = 1209.496$$

Значення медіани результатів багатократних вимірювань фізичної величини опору для вибірки X2:

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} \quad (5.3.6)$$

Де:

M – середнє геометричне значення;

x_k – k -те значення вибірки;

n – кількість елементів у вибірці.

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} = 1232.500$$

Оцінки випадкової величини наступні:

– Оцінка дисперсії: 312.012.

– Середньоквадратичного відхилення середнього значення: 69.768.

Висновок: значення не перевищують допустимі межі.

Визначаємо закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X2 рис.5.3.2.

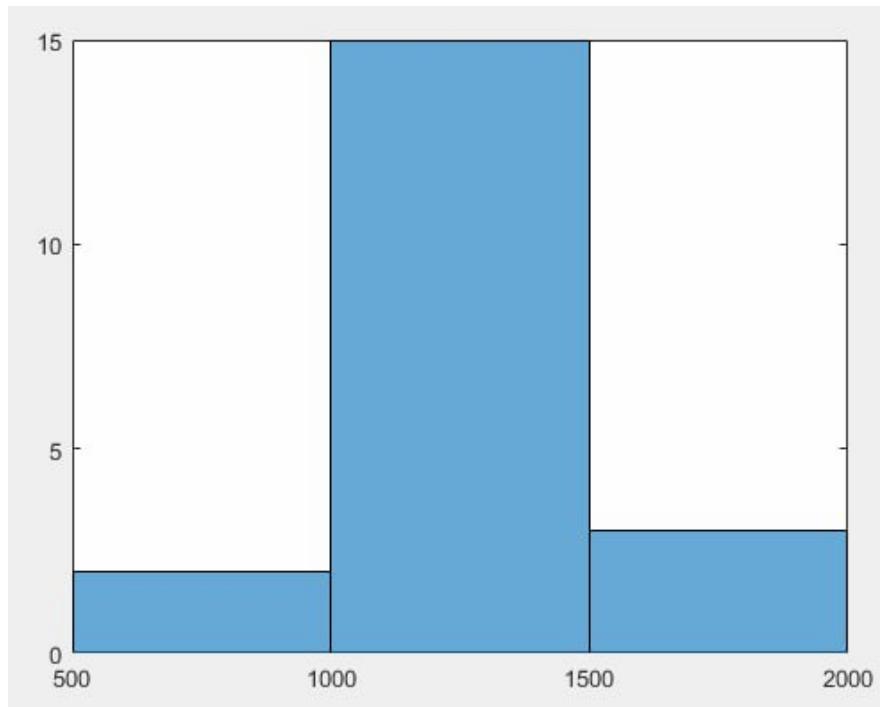


Рисунок 5.3.2 – Закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X2

Виконуємо перевірку на наявність грубих помилок за критерієм Ірвіна, для цього визначаємо коефіцієнти по формулі.

Таблиця 5.3.3. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Ірвіна

N	X2	Похибка
1	1120	Відсутня
2	1185	Відсутня
3	1240	Відсутня
4	1800	Присутня
5	1315	Присутня
6	1600	Відсутня
7	1280	Відсутня
8	700	Присутня

9	1330	<i>Присутня</i>
10	1205	Відсутня
11	1170	Відсутня
12	1950	<i>Присутня</i>
13	1225	<i>Присутня</i>
14	1145	Відсутня
15	1310	Відсутня
16	1190	Відсутня
17	500	<i>Присутня</i>
18	1340	<i>Присутня</i>
19	1210	Відсутня
20	1240	Відсутня

Як бачимо з результатів обчислення, декілька результатів вимірювання вважається помилковим, тому їх потрібно виключити при подальшій обробці результатів спостережень.

За критерієм Романовського обрахуємо помилки табл.5.3.4.

Таблиця 5.3.4. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Романовського

<i>N</i>	<i>X2</i>	<i>Похибка</i>
1	1120	Відсутня
2	1185	Відсутня
3	1240	Відсутня
4	1800	Відсутня
5	1315	Відсутня
6	1600	<i>Присутня</i>
7	1280	Відсутня
8	700	Відсутня
9	1330	Відсутня

10	1205	Відсутня
11	1170	Відсутня
12	1950	Відсутня
13	1225	Відсутня
14	1145	Відсутня
15	1310	Відсутня
16	1190	Відсутня
17	500	Відсутня
18	1340	Відсутня
19	1210	Відсутня
20	1240	Відсутня

За обрахунками значення з грубою помилкою обрахунками значення з грубою помилкою виявились: 1600, при подальшій роботі з вибіркою потрібно виключити ці значення.

Оцінки елімінованого масиву за критерієм Діксона.

- Середнє значення: 1252.750.
- Допустимий діапазон: 1252.750 +/- 121.396.

5.4 Тестування роботи програми

В цьому підрозділі описано тестування роботи програми, а саме: робота датчиків, дисплею, діода та веб-сайту.

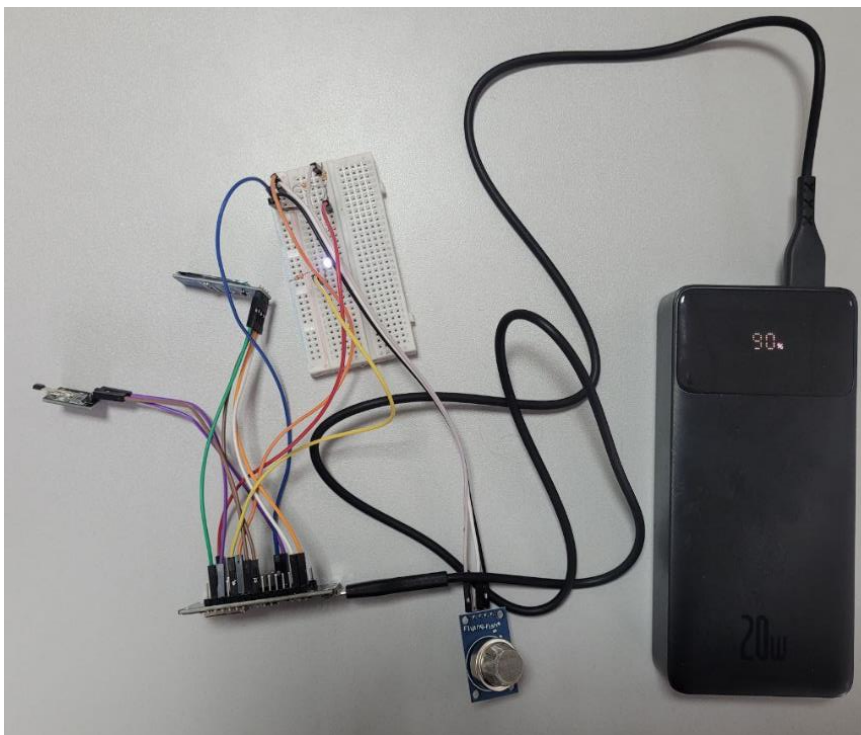


Рисунок 5.4.1 – Всі елементи пристрою підключені до павербанку

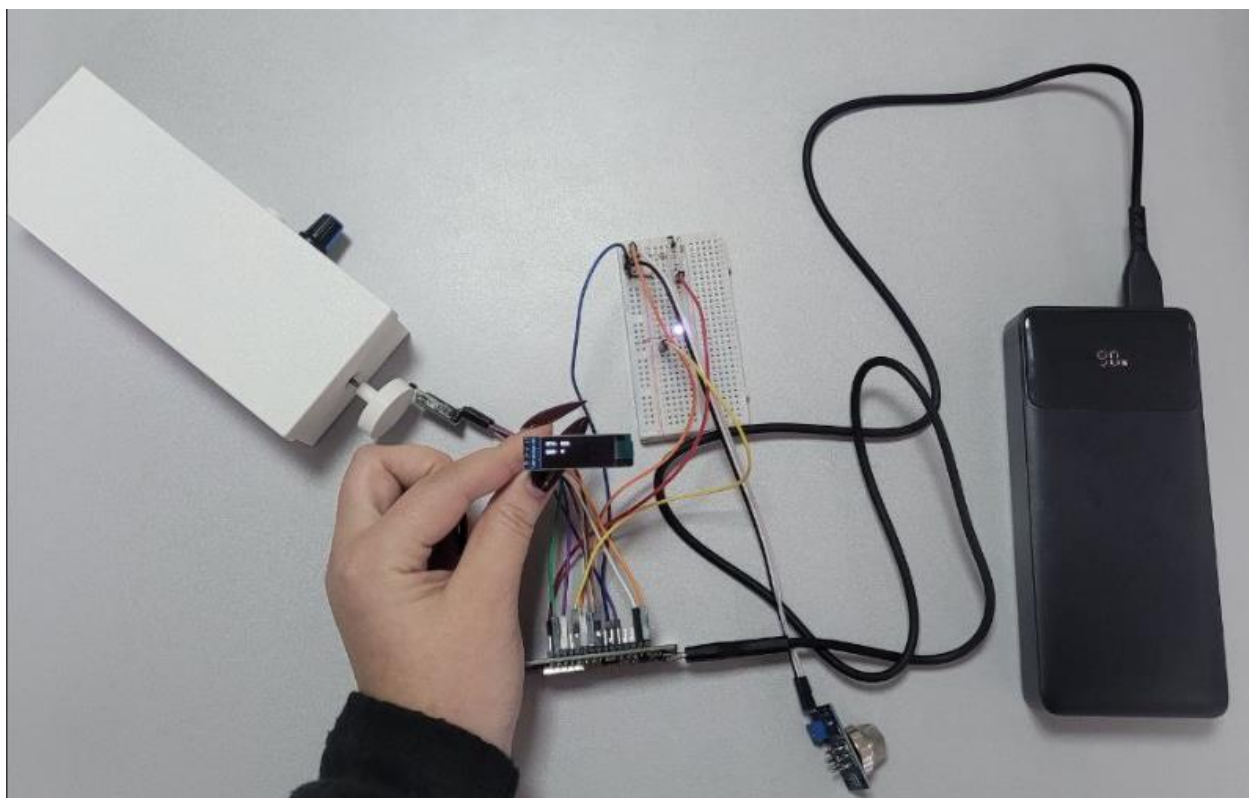


Рисунок 5.4.2 – Система та макет лічильника(без корпусу)

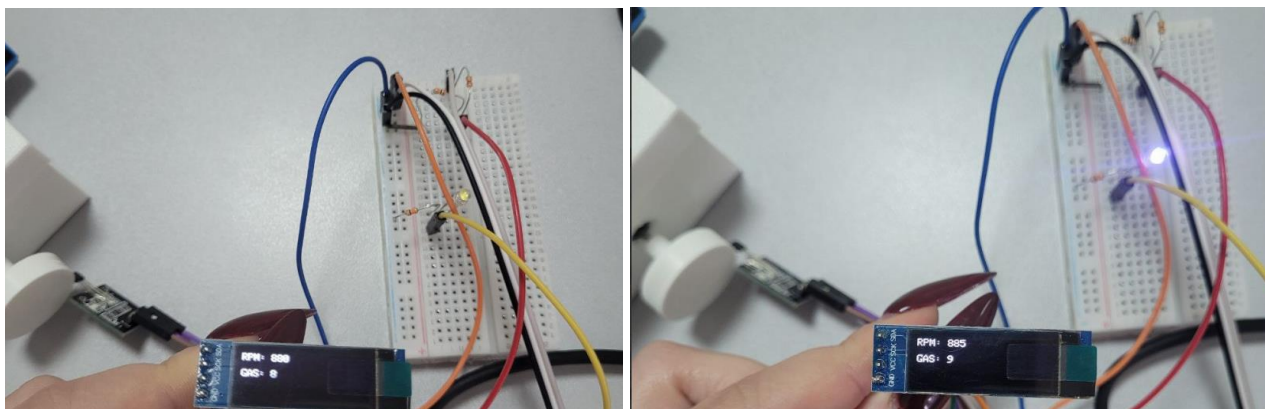


Рисунок 5.4.3 – Робота системи

На рисунку 5.4.3 зображено роботу системи, тобто ми бачимо вивід даних на дисплей і увімкнений/вимкнутий діод. В коді програми прописано, що якщо рівень газу біля лічильника підвищиться більше записаного числа, діод світитиметься. Датчик MQ-4 формує аналоговий сигнал, який відповідає концентрації метану. Значення, отримані з АЦП мікроконтролера, подаються в умовних одиницях (0–1023), що пропорційні концентрації газу.



Рисунок 5.4.4 – Скріншот веб-сторінки

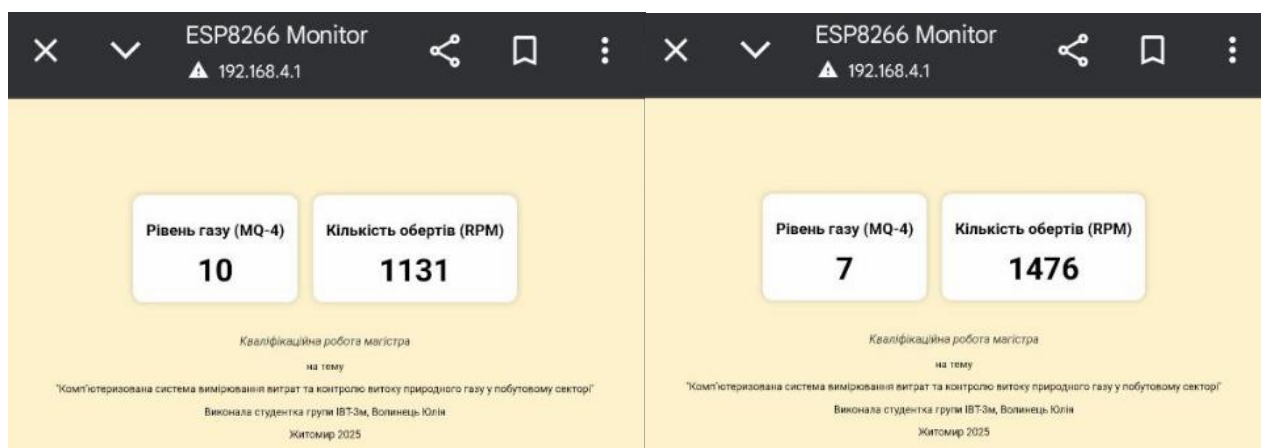


Рисунок 5.4.5 – Скріншоти веб-сторінки

На рисунках 5.4.4 та 5.4.5 ми бачимо роботи веб сторінки. Висвітлений підпис та інформація про рівень газу та кількість обертів. Для входу на сторінку потрібно підключатись до мережі, яку ми створювали в коді і після цього буде доступна сторінка, що постійно оновлює виміряні дані.

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу розробки та вдосконалення комп'ютеризованої системи вимірювання витрат і контролю витоку природного газу у побутовому секторі. Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення рівня безпеки, точності обліку споживання газу та впровадження сучасних інформаційно-вимірювальних технологій у побутові системи.

У ході виконання роботи проведено огляд та аналіз існуючих методів і засобів вимірювання витрати природного газу, на основі чого визначено їх переваги та недоліки.

Розроблено структурну схему комп'ютеризованої вимірювальної системи, яка поєднує функції обліку витрат та контролю витоку газу. Обґрунтовано вибір технічних засобів системи, зокрема датчиків, мікроконтролера з вбудованим бездротовим модулем та допоміжних елементів, що забезпечують стабільну та надійну роботу системи.

Розроблено алгоритм функціонування та програмне забезпечення вимірювальної системи, яке реалізує збір, обробку та передачу вимірювальної інформації. Створена програма забезпечує коректний підрахунок імпульсів, обробку сигналів з датчиків та можливість дистанційного моніторингу вимірюваних параметрів.

Для перевірки працездатності системи розроблено імітаційну модель лічильника, яка дозволила відтворити процес вимірювання витрат газу в лабораторних умовах. Проведено експериментальні дослідження та статистичну обробку результатів вимірювань, за результатами яких визначено основні метрологічні характеристики системи. Отримані значення похибок не перевищують допустимі межі, що підтверджує коректність роботи розробленої системи.

Практична цінність виконаної роботи полягає у можливості практичного впровадження розробленої комп'ютеризованої системи вимірювання витрат та

контролю витоку природного газу в умовах побутового сектору. Запропонована система забезпечує підвищення точності обліку споживання газу, а також дозволяє своєчасно виявляти витоки, що суттєво підвищує рівень експлуатаційної безпеки газових мереж. Використання сучасної елементної бази, зокрема мікроконтролера з вбудованим бездротовим модулем зв'язку, створює умови для дистанційного збору та передачі вимірювальної інформації без необхідності фізичного доступу до лічильника. Розроблені алгоритмічні та програмні рішення можуть бути адаптовані для використання в серійних приладах обліку газу, системах автоматизованого моніторингу та інформаційно-вимірювальних комплексах. Отримані в ході експериментальних досліджень метрологічні характеристики підтверджують працездатність і надійність системи, що дозволяє рекомендувати її для подальшого практичного застосування та модернізації існуючих побутових газових лічильників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Витратомір газу для підприємства [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://boviargaz.com.ua/vitratomir-gazu-dlya-pidpriyemstva>.
2. Лічильники [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://promgazkomplect.com.ua/catalog/lichil-niki>.
3. Лічильники газу роторні РГС-Ех «Настанова з експлуатації Ф62.784.012 НЕ» ст.8-9, 26-27.
4. Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметртестстандарт») «Вузли обліку природного газу з лічильниками та коректорами. Метод та основні принципи вимірювань, характеристики та загальні вимоги» РМУ 037-2015, Київ 2015. с. 15-16.
5. Датчики Холла [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.allegromicro.com/en/insights-and-innovations/technical-documents/hall-effect-sensor-ic-publications/allegro-hall-effect-sensor-ics>.
6. Датчики горючих газів [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.winsen-sensor.com/product/mq-4.html?utm_source.com.
7. Використання газового датчика [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.robotique.site/tutorial/using-the-gas-sensor-with-esp8266-nodemcu.com>.
8. Модуль датчика високої чутливості детектора газоподібного метану [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.kartji.in/product/mq-4-high-sensitivity-gas-methane-cng-detect?utm>.
9. Що таке мікропроцесор, мікроконтролер та програмований логічний контролер [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://elprivod.nmu.org.ua/ua/interesting/what_is_mp_mc_plc.php.
10. Плата ESP32-S3-Zero Type-C 4MB [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod7939-plata-esp32-s3-zero-type-c-4mb>.

11. Плата розробника ESP32-C6-Zero Mini (ESP32-C6FH4, WiFi 6, Bluetooth 5) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod6990-plata-rozrobnika-esp32-c6-zero-mini-esp32-c6fh4-wifi-6-bluetooth-5>.

12. Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266 (V3 CH340) [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://arduino.ua/prod1492-wi-fi-modul-nodemcu-v3-esp8266-v3-ch340?srsId=AfmBOorCEKKL_tJ5VH6T1vOOE0OU54yUx3JKq95.

13. Датчик Холла [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect_sensor.

14. Hall effect sensor [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sentechsensors.com/products/hall-effect-sensors>

15. Модуль датчика Холла SS49E [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1203-modul-datchika-holla-ss49e>.

16. Модуль датчика Холла A3144 V2 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod3638-modul-datchika-holla-a3144-v2>

17. Модуль датчика Холла A3144 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1210-modul-datchika-holla-a3144>.

18. Досягнення в застосуванні газових датчиків [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://jxctgas.com/blog/9483.html>.

19. Модуль датчика якості повітря ZP07-MP503 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod6413-modul-datchika-yakosti-povitrya-zp07-mp503>.

20. Модуль датчика газу MQ-6 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1388-modul-datchika-gaza-mq-6>.

21. Модуль датчика газу MQ-4 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1245-modul-datchika-gaza-mq-4>.

22. LCD 2004 символний дисплей 20x4 (синій) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod319-lcd-2004-simvolnii-displei-20x4-sinii>.

23. Дисплей OLED S0.96" I2C 128x64 (синій) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod5338-displei-oled-s0-96-i2c-128x64-sinii>.

24. OLED дисплей 0.91" I2C 128x32 (білий) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1795-oled-displei-modyl-0-91-i2c-128x32-belii>.

25. Кодекс газотранспортної системи [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://tsoua.com/wp-content/uploads/2025/05/GTS_Code_Eng_of-01.07.2025.pdf.

26. Портативний зарядний пристрій Powerbank 1x 18650 з виходом USB [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2563-portativnoe-zaryadnoe-ystroistvo-powerbank-1x-18650-s-vihodom-usb>.

27. Портативний зарядний пристрій Powerbank 2x18650 з виходом USB (Колір: чорний + білий) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2682-portativnoe-zaryadnoe-ystroistvo-powerbank-2x-18650-s-vihodom-usb>.

28. Застосування блок-схем у розробці програм [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://foxminded.ua/blok-skHEMA>.

29. Офіційний сайт Arduino [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software>.

30. Espressif ESP8266 ESP-12E [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.platformio.org/en/latest/boards/espressif8266/esp12e.html#id1>.

31. General information about the ESP8266 port [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.micropython.org/en/latest/esp8266/general.html>.

32. NodeMCU Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/release>.

33. Офіційний сайт Espruino [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.espruino.com>.

34. Мотор з редуктором [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod3275-motor-s-redyktorom-148-yglovoi-odno-osevoi>.

35. Подвійний 50К з платою потенціометра [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.joom.com/uk/products/677cfacbf6501e011ed04056?srsId=A>.

36. Кнопка кругла Biom on/off SB-09B 3A/6A [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1537814851-knopka-kruglaya-biom.html>.

37. Акумулятор 18650 Terra 3000mAh 18650-30E (Li-ion) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://batt.com.ua/akumulator-18650-terra-3000mah-18650-30e-li-ion>.