

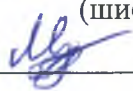
Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет Інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської дипломної роботи на тему:

«ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ВИТРАТОМІР ГАЗУ»

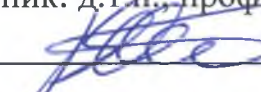
Виконав: студент 4-го курсу, групи МНТ-206,
спеціальності 153 - Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)



Головатюк М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС



Осадчук В.С.

(прізвище та ініціали)

« 10 »

06

2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ



Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

« 10 »

06

2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 »

06

2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність – 153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітньо-професійна програма – Мікро- та наносистемна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

15 березня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Головатюку Максиму Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оптико-електронний витратомір газу»

керівник роботи Осадчук Володимир Степанович, д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “11”03 2024 року № 80

2. Строк подання студентом роботи 07 06 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення 5 В, нормальний тепловий режим 35 °С, робоча температура –40 – +40 °С, показник заломлення оптичного променя газу від 1,00001 до 1,0001, середній час напрацювання на відмову не менше 15000 год, час безвідмовної роботи не менше 60000 год.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Огляд існуючих методів вимірювання швидкості потоку газу. Розробка математичної моделі пристрою та моделювання його параметрів. Розроблення конструкції оптико-електронного витратоміра газу. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структурна схема технічної реалізації теплового методу при нестационарному режимі функціонування. Зміна електричного опору ТЕ при подачі і знятті електричного впливу. Залежність температури (електричного опору) ТЕ при дії енергетичного впливу. Зміна електричного опору ТЕ при комутації енергетичного стану. Вихідні характеристики витратомірів при комутації енергетичного стану ТЕ. Типи ультразвукового виміру: часоімпульсний; доплерівський. Залежність швидкості потоку газу від радіуса кривизни. Структурна схема.

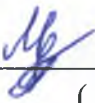
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., професор, професор каф. ІРТС Осадчук В.С.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 12.03.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	14.02.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на БДР.	11.03.2024-31.03.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки . Експериментальне дослідження.	07.05.2024-18.05.2024	
6.	Розробка графічної частини БДР	19.05.2024-22.05.2024	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-28.05.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	29.05.2024-05.06.2024	
9.	Нормоконтроль	06.06.2024-07.06.2024	
10.	Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	08.06.2024-10.06.2024	
11.	Захист БДР ЕК	11.06.2024-12.06.2024	

Студент  Головатюк М.О.
(підпис)

Керівник роботи  Осадчук В.С.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 681.121.4

Головатюк М. О. Оптико-електронний витратомір газу. Бакалаврська дипломна робота – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 98 с. Українською мовою. Бібліогр.: 43 . назв; Рис.: 21.

У бакалаврській дипломній роботі розроблений оптико-електронний витратомір газу. Проведено огляд існуючих методів визначення швидкості потоку газу. Здійснений аналіз вже існуючих аналогів та прототипів. Розроблена математична модель пропонованого оптико-електронного витратоміра газу. Виконана розробка схеми електричної принципової. Обраний метод конструювання друкованої плати, виконаний розрахунок теплового режиму роботи пристрою, механічної міцності друкованої плати, надійності пристрою та інші конструкторські розрахунки. Отримані результати комп'ютерного моделювання оптико-електронного витратоміра газу.

Ключові слова: оптико-електронний пристрій, витратомір газу, швидкість потоку газу, вимірювання.

ABSTRACT

UDC 681.121.4

Golovatyuk M. O. Optoelectronic gas flow meter. Bachelor's thesis. - Vinnytsia: VNTU, 2024. 98 p. In Ukrainian. Bibliography: 18. titles; Figures: 24.

In the bachelor's thesis, an optoelectronic gas flow meter was developed. A review of existing methods for determining the gas flow rate was carried out. The analysis of existing analogues and prototypes is carried out. A mathematical model of the proposed optoelectronic gas flowmeter was developed. The development of the electrical circuit was carried out. The method of designing the printed circuit board was chosen, the thermal mode of operation of the device, the mechanical strength of the printed circuit board, the reliability of the device and other design calculations were performed. The results of computer modelling of the optoelectronic gas flowmeter are obtained.

Keywords: optoelectronic device, gas flow meter, gas flow rate, measurement.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ ГАЗУ	10
1.1 Перспективи розвитку вимірювачів швидкості потоку газу	10
1.2 Класифікація методів вимірювання швидкості потоку газів	12
1.3 Класифікація методів вимірювання швидкості потоку газів	23
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ.....	30
2.1 Розробка математичної моделі оптико-електронного витратоміра газу.....	30
2.2 Розробка оптичної схеми вимірювача швидкості потоку газу.....	32
3 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВИТРАТОМІРА ГАЗУ	34
3.1 Галузь використання вимірювача швидкості потоку газу і його ціль	34
3.2 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації вимірювача	34
3.3 Вибір і обґрунтування аналогів вимірювача	36
3.4 Попередній аналіз і розробка схеми вимірювача швидкості потоку газу	40
3.5 Конструкторські розрахунки.....	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	74
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	74
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	77
4.3 Пожежна безпека.....	83
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	89
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (бакалаврської) дипломної роботи.....	97

ВСТУП

Актуальність теми. Вимірювачі швидкості потоку газу набули широкого застосування у багатьох галузях промисловості. У зв'язку з широким його використанням по всьому світі та обмеженими ресурсами з'явилася потреба контролювати його витрати, з метою, щоб оптимізувати витрати та раціонально використовувати його запаси. З розвитком науки та технології почали проводитися безліч експериментальних досліджень зв'язаних з витратами газу та швидкості його розповсюдження. Загалом усі методи виміру швидкості потоків можна розділити на три загальних основних методи: кінематичні, динамічні і фізичні.

Під час вимірювання за допомогою кінематичних методів у середовищі створюється позначка, а пристрій використовується для визначення швидкості руху позначки в середовищі. Теги можуть бути штучними або природними в потоці. Динамічні методи використовують динамічну взаємодію потоку з вимірювальними зондами та пристроями, а також взаємодію потоків магнітного або електричного поля, і можуть бути гідродинамікою, термодинамікою або магнітогідродинамікою. Різні фізичні процеси використовують фізичні методи для вимірювання швидкості, і існує унікальний і стабільний зв'язок між швидкістю потоку та швидкістю в потоці. Кожна з них має багато складних методів вимірювання потоку та витрати газу.

В даний час найбільш динамічною технологією виміру, що розвивається, потоку газу в трубі є використання ультразвукових витратомірів. Відповідно до проведених досліджень із середини 90-х років промислове використання ультразвукових витратомірів у нафтогазовій індустрії росте зі стабільним темпом 50% у рік. Газові витратоміри успішно працюють при тисках від 4 бар і вище, вимірюють потоки до 40 м/с на трубах діаметром від 75 до 1200 мм [1].

Аналіз сучасного стану за тематикою роботи.

Метод зі змінним перепадом тиску є найстарішим і конструктивно найпростішим у реалізації. Для вимірювання швидкості повітряного потоку використовують трубки тиску Піто. За допомогою трубки Піто вимірюють різницю

між загальним тиском і статичним тиском рідини і за цією різницею обчислюють значення швидкості. Останнім часом все більшої популярності набувають вихрові анемометри.

Перетворювачі вихрових струмів організовані двома способами: вихрові перетворювачі та перетворювачі природних вихрових струмів. Основний датчик цих анемометрів має нерухомий корпус, і коли навколо нього виникає потік, розвиваються руйнівні вихори, що створюють пульсації тиску. Потік можна розрахувати на основі частоти пульсації, яка вимірюється за допомогою датчиків тиску, напруги, температури, ультразвуку або інших датчиків. Вихровий анемометр має лінійну характеристику, не піддається впливу змін параметрів газового середовища і практично не залежить від просторової орієнтації. Вони відповідають значній кількості промислових вимог, зокрема мають просту та компактну конструкцію та не містять рухомих частин. Забруднення та ерозія обтічного корпусу мало впливають на процес перетворення. Основною перевагою первинного вихрострумового перетворювача є значний динамічний діапазон вимірювання (до 30) з похибкою 1%.

Однак роботу вихрового анемометра можуть порушувати акустичні та вібраційні перешкоди, створювані різними джерелами. Основним обмеженням їх застосування є неможливість роботи при зниженні числа Рейнольдса повітряного потоку в повітропроводі до значення нижче 10^3 - 10^4 , що має місце на малих швидкостях [2, 3].

Пристрої, які вимірюють сигнал як функцію тепла, що виділяється в контрольоване середовище тілом, нагрітим джерелом електричної енергії, класифікуються як термоанемометри. Існує два способи вимірювання швидкості течії за допомогою термоанемометра. У першому методі підтримується постійний струм, який нагріває термопару, а вимірювання швидкості потоку пов'язане з вимірюванням температури термопар. У другому способі дріт нагрівають електричним струмом для підтримки постійної температури, тим самим виділяючи необхідне компенсаційне тепло.

Більшість термоанемометрів працюють за принципом, що схема моста Вінстона містить дроти, які нагріваються електричним струмом. Під дією струму провід охолоджується, його температура знижується, в результаті чого зменшується його опір, що призводить до розбалансування моста і його фіксації електропристроєм. Перевагою термоанемометрів є можливість вимірювання малих швидкостей (0,1-0,5 м/с) і відсутність теплової інерції термопар [4].

Оптичні пристрої все частіше використовуються в областях, де потрібно виміряти потік або потік газу. Оптичним пристроєм, що використовується для вимірювання швидкості потоку газу, є доплерівський лазерний анемометр, який заснований на вимірюванні різниці частот, яка виникає, коли промінь світла відбивається рухомими частинками в потоці. Оптичні анемометри мають багато переваг: висока точність, висока швидкість і відсутність контакту з контрольованими потоками матеріалів. Лазерні анемометри складні і дорогі, вони застосовуються в основному для виміру місцевих швидкостей рідини і газу в різних дослідницьких роботах [5].

Метою роботи є підвищення точності вимірювання швидкості потоку газу оптико-електронного витратоміра газу, що технологічно сумісний з мікроелектронною елементною базою.

Об'єктом дослідження є процес перетворення енергії оптичних променів у газовому середовищі та процеси їх подальшого перетворення в енергію електричних інформаційно-вимірювальних сигналів.

Предмет дослідження – частотні та часові параметри і характеристики інформаційно-вимірювальних сигналів оптико-електронного витратоміра газу.

Для досягнення мети у роботі розв'язані наступні завдання:

- провести аналіз сучасних досягнень;
- обрати метод вимірювання;
- розробити математичну модель пристрою;
- розробити схему пристрою;
- здійснити комп'ютерне моделювання;
- побудувати топологію друкованої плати пристрою;

- здійснити розрахунок надійності пристрою;
- виконати розділ безпеки життєдіяльності.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: рівнянь теоретичної фізики; основних положень функції комплексної змінної; теорії нелінійних електричних кіл; теорії комп'ютерного моделювання наносистемних пристроїв.

Теоретична новизна одержаних результатів

Отримав подальший розвиток оптико-електронний метод побудови пристроїв вимірювання швидкості потоку газу.

Практичне значення одержаних результатів

Нова електрична схема та конструкція пристрою оптико-електронного витратоміра газу.

Структура і обсяг роботи. Бакалаврська дипломна робота має у своєму складі з вступ, розділи 1-4, висновки, список використаних джерел, додатки А і Б.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ ГАЗУ

1.1 Перспективи розвитку вимірювачів швидкості потоку газу

На даний момент існує понад 20 відомих методів вимірювання потоку в різноманітних категоріях. Найбільше поширення в промисловості отримали витратоміри. За принципом дії вони поділяються на: перепади тиску, електромагнітні, на основі інших принципи роботи. Відомі витратоміри: резонансні, оптичні, іонізаційні, міткові тощо. Однак багато з них все ще знаходяться на стадії розробки і ще не знайшли широкого застосування.

Витратоміри змінного перепаду тиску та витратоміри постійного перепаду тиску стали найбільш широко використовуваними витратомірами. До витратомірів змінного перепаду тиску відносяться вимірювачі перепаду тиску, які застосовуються, коли перепад тиску в трубі створюється вузьким пристроєм (діафрагмою, соплом, трубкою Вентурі тощо).

У витратомірі з постійним перепадом тиску змінюється площа поперечного перерізу каналу, а перепад тиску до і після нього залишається постійним.

У деяких випадках, коли витратоміри недоступні, напірні труби, гідравлічні ротори та анемометри можна використовувати для вимірювання витрати та обчислення витрати в будь-якій точці перетину. Об'ємна швидкість потоку визначається множенням швидкості на площу поперечного перерізу.

Швидкісні витратоміри широко використовуються в різних галузях промисловості. Принцип роботи заснований на залежності швидкості руху об'єктів - сенсорних елементів, розміщених в потоці, від витрати речовин, що протікають через ці витратоміри. У цій групі витратомірів найбільш вживаними на практиці є турбінні витратоміри, кулькові та камерні витратоміри.

Електромагнітні витратоміри можна використовувати для вимірювання швидкості та потоку провідних матеріалів. Робота електромагнітних витратомірів заснована на залежності електромагнітних полів, які індукуються в провід-

ному середовищі, що рухається в електромагнітному полі. Конструктивно датчик електромагнітного витратоміра являє собою трубу з немагнітного матеріалу, в трубі встановлені два електроди. У місці розташування електродів із зовнішнього боку труби розташовують полюси або систему магнітів. Основним недоліком цих приладів є неможливість вимірювання витрати непровідних середовищ.

Якщо необхідно виміряти витрату забрудненої рідини, вапняного молока, дифузійного соку, гравітаційного сусла тощо, зазвичай використовують витратомір змінного рівня. Принцип роботи пристрою заснований на залежності рівня рідини в ємності від витрати при вільному протіканні через калібрований отвір (щілину) або на дні бокової стінки ємності.

В даний час вихровий витратомір розроблений і має дуже широкі перспективи застосування. Принцип його роботи заснований на залежності частоти пульсації середнього тиску, що виникає в процесі вихрового перетворення рідини, від витрати.

Звукові витратоміри стають все більш популярними. Принцип роботи цього витратоміра заснований на залежності акустичних ефектів у потоці матеріалу від його швидкості. Широке використання звукових витратомірів пояснюється їх здатністю вимірювати потік забруднених і корозійних середовищ, відсутністю інерції, безконтактним вимірюванням, відсутністю рухомих частин у потоці, відсутністю втрати тиску в трубопроводі тощо.

Дуже перспективний витратомір тепла. Принцип їх роботи заснований на використанні залежності теплових впливів на потік речовини від масової витрати цієї речовини. Розрізняють калориметричні, теплові шарові витратоміри і теплові витратоміри швидкості повітря. Калориметричні витратоміри засновані на нагріванні або охолодженні рідини зовнішнім джерелом енергії, що створює різницю температур рідини. Витратоміри теплового шару засновані на різниці температур між двома сторонами прикордонного шару.

В даний час широко використовується метод теплової швидкості повітря, який використовує залежність між швидкістю потоку і тепловіддачею чутливо-

го елемента, поміщеного в рідину і нагрітого електричним струмом. Прилад, що реалізує цей метод (температурний анемометр), має малу інерційність, високу чутливість, точність, надійність і компактність.

Підсумовуючи, існує багато методів вимірювання витрати газу, які використовуються в багатьох галузях народного господарства та промисловості. Але багато з них все ще знаходяться на стадії розробки і ще не повністю розроблені та вдосконалені. Так, ця тема ще потребує широкого вирішення, а перспективи її розширення є значними [1, 2, 3].

1.2 Класифікація методів вимірювання швидкості потоку газів

1.2.1 Методи, засновані на використанні енергії потоку

Усі методи можна розділити по фізичній ідеї на п'ять груп [1]:

Ці методи поділяються на такі, що:

- використовують перемінний перепад тисків;
- використовують вимір моменту, що крутить;
- використовують явище обтікання.

З реалізацій методів цієї групи найбільше поширення одержали турбінні анемометри з обертовою турбіною, рідше зустрічаються прилади з загальмованою турбіною, що вимірюють відхилення пластини, що сприймає напір контрольованого потоку, що володіють більшою погрішністю. Методи, що використовують перемінний перепад тисків, є найстарішими і конструктивно найбільше просто реалізованими. Для виміру швидкостей повітряних потоків використовується напірна трубка Піто. З використанням трубки Піто вимірюють різницю повного і статичного тиску потоку, і за цією різницею обчислюють значення швидкості.

Останнім часом дуже популярні вихрові анемометри. Перетворювачі вихрових струмів організовані двома способами: вихрові перетворювачі та перетворювачі природних вихрових струмів. Ці анемометри мають нерухомий корпус у головному датчику, і коли навколо нього виникає потік, розвиваються ту-

рбулентні вихори, створюючи пульсації тиску. Потік можна розрахувати на основі частоти пульсації, яка вимірюється за допомогою датчиків тиску, напруги, температури, ультразвуку або інших датчиків. Вихровий анемометр має лінійну характеристику, не піддається впливу змін параметрів газового середовища і практично не залежить від просторової орієнтації. Вони відповідають значній кількості промислових вимог, зокрема мають просту та компактну конструкцію та не містять рухомих частин. Забруднення та ерозія обтічного корпусу мало впливають на процес перетворення.

Основною перевагою первинного вихрострумового перетворювача є значний динамічний діапазон вимірювання (до 30) з похибкою 1%. Однак роботу вихрових анемометрів можуть порушувати акустичні та вібраційні перешкоди, створювані різними джерелами. Основним обмеженням їх застосування є неможливість роботи при зниженні числа Рейнольдса потоку в трубі нижче значення 10^3 - 10^4 , що має місце при малих швидкостях [3].

1.2.2 Теплові методи

Теплові методи вимірювання швидкості потоку поділяються на:

- методи, що використовують вимір температури нагрітого тіла, що поміщається в потік (термоанемометри);
- методи, що використовують вимір температури потоку, що нагрівається нагрівачем (теплокалориметри).

Пристрої, які вимірюють сигнал як функцію тепла, що виділяється в контрольоване середовище тілом, нагрітим джерелом електричної енергії, класифікуються як термоанемометри. Існує два способи вимірювання швидкості течії за допомогою термоанемометра. У першому методі підтримується постійний струм, який нагріває термопару, а вимірювання швидкості потоку пов'язане з вимірюванням температури термопар. У другому способі дріт нагрівають електричним струмом для підтримки постійної температури, тим самим виділяючи необхідне компенсаційне тепло. Більшість термоанемометрів працюють за принципом, що мостова схема Вінстона містить дріт, який нагрівається елект-

ричним струмом. Під дією струму провід охолоджується, його температура знижується, в результаті чого зменшується його опір, що призводить до розбалансування моста і його фіксації електропристроєм. Перевагою термоанемометрів є можливість вимірювання низьких швидкостей (0,1-0,5 м/с) без теплової інерції термопар.

Пристрій, який передає тепло від нагрівача до вимірювально-перетворювального елемента за допомогою контрольованого потоку повітря, називається контактним калориметричним анемометром. Їх чутливість зменшується зі збільшенням контрольованої швидкості потоку, що робить їх придатними для вимірювання низьких швидкостей. Термоелектричні анемометри забезпечують необхідну точність вимірювання при швидкості вітру 0,5 м/с. Серед них під час руху повітря тепло від нагрівального дроту передається декільком термопарам, які визначаються за показаннями мілівольтметра. Таким чином визначають швидкість і напрямок течії води. До недоліків термоанемометрів можна віднести чутливість гарячих проводів до температури і тиску навколишнього середовища.

Чутливий елемент термоанемометра виготовляється з платинового, іноді вольфрамового або нікелевого дроту, діаметром кілька мікрон і довжиною 2^{-10} мм. Зі зменшенням діаметра гарячого дроту зменшується його міцність і зростає ризик старіння, тому він піддається аеродинамічним навантаженням. Під час вимірювань турбулентного потоку нагрітий дріт вібує через пульсацію, що може спричинити його пошкодження або коливання опору, що вносить значні похибки у вимірювання. Недоліком калориметричних витратомірів є також те, що наявність у газовому середовищі пилу, вологи та агресивних домішок може негативно позначитися на роботі теплообмінників і нагрівачів, що безпосередньо з ними контактують.

Збільшення верхньої межі діапазону швидкості, можливого в калориметричному анемометрі, досягається сповільненням частини повітряного потоку відомою кількістю разів, щоб його швидкість не перевищувала максимальне значення для цього теплообмінника. Різниця в діапазонах швидкостей, вимірюваних

турбінами і термоанемометрами, породила ідею об'єднати в одному пристрої два датчика, побудованих за різними принципами. У блоці вимірювання швидкості об'єднані первинні перетворювачі термоанемометра і тахометра. При малих швидкостях течії 0,05-0,5 м/с вимірювання проводять термоанемометром, а при 0,5-10 м/с спрацьовує датчик частоти обертання. Однак таке конструктивне рішення, очевидно, підходить тільки для дослідницького обладнання, оскільки пристрій, що поєднує в собі два різних датчика, коштував би вдвічі дорожче і був би більшим, а загальна конструкція була б дуже складною.

Однак, як ми бачили, як серійно доступні турбінні випускники, так і термоанемометри та датчики швидкості, що використовуються для контролю швидкості газоповітряного потоку, мають деякі недоліки, які були відзначені, зокрема, їх нездатність забезпечити швидкості, необхідні правилами безпеки та сферою застосування. . Не існує досить компактних, надійних і дешевих конструкцій. Водночас не можна очікувати, що подальше вдосконалення конструктивної реалізації принципу традиційного вимірювання швидкості термоанемометра призведе до створення приладів з необхідними характеристиками. Аналіз сучасних датчиків швидкості вітру показує, що подальше підвищення якості вимірювань пов'язане з використанням більш дорогих або складних матеріалів і збільшенням об'єму конструкції. Можна сказати, що теплові та турбінні методи вимірювання витрати вичерпали свою силу щодо створення на їх основі приладів для контролю потоку газу [3].

1.2.2.1 Термоанемометричний метод вимірювання швидкості газу

Удосконалювання методів термоанемометричних вимірювань при організації нестационарного енергетичного режиму у вимірювальній системі вирішує проблеми розширення діапазону змін контрольованих витрат газу, зниження динамічних погрешностей при вимірах, компенсації температурних погрешностей.

Все більше і більше зростає активність розробників теплових витратомірів середовищ, що рухаються, з частотно-тимчасовими вихідними характерис-

тиками, зв'язаними з удосконалюванням систем обробки інформації на базі мікропроцесорної техніки.

Як один із термічних методів розкриваються нові можливості методу теплового вимірювання швидкості повітряного потоку при роботі термоелементів (ТЕ) в нестаціонарних режимах нагріву з подальшою реєстрацією відповідних теплових характеристик, що впливають на умови теплообміну і таким чином споживання газу.

Нестаціонарний енергетичний режим функціонування ТЕ в технічних пристроях здійснюється (див. рис. 1.1)

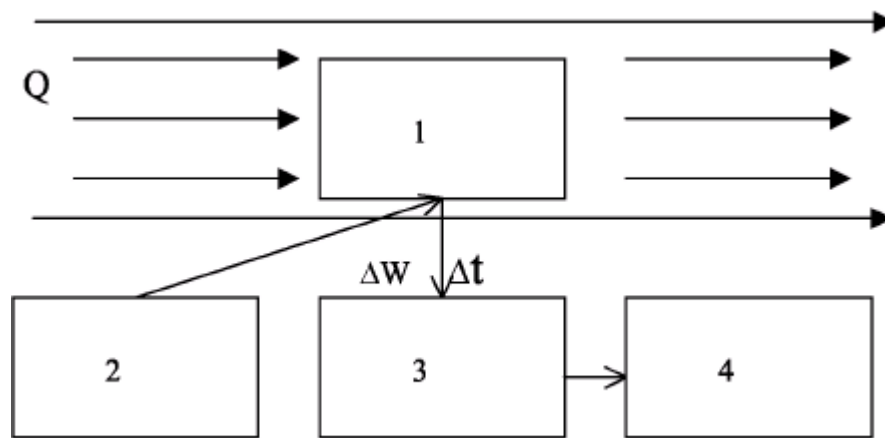


Рисунок 1.1 – Структурна схема технічної реалізації теплового методу при нестаціонарному режимі функціонування

Часова характеристика $A1$ нестаціонарного процесу нагріву ТЕ або його охолодження задається блоком 3 і фіксується системою управління або управління 4. Процес вимірювання забезпечується чітким зв'язком витрати P потоку газу з часовою характеристикою $A1$ нестаціонарного теплового процесу при ТЕ.

Масові витратоміри, що містять ТЕ з низькою інерцією (наприклад, форми з металевою різьбою), використовують нестаціонарний режим ТЕ та згодом записують тривалість перехідного процесу охолодження ТЕ після впливу імпульсної енергії.

Для цього на ТЕ подається послідовність електричних імпульсів (рис. 1.2) з фіксованою тривалістю t_1 і інтервалом проходження t_2 - константа

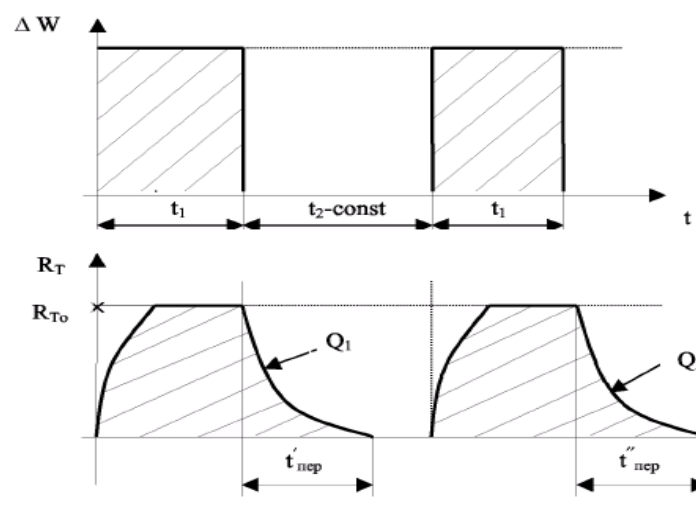


Рисунок 1.2 – Зміна електричного опору ТЕ при подачі і знятті електричного впливу

Тривалість імпульсу енергетичного удару повинна забезпечувати нагрівання ТЕ до постійного значення температури, що відповідає часу охолодження t ТЕ у вигляді дроту. Таким чином, теплова постійна часу дроту пов'язана зі швидкістю потоку Q газу і не залежить від зміни температури газу чи рідини, при якій вимірюється швидкість потоку.

Цей метод забезпечує точність вимірювання підвищеної витрати або зрідженого газу в умовах значних змін температури контрольованого потоку або зрідженого газу.

У приладах вимірювання витрати повітря систем керування широкого застосування набув метод вимірювання теплової швидкості повітря, заснований на вимірюванні часу нагрівання ТЕ до характерного значення температури T_0 (опору R_0).

У цьому випадку на ТЕ впливають імпульсні енергетичні ефекти у вигляді зміни електричної потужності ТЕ (рис. 1.3). Коли температура ТЕ та його

опір досягають характерного значення T_0 , дія енергетичного удару на ТЕ припиняється.

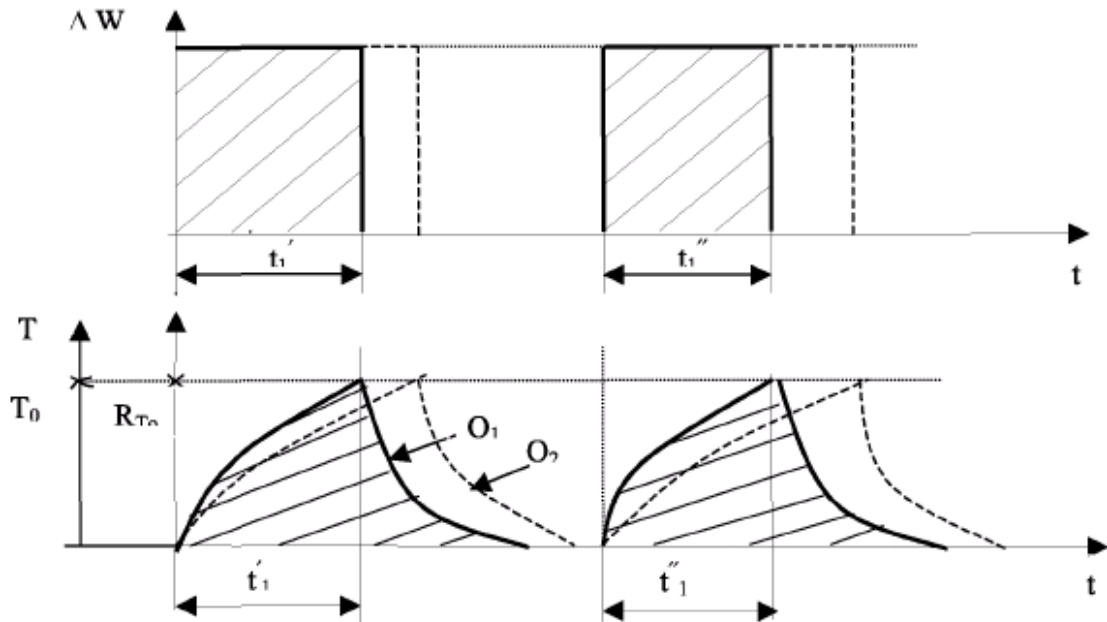


Рисунок 1.3 – Залежність температури (електричного опору) ТЕ при дії енергетичного впливу

Час t_1 нагріву ТЕ до характерного значення T_0 (R_{Te}) визначається умовами теплообміну контрольованого потоку ТЕ і тому пов'язаний з витратою газу Q_0 .

Вирішальною перевагою цього методу є швидкість вимірювання витрати, яку завжди можна встановити на потрібне значення, встановивши характерне значення ТЕ відповідно до температури нагріву (опору). Межа в цьому випадку може бути пов'язана з об'єктом управління, який визначає частоту, з якою генеруються енергетичні ударні імпульси. При вимірюванні швидко мінливих потоків газу або рідини в системах різного технічного призначення метод теплового вимірювання швидкості повітря використовується для перемикання енергетичних станів ТЕ між заданими характерними значеннями його опору R_t при нагріванні та охолодженні.

Внаслідок енергетичних впливів ТЕ нагрівається, досягаючи температури нагріву, що відповідає опору R_t (рис. 1.4).

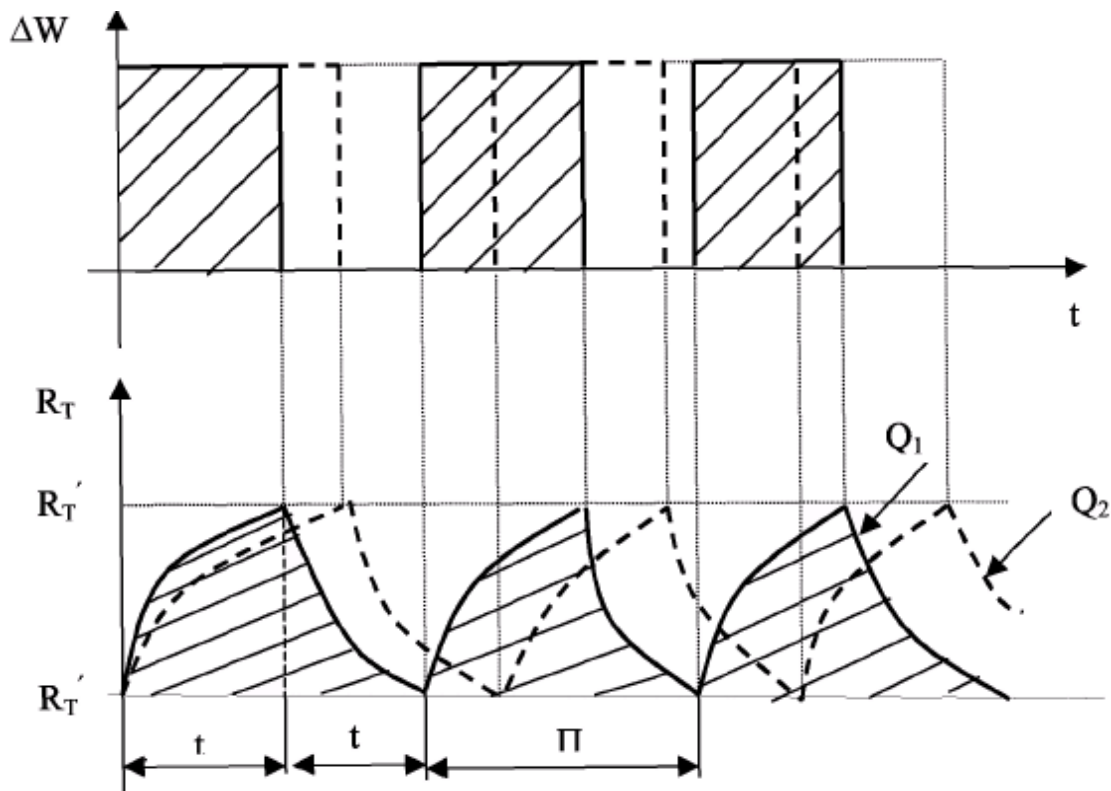


Рисунок 1.4 - Зміна електричного опору ТЕ при комутації енергетичного стану

У цей момент подача енергії впливу (електрики) припиняється і ТЕ охолоджується, поки його опір R_t не досягне значення R_t . Досягнення температурної характеристики ТСНЕ, що відповідає опору R_t , викликає оновлення енергетичного впливу на ТЕ. Це змушує його повторно нагріватися до значення опору R_t . Інтенсивність нагріву та охолодження ТЕ між фіксованими рівнями температури однозначно пов'язана з умовами теплообміну, а отже, і з споживанням Q° контрольованого середовища.

Слід пам'ятати, що шляхом комплексної обробки характеристик імпульсного вихідного сигналу можна одночасно виділити сигнал зміни температури контрольованого потоку повітря протягом періоду вимірювання. Оскільки температурні похибки усуваються, точність вимірювання потоку може бути пок-

ращена. Розширення діапазону вимірювань не має нічого спільного з реалізацією режиму руйнування ТЕ в умовах перемикання енергетичних станів при вимірюванні витрати або рідкого газу.

Для дроту ТЕ масою "m":

- Виготовлені з матеріалу з питомою теплоємністю «с» і питомим опором;
- Опір при температурі навколишнього середовища T_s дорівнює R_0 ;
- У режимі нагрівання від температури T_1 до T_2 струм I_1 протікає через цей струм, а також струм I_2 ; в режимі охолодження від температури T_2 до T_1
- чий коефіцієнт розсіювання H відповідає витраті P газу або рідини, співвідношення буде дійсним

$$\begin{aligned} t_1 &= \int_{T_1}^{T_2} \frac{mcdT}{I_1^2 R_T [1 + \alpha(T - T_C)] - H(T - T_C)}; \\ t_2 &= \int_{T_2}^{T_1} \frac{mcdT}{I_2^2 R_T [1 + \alpha(T - T_C)] - H(T - T_C)}. \end{aligned} \quad (1.1)$$

Час попереднього нагрівання T_1 (час зміни опору від R_t до R_t), час охолодження T_2 (час зміни опору від R_t до R_t) і частота імпульсу енергетичного удару f

$$f = \frac{1}{\Pi} = \frac{1}{t_1 + t_2}, \quad (1.2)$$

є функцією умов теплообміну між ТЕ та навколишнім середовищем, а також вартість Q .

Характеристики залежності $f = F_1(Q)$; $t_1 = F(Q)$ на рисунку 1.5 свідчать про те, що ТЕС має оптимальний режим роботи в режимі перемикання енергетичних станів.

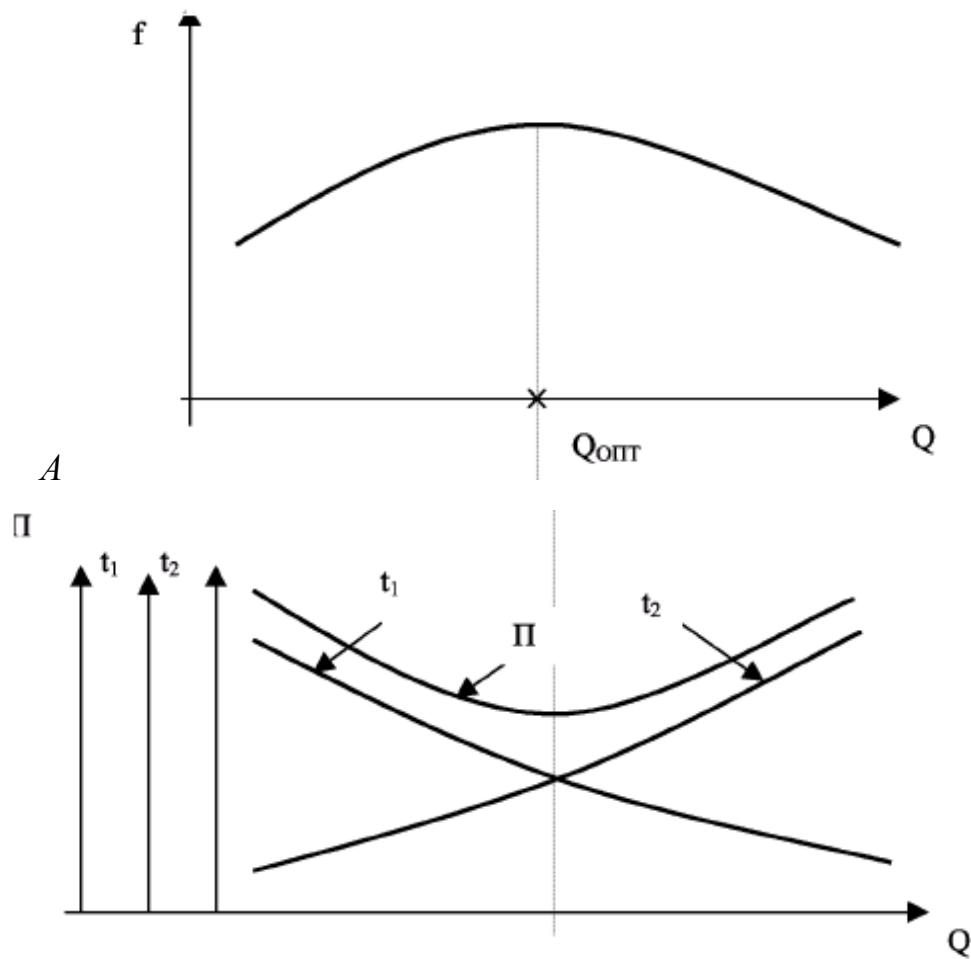


Рисунок 1.5 – Вихідні характеристики витратоміра при перемиканні енергетичних станів ТЕ

Переваги теплового методу швидкості повітря для вимірювання потоку газу або рідини за допомогою перемикання енергетичного стану ТЕ включають:

- Високодинамічні характеристики, незалежні від об'єкта управління;
- Широкий діапазон зміни контролюваного потоку;
- Частота вихідного сигналу;
- Можливість компенсації температурних похибок при комплексній обробці вихідних сигналів.

Всі перераховані вище методи вимірювання теплової швидкості повітря для вимірювання витрати газу, крім забезпечення вимірювальних характерис-

тик, також реалізують вихідні сигнали в частотно-часовій формі, що дозволяє централізовано обробляти інформацію на мікропроцесорній техніці [4].

1.2.3 Методи, засновані на введенні в потік невагомої мітки і вимірі її швидкості

До таких методів належать такі, що:

- що використовують упорскування порції іншого складу, кольору;
- що використовують намагнічування;
- що використовують іонізацію;
- що використовують підігрів;
- акустичні (умовно).

Ця група приладів (маркерні анемометри або витратоміри) заснована на вимірюванні часу руху деякої характерної частини потоку (маркера) вище за течією контрольної ділянки шляху. Залежно від обладнання, що використовується для створення мітки та її виявлення, метод може бути хімічним, тепловим, оптичним, ядерно-магнітним, іонізаційним тощо. Метод маркерної речовини використовується для визначення швидкості потоку в довгих повітроводах і мережах, але насправді не підходить для створення компактних підвісних установок керування. Марковані витратоміри, як правило, не використовуються як робочі пристрої для безперервного вимірювання, а використовуються в різних лабораторних і науково-дослідних роботах [1].

1.2.4 Кореляційні методи

Корельовані витратоміри мають багато спільного з мітковими витратомірами. Вони засновані на вимірюванні кореляції двох випадково змінних величин на перетині двох потоків, розташованих на фіксованій відстані один від одного. Кореляційні витратоміри в основному використовуються для вимірювання швидкості багатофазних потоків і нерівномірних потоків. До їх недоліків

можна віднести тривалість процесу вимірювання та необхідність досить довгої прямолінійної ділянки повітропроводу перед перетворювачем витратоміра [1].

1.2.5. Оптичні методи

Основним типом оптичного приладу, який використовується для вимірювання швидкості повітряного потоку, є доплерівський лазерний анемометр, який заснований на вимірюванні різниці частот, що виникає при відбитті променя світла рухомими частинками потоку. Оптичні анемометри мають багато переваг: висока точність, висока швидкість і відсутність контакту з контрольованими потоками матеріалів. Лазерні анемометри є складними та дорогими, і вони в основному використовуються для вимірювання локальних швидкостей рідини та газу в різних дослідницьких проектах [1,2].

1.3 Характеристика ультразвукових вимірювачів швидкості потоку газів

В даний час найбільш динамічною і розвивається технологією вимірювання витрати газу в трубопроводах є використання ультразвукових витратомірів. Згідно з дослідженнями, проведеними з середини 1990-х років, промислове застосування ультразвукових витратомірів у нафтовій і газовій промисловості стабільно зростає зі швидкістю 50% на рік. Витратомір газу успішно працює при тиску від 4 бар і вище, вимірюючи витрати до 40 м/с на трубах діаметром від 75 до 1200 мм.

Ультразвукові витратоміри генерують хвилі з частотою від 100 кГц до 20 МГц, які проходять через вимірюваний потік і реєструють зміни, викликані потоком. Генерація та захоплення сигналу здійснюється за допомогою електроакустичних перетворювачів (ЕАП). ЕАР заснований на п'єзоелектричному елементі, який поперемінно виконує роль передавача і приймача; він може бути встановлений або в прямому контакті з навколишнім середовищем, або на стін-

ці труби (підвісний витратомір). Існує два основних типи вимірювань: часовий імпульс і доплер.

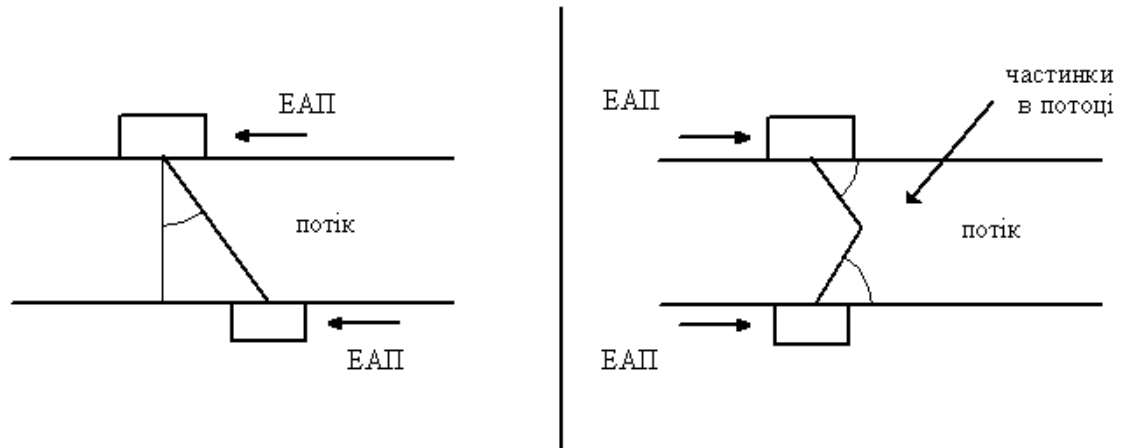


Рисунок 1.6 – Типи ультразвукового виміру: а) часоімпульсний;
б) доплерівський

Вимірювання імпульсу часу (рис. 1.6.а) базується на різниці між верхнім і низхідним каналами ультразвукового сигналу.

Припустимо, що ультразвукова хвиля поширюється на осьовому перерізі під кутом α до стінки труби, її швидкість V_0 , а відстань між електроакустичними перетворювачами l . Тоді при виникненні потоку зі швидкістю U різниця в часі між проходженням сигналів у різних напрямках становить

$$dt = \frac{l}{V_0 - dV} - \frac{l}{V_0 + dV}, \quad (1.3)$$

де dV - швидкість потоку набагато менша за швидкість звуку. Шляхом вимірювання різниці в часі з інтервалами, виміряними в мікросекундах, можна розрахувати швидкість потоку. Якщо часи поширення сигналу в різних напрямках скласти разом, можна розрахувати швидкість ультразвукової хвилі в середовищі. Швидкість звуку залежить від температури, тиску та складу газу. Його ви-

мірювання дозволяє контролювати стабільність характеристик потоку і підвищує точність вимірювання.

Доплерівські вимірювання (рисунк 1.6.b) використовують добре відомий ефект Доплера, який змінює частоту хвилі, коли вона відбивається від рухомого об'єкта. У разі потоку газу домішки в газі діють як відбиваючі об'єкти.

Якщо вимірювальний промінь рухається в потоці під кутом зі швидкістю V і частотою f_0 , частота звуку змінюється, коли він відбивається частинками домішки в потоці зі швидкістю U (якщо потік рухається назустріч пучку, то частота звуку змінюється). зміни звуку Різновид). частота зростає, інакше – зменшується) за формулою

$$f_1 = f_0 \frac{1}{1 \pm \frac{U}{V \cdot \sin \alpha}}, \quad (1.4)$$

Вимірювання частоти відбитого сигналу дозволяє розрахувати швидкість потоку.

Обидва типи вимірювань вдало доповнюють один одного: якщо при часі-мпульсному вимірюванні небажана присутність сторонніх частинок і бульбашок повітря (вони розсіюють вимірювальний промінь), то доплерівський тип, навпаки, вимагає наявності домішок і повітря. бульбашки. Деякі сучасні витратоміри поєднують ці два типи вимірювань, розширюючи таким чином спектр застосування.

Приймач і передавач будуть формувати вимірювальний промінь. У більшості ультразвукових витратомірів використовується кілька вимірювальних променів (до восьми). Тобто кілька вимірювань витрати виконуються одночасно. Це дозволяє калькулятору вартості коригувати власні показання та виконувати самодіагностику. Якщо є велика різниця в показаннях між вимірювальними променями, обчислювач витрати сигналізує про те, що прилад виходить за межі заявленої точності. Самодіагностика є відмінною рисою так званих «інтелектуальних» (інтелектуальних) витратомірів.

Суттєвими перевагами ультразвукових витратомірів є:

- Мінімальний вплив на вимірюваний потік, тому вимірювання не викликає втрати тиску;
- Низькі витрати на обслуговування. Функція самодіагностики витратоміра може знизити експлуатаційні витрати та значно спростити рішення перевірки витратоміра на стенді;
- Оскільки витратомір не має рухомих механічних частин, його надійність значно покращена.
- Повторне калібрування потрібно в 3-4 рази рідше, ніж витратоміри. Нормальний інтервал для ультразвукових витратомірів становить 3 роки.
- Вміння працювати на трубах великого діаметру. Наприклад, вимірювання витрати газу в трубах діаметром 900 мм найчастіше виконується за допомогою гребінок і багатомембранних витратомірів. Хоча ультразвуковий витратомір може забезпечити таку ж точність.
- Використання підвісного ультразвукового витратоміра, встановленого на зовнішній поверхні труби, позбавляє від необхідності порушення цілісності труби та припинення її робочого режиму.

Ультразвукові витратоміри підходять для різних об'єктів транспортування та вимірювання газу, ефективні для комерційного, технічного вимірювання та самооплачуваного вимірювання газу. В даний час ультразвукові витратоміри мають такі характеристики точності вимірювання об'єму газу: підвісні витратоміри (ЕАП не контактує з рідиною) - до 1%, граничні витратоміри (ЕАП контактує з рідиною) - до до 0,5%.

Підвісні витратоміри з датчиками, встановленими на стінці труби, відрізняються від відсічних тим, що вони ніяк не впливають на витрату. При контакті з рідиною на датчику неминуче накопичуються забруднення, які перешкоджають проходженню вимірювального сигналу.

З іншого боку, стінка трубки залишається перешкодою для вимірювання сигналу. Можуть виникнути перешкоди, втрати енергії та спотворення сигналу. Тому онлайн-датчики часто забезпечують точніші вимірювання. Дилема, що

виникає між точністю вимірювань і надійністю, вже давно є непереборною проблемою для розробників ультразвукових витратомірів. Рішення полягає у використанні іншого типу ультразвуку та створенні так званого «широкого променя».

«Широкопроменева» технологія вимірювання зазвичай реалізується за допомогою ультразвукових польських хвиль. Хвиля Лемба - це хвиля, яка поширюється вздовж резонансу між поверхнями стінки труби. При кожному віддзеркаленні від межі труби/газу в газі генерується хвиля, спрямована в потік, що вимірюється. У результаті утворюється когерентний вимірювальний промінь, який називається широким променем.

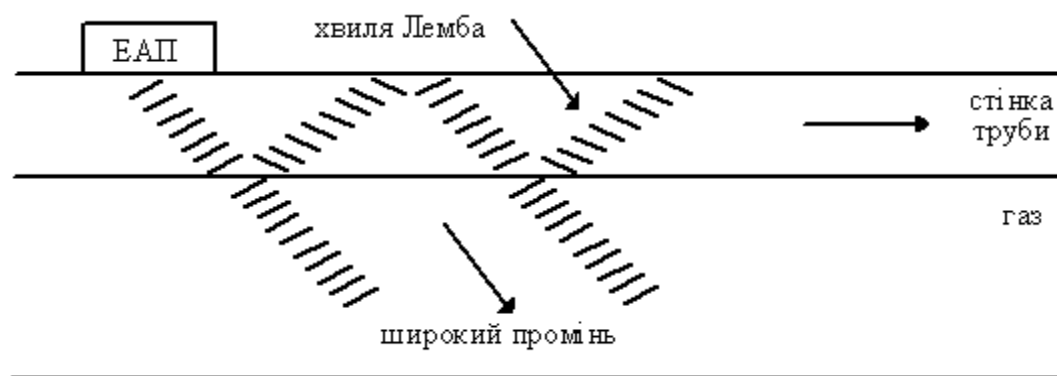


Рисунок 1.7 - Створення «широкого» вимірювального променя

Переваги використання широкого пучка перед вузькопроменевим витратоміром значні. По-перше, широкопроменевий Vitratomir вирішує проблему «відхилення променя». Коли швидкість потоку значно збільшується, вимірюваний пучок рухається. У випадку широких пучків вимірювальні сигнали численні, і вони надходять з різних точок на стінці труби. Тому при різкому збільшенні або зниженні витрати витратомір продовжує працювати без втрати точності. Чутливість витратоміра підвищена до 0,0003 м/с. Оскільки п'єзoeлектричний датчик витратоміра одночасно є приймачем і передавачем, вимірювання витрати можливі в обох напрямках.

«Широкий промінь» забезпечує нечутливість витратоміра до забруднення навколишнього середовища. Якщо один із паралельних променів широкого пучка покритий частинками сторонніх домішок, інші промені забезпечують вимірювання.

Завдяки своїй резонансній природі втрати енергії хвиль Лемба в стінці труби значно зменшуються. При цьому інтерференція (паразитичні ультразвукові відбиття) генерується так само, як і для інших типів хвиль. Це дозволяє максимізувати відношення корисного сигналу до перешкод, що є важливою умовою надійності витратоміра.

При використанні підвісного електроакустичного датчика, встановленого на трубі, вимірювальний сигнал проходить через стінку труби. Під час використання підвісних витратомірів властивості матеріалу труби можуть змінюватися. Це спричиняє зміни в часі, необхідному для проходження вимірювального променя, і в кінцевому підсумку призводить до похибок потоку. Цю проблему можна вирішити, використовуючи в якості додаткового (опорного) сигналу хвилі Лемба, що поширюються по стінці труби.

Перераховані вище переваги відкрили шлях для народження поверхневих витратомірів, які за характеристиками не поступаються традиційним витратомірам або врізним ультразвуковим витратомірам. Широкий вимірювальний промінь вже довів свою перевагу при вимірюванні витрати масла: п'єзоелектричні датчики на каліброваних трубах сертифіковані як вимірювальні пристрої з точністю 0,15% об'ємної витрати.

Отже, технологія «широкого» вимірювального променя є переходом до технології безконтактної метрології, яка не потребує порушення цілісності вимірюваного об'єкта (трубопроводу). Проблема підвищення точності вимірювань без жодного впливу на витрату повністю лежить у сфері радіотехніки. Удосконалення методів обробки сигналів, пов'язане з розвитком електроніки, зробило ультразвук чи не найточнішим засобом вимірювання.

Як і всі технологічно сучасні витратоміри, ультразвукові витратоміри підтримують загальноприйняті протоколи обміну інформацією (Ethernet, Modbus,

Fieldbus та ін.) і є хорошою основою для створення контрольно-вимірювальних систем. На основі ультразвукових витратомірів можна створювати не тільки системи оперативного та комерційного обліку, а й системи виявлення витоків.

Оскільки витратомір постійно контролює швидкість звуку в середовищі (яка залежить від тиску), він реєструє хвилі тиску, які виникають у потоці при розриві труби. Два синхронізованих витратоміри, розташовані на відстані 100 кілометрів один від одного, можуть визначити місце несправності з точністю до десятків метрів. Оскільки витратомір має високу точність на основі принципу підтримки балансу маси, можна виявити невеликі витoki, викликані корозією. Тому системи виявлення витоків на основі ультразвукових витратомірів є сильними конкурентами традиційним системам виявлення витоків на основі датчиків тиску. Ще однією можливістю використання ультразвуку є хімічний аналіз потоку, що проходить. Швидкість ультразвуку в речовині сильно залежить від складу газу, і для різних речовин є хороші таблиці. При вимірюванні швидкості поширення сигналу витратомір може працювати в режимі аналізатора [5].

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

2.1 Розробка математичної моделі оптико-електронного витратоміра газу

Пристрій розробляється в області вимірювальної техніки і може використовуватися в різних інформаційно-вимірювальних системах, зокрема для вимірювання швидкості газових і аерозольних потоків.

Швидкість течії неоднакова в різних точках поперечного перерізу. Вона досягає максимального значення в центральній частині поперечного перерізу і зменшується до стінки труби, тому, щоб виміряти швидкість у відповідній точці, необхідно змінити положення напірної труби. При цьому необхідно враховувати не тільки густину досліджуваного середовища, а й густину середовища, що знаходиться над робочою речовиною [6].

Оскільки в газі, стиснутому відповідно до швидкості руху, існує поле з нерівномірним розподілом щільності (поле градієнта щільності), світловий промінь, що поширюється в цьому середовищі, змінює свій напрямок уздовж траєкторії поширення і справедливе для кожної точки співвідношення

$$n = r \frac{dn}{dr}, \quad (2.1)$$

де r – це є радіус кривизни променя;

$\frac{dn}{dr}$ - це є градієнт показника заломлення.

Зміна показника заломлення при постійній температурі пропорційна зміні тиску

$$\Delta P = \frac{\Delta n k T}{2\pi\alpha}, \quad (2.2)$$

де k – це є стала Больцмана;

α - це є коефіцієнт пропорційності, що характеризує електричну поляризованість окремих молекул і визначається:

T – це є абсолютна температура

$$\alpha = R \frac{3\varepsilon_0}{N}, \quad (2.3)$$

де N – це є число Авогадро;

R – це є питома рефракція речовини, яка є величиною, постійною для даної довжини хвилі, практично не залежить ні від густини речовини, ні від його агрегатного стану, ні від його хімічного зв'язку.

Зв'язок густини ρ та показника заломлення n газу має вигляд

$$\frac{1}{\rho} \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = R. \quad (2.4)$$

У будь-якій точці поперечного перерізу швидкість газу визначається

$$v = \sqrt{\frac{nkT(n^2 + 2)dr}{3\pi\varepsilon_0(n^2 - 1)r}}. \quad (2.5)$$

де k - це є стала Больцмана;

T - це є абсолютна температура;

r – це є радіус кривизни у точці вимірювання;

n – це є показник заломлення у точці незбуреного потоку;

ε_0 – це є електрична стала.

Використані так параметри оптичної системи для отримання графіка залежності

$$T = 300 \text{ K}, \quad k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж / K}, \quad \varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф / м.}$$

Радіус кривизни оптичної системи r змінюється від 0 до 1.

Показник заломлення береться з чотирьох різних газів, а саме кисню, гелію, неону та водню. Показники заломлення $n_1=1,000272$, $n_2=1,000035$, $n_3=1,000067$ і $n_4=1,000139$ відповідно.

На малюнку. 2.1 наведено залежність витрати газу від величини радіуса кривизни при різних значеннях показника заломлення газу.

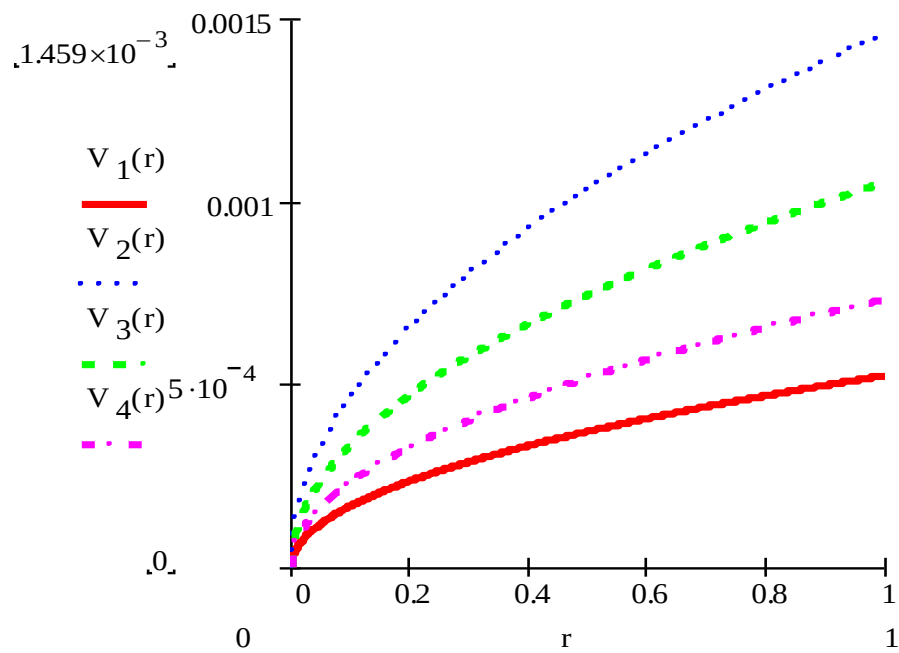


Рисунок 2.1 – Залежність швидкості потоку газу від радіуса кривизни

2.2 Розробка оптичної схеми вимірювача швидкості потоку газу

На основі досліджень був запропонований оптико-електронний вимірювач швидкості потоку газу. Його структурна схема подана на рис 2.2.

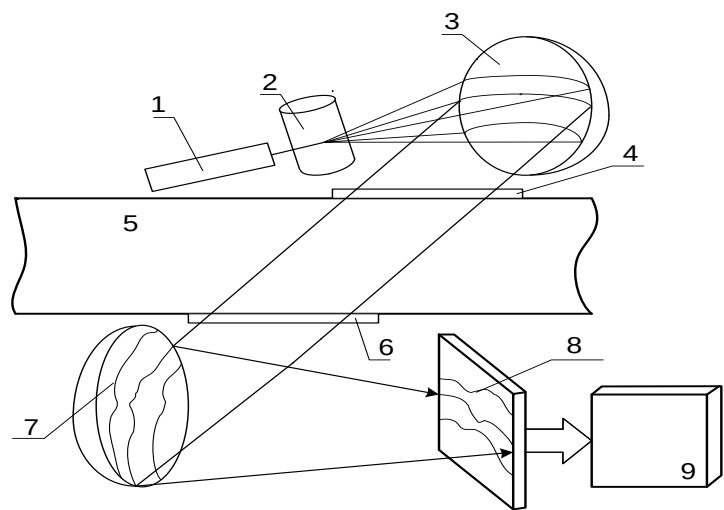


Рисунок 2.2 – Структурна схема оптико-електронний вимірювач швидкості потоку газу

Пристрій заснований на вимірюванні швидкості газового потоку по всьому полю поперечного перерізу, де різниця параметрів потоку в даній точці і в незбуреній точці потоку визначається як різниця параметрів потоку, яка визначає параметри потоку у заданій точці і в точці незбуреного потоку, відповідно, показник заломлення n_p - n_s вимірюється шляхом освітлення газового потоку в поперечному напрямку набором лазерних ліній, що реєструє градієнт показника заломлення лазерної лінії, зігнутої через заломлення, , через потік газу, і визначення показника заломлення у відповідних точках вздовж радіуса кривизни лазерної лінії. За отриманими параметрами визначається витрата газу.

Пристрій містить послідовно розміщений і оптично з'єднаний лазерний діод 1, блок 2 формування паралельних ліній, сферичне дзеркало 3, кювету 5 з досліджуваним середовищем, а також прозорі вікна 4 і 6, сферичне дзеркало 7 і фотоелектричний дріт 8, який виводить свою електричну підключити до входу блоку 9 розрахунку.

Спосіб відбувається наступним чином. Промінь, створюваний лазерним діодом за допомогою блоку 2 формування паралельних ліній, проходить через кювету 5 і за допомогою сферичних дзеркал 3, 7 і прозорих вікон 4, 6 потрапляє на фотоелектричний провід 8. Коли світло проходить через кювету 5, кожна частина світла відхиляється однаково, і різні частини поперечного перерізу газового потоку в кюветі мають різні швидкості і, отже, різну густину. Блок 9 розрахунку визначає швидкість потоку в будь-якій точці поперечного перерізу [6].

Запропонований прилад дозволяє підвищити ефективність процесу вимірювання витрати газу та дозволяє визначати не лише середнє значення витрати газу, але й витрату газу в будь-якій точці поперечного перерізу.

3 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ВИТРАТОМІРА ГАЗУ

3.1 Галузь використання вимірювача швидкості потоку газу і його ціль

Це обладнання може широко використовуватися в багатьох галузях промисловості. У зв'язку з масовим використанням газів у всьому світі для задоволення потреб людини та споживання газу виникає необхідність контролювати споживання газу та вимірювати його швидкість. Цей прилад можна використовувати скрізь, де потрібно виміряти потік газу. Авіація, ракетобудування, турбінобудування та промислове виробництво потребують експериментальних досліджень щодо їх вирішення. Вимірювальний метод організації нестационарних енергетичних станів у вимірювальній системі вирішує завдання розширення діапазону зміни контрольованого потоку газу, зменшення динамічних похибок вимірювання, компенсації температурних похибок, а також використовується для визначення витрати в довгостроковій перспективі. Труби та мережі.

Основне його застосування – це визначення в трубопроводі швидкості потоку газу.

Метою розробки приладу фотоелектричного витратоміра газу є підвищення рівня вимірювання витрати газу та розширення сфери застосування приладу.

3.2 Аналіз технічних вимог і умов експлуатації вимірювача

Це обладнання є стаціонарним.

Пристрій працює без тривалої вібрації, робоча температура повітря $+40^{\circ}\text{C}$ (верхня), -40°C (нижня), нормальна температура 20°C .

До корпусу обладнання висуваються вимоги з електробезпеки та механічної міцності, оскільки на ньому можна встановлювати інше обладнання вагою до 8 кг,

за вищевказаних умов це обладнання повинно працювати надійно та мати необхідний запас міцності.

За робочими параметрами прилад відноситься до першої категорії - прилади, що працюють на стаціонарному ґрунті.

Допустимий вплив теплового удару на пристрій: вище +40 °C і нижче 0 °C.

Тиск $p_H = 1,0332 \text{ кгс/см}^2$ (101325 Па)

Спростимо аналіз умов експлуатації у вигляді (табл. 3.1):

Таблиця 3.1 - Аналіз умов експлуатації

Клас використання	Стаціонарна
Група використання	5
Підгрупа використання	Непрофесійна
Категорія розміщення	Приміщення з нормальними умовами
Умови експлуатації	Лабораторне чи студійне приміщення

Причини вибраних категорій [7]:

Категорія використання фіксована (за класифікаційними ознаками високоякісні придушники імпульсних перешкод є фіксованим обладнанням);

Група використання - 5, (обладнання для стаціонарних робіт);

Користувачі непрофесіонали;

Категорія розміщення – 1 (застосовується всередині приміщень, під навісами та об'єктами з коливаннями температури або вологості, що значно відрізняються від зовнішніх умов).

Аналіз технічного стану:

1. Найменування обладнання - фотоелектричний витратомір газу.

2. Призначення - Виміряти швидкість газу.

3. Комплектація - корпус, плата, ЕРУ, з'єднувальні провідники, гвинти, шайби.

Вимоги до конструкції пристрою:

1. Зовнішній вигляд - оболонка прямокутного паралелепіпеда з інтерфейсом живлення та клемою для введення сигналу на тильній стороні.

2. Основний корпус пристрою повинен бути виготовлений із пластику.

3.3 Вибір і обґрунтування аналогів вимірювача

Оскільки в даний час найбільш динамічною і розвиненою технологією вимірювання витрати газу в трубопроводах є використання ультразвукових витратомірів, ми виберемо імітацію нашого пристрою з цього методу вимірювання.

Представляємо Flare Gas Meter (FGM 130) – вимірювач параметрів газу [8].

Прилад FGM 130 призначений для вимірювання параметрів газу в трубопроводах, де процес вимірювання є дуже складним через низький тиск, великий розподіл швидкості потоку та великий діаметр трубопроводу. FGM-лічильники світового класу Roxar мають такі технічні характеристики:

- Пропонує можливість вимірювання при швидкості потоку до 100 м/с, але за ціною:

- Оптимальна обробка сигналу та наявність акустичних датчиків;
- Покращена система обробки сигналів;
- Датчики з більш високими акустичними властивостями;
- Легко встановити на місці;
- Оснащений витратоміром, який використовується в поєднанні з трьома парами датчиків;
- Простота обслуговування;
- Кишеньковий;
- Низький рівень енергоспоживання.

перевага:

- Ненав'язливий дизайн, підходить для труб будь-якого діаметру;
- Має найширший діапазон вимірювання витрат на ринку;
- Висока точність вимірювань у всьому діапазоні швидкостей;
- Унікальний метод обробки сигналу забезпечує високу точність вимірювання при низькій швидкості потоку;
- висока швидкість;
- Сертифікат BASEEFA для роботи в небезпечних зонах;

- Не вимагає калібрування після встановлення;
- Швидкий монтаж, економія витрат на монтаж;
- Низькі вимоги до обслуговування;
- Висока надійність.

Області застосування:

Вимірювання параметрів газу, що характеризується широким діапазоном витрат, низьким тиском і використанням труб великого діаметру, розрахунок густини газу для визначення його складу, визначення витоків і розрахунок втрат газу для підтримки балансу матеріально-технологічних установок, точні вимірювання надзвичайно низьких потоків у системах кроку вимірювання.

Принцип роботи.

Лічильник Rohar FGM 130 використовує хвильово-часовий метод для вимірювання витрат газу. Ультразвуковий датчик встановлюється під кутом до труби. Два датчики посилають і приймають імпульсні сигнали, вимірюючи час проходження в процесі. Коли газ протікає через трубу, імпульсу протипотоку потрібно більше часу, щоб досягти протилежного датчика, ніж імпульсу, що йде за потоком. Ця різниця в часі використовується для розрахунку витрати газу.

Глюкометр Rohar FGM 130 оснащений спеціально розробленим затискачем, який забезпечує швидкий, економічний і точний монтаж тримача датчика. Дані кронштейни датчиків приварюються до труби під кутом, враховуючи діаметр конкретної труби.

Технічні умови (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Конструктивне виконання і характеристика системи

Діаметр труби	Від 6(мінімум) до 72(максимум)
Діапазон швидкості потоку	0,05 – 70 м/с для 72 0,05 – 100 м/с для 36 0,20 – 100 м/с для 8
Похибка при 95% довірчому інтервалу(повний потік)	2,5% від вимірюваного значення в діапазоні до 25 м/с, 5% від вимірюваного значення в діапазоні 25 – 100 м/с

Продовження таблиці 3.2 - Конструктивне виконання і характеристика системи

Дозвіл	0,01 м/с (діаметр труби 36)
Повторюваність результатів	Краще 1% об'ємної витрати при швидкостях 0,3 – 100 м/с
Калібрування	0,3 – 70 м/с при повному турбулентному потоці
Відношення максимального значення вимірюваного параметру до його мінімального значення	2000:1

Таблиця 3.3 - Механічні та електричні компоненти

Напруга живлення	Постоянна +24В, змінна 110/220В, частота 50-60 Гц
Споживана потужність	75 ВА максимум

Змонтована панель має буквенно-цифровий дисплей, клавіатуру вводу даних і функціональні клавіші, а також 8-разрядний нескидуваний лічильник с ЖК-індикатором.

Параметри, що відображаються:

- питома об'ємна витрата, м³/год (приведена до стандартних умов);
- загальна об'ємна витрата, м³ (приведена до стандартних умов);
- питомі масові витрати, кг/год;
- загальні масові витрати, кг;
- температура, 0С;
- тиск, бар (атм);
- питома вага/густина, кг/м³;
- швидкість потоку, м/с.

По запиту можлива поставка приладу с відображенням інформації іспанської та американської системи мір.

Таблиця 3.4 - Ультразвукові датчики

Робоча температура	Від –70 до +1500С
Нормальний робочий тиск	0,08 – 1,0 МПа
Маса	10,5 кг кожен, включаючи клапан і гніздо
Габарити	Довжина 0,7 м (блок датчика)
Передача сигналу	Через оптико-волоконний кабель
Електробезпека	Іскробезпечне виконання (зона 0)
Клас безпеки	ЕЕх іа ІІС Т6

Комп'ютер потоку: вхід та вихід

Таблиця 3.5 - Вхід

Швидкість потоку	Сигнал від датчиків, що передається через оптико-волоконний кабель
Один комп'ютер працює з трьома парами датчиків	
Температура	Сигнал 4-20 мА чи загальний від HART
Тиск	Сигнал 4-20 мА чи загальний від HART
Питома вага	Сигнал 4-20 мА (опція)

Прилад FGM 130 має 8 аналогових каналів виводу уніфікованого струмового сигналу 4-20 мА, які можуть бути запрограмовані на будь-якій із наступних параметрів: стандартні об'ємні витрати, фактична густина, фактичні об'ємні витрати, молекулярна маса, масові витрати, аварійна сигналізація по нижньому порогу, аварійна сигналізація по верхньому порогу, густина (при нормальних умовах), температура чи тиск.

Додаткові роз'єми для лічильника: RS232/422/485 порту послідовного вводу-виводу даних на базі протоколу Modbus [7].

3.4 Попередній аналіз і розробка схеми вимірювача швидкості потоку газу

3.4.1 Вибір прототипу вимірювача

Прилади анемометри, що відносяться до техніки вимірювання швидкості потоків газу є найбільш близькими до даного вимірювача. Приведемо приклад одного з анемометрів, що працює за принципом, подібним до нашого. Термоанемометр містить два чутливих елементи, що включені в два суміжні плеча мостової схеми. Міст балансується при швидкості, рівній нулеві. Різниця потенціалів на діагоналі моста слугує мірою швидкості потоку.

Для досягнення поставленої цілі термоанемометр оснащений диференційною парою, яка розміщена на термочутливих елементах, і підсилювачем вихід якого підключений до керуючого входу регульованого джерела струму, а вхід – до виходу диференційної пари.

Термоанемометр містить чутливі елементи, регулюючий та нерегулюючий джерела струму, термопару, підсилювач, логометр. чутливі елементи підключені відповідно до регулюючого та не регулюючого джерела струму і знаходяться в тому ж середовищі: один в потоці, другий за потоком.

Анемометр працює наступним чином.

В установленому режимі обидва чутливих елемента мають рівні температури T_{n1} і T_{n2} . Зміна швидкості потоку викликає зміну температури одного з чутливих елементів. На виході диференційної термопари термо-ЕРС, яка підсилюється через підсилювач і змінює струм J_1 джерела так, що температури T_{n1} і T_{n2} вирівнюються. Логометр 7 показує відношення струмів J_1 та J_2 .

Рівняння теплового балансу чутливих елементів має вигляд

$$\begin{aligned} J_1^2 R_1 &= (abV^n)(T_{n1} - T_c) \\ J_2^2 R_2 &= a(T_n - T_c), \end{aligned} \tag{3.1}$$

де J_1, J_2 - струми контурів з регульованим і нерегульованим джерелом струму;

R_1, R_2 - опори чутливих елементів;

T_{n1}, T_{n2} - температури чутливих елементів;

V - швидкість потоку;

a, b, n - сталі теплообміну.

При умові, що $T_{n1} = T_{n2}$, враховуючи, що

$$R_n = P_0 f(T_n), \quad (3.2)$$

де R - опір чутливого елемента;

R_0 - опір чутливого елемента при температурі T_0 ;

$f(T_n)$ - інтерполяційний поліном.

$$J_1 / J_2 = \sqrt{(R_{02} / R_{01}) \cdot (V^n \cdot b / a + 1)} \quad (3.3)$$

Для основної області числа Рейнольдса $0.02 < Re < 44$ постійні теплообміну мають значення

$$\begin{aligned} a &= 0,24\pi\lambda(T_{cp} / T_c)^{0,17} \\ b &= 0,56\pi\lambda(d\rho / \mu)^{0,45} \cdot (T_{cp} / T_c)^{0,12}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де d - діаметр дротини;

λ - коефіцієнт теплопровідності;

ρ - густина середовища;

μ - в'язкість середовища;

T_c - температура середовища

$$T_{cp} = 1/2(T_n - T_c) \quad (3.5)$$

З чого випливає, що флуктуація параметрів a та b за рахунок зміни таких параметрів середовища як λ, T_c та параметрів чутливих елементів $T_n, f(T_n)$ зведені до нуля. Звідси виходить, що різниця температур чутливих елементів не впливає на результат вимірювання. Використання приладу для вимірювання, особливо малих швидкостей потоків порядку 0,1 м/с, дозволяє підвищити точність вимірювання в 2-3 рази [4].

3.4.2 Аналіз електричної принципової схеми та принцип роботи

Основними елементами пристрою, що розробляється, є керуючий контролер обробки інформації, мікросхема фотоприймача (світла) реєстрації, RS232 зв'язку з ПК, пам'ять для тимчасового зберігання інформації. Результати вимірювання.

Принципова електрична схема наведена в графічній частині проекту та наведена в додатку.

Основним призначенням цієї системи є фіксований трафік та обмін інформацією через послідовний інтерфейс RS-232.

Зчитування здійснюється за допомогою світлової лінійки, яка зчитує зображення положення лазерної лінії в горизонтальному напрямку. Оцифровка зображення здійснюється за допомогою 10-розрядного АЦП, вбудованого в канали PF0 і PF1 МК. Результати обробки зберігаються у зовнішній статичній пам'яті типу SRAM загальною ємністю 1 МБ.

Мікросхема декодера використовується для вибірки мікросхеми пам'яті. Розділення нових частин адреси та даних здійснюється за допомогою мікросхем регістра.

У цей час сигналами керування адресою та даними є сигнал RAM_ALE, сигналами вибору мікросхеми пам'яті є CS, AD19, AD20, а також RAM_WE та RAM_OE для запису та читання інформації.

Для можливого підключення системи до мереж зв'язку схема має спеціальний адаптер мікросхеми для послідовного каналу зв'язку. Прилад має послідовний інтерфейс передачі даних: інтерфейс RS-232.

У мікросхемі інтерфейсу RS-232 використовується мікросхема ADM 232A. Для перетворення сигналу в схему використовується адаптер - напруга живлення цієї мікросхеми +5 В. Послідовний вхід і вихід даних здійснюються через входи RxD (PD0) і TxD (PD1) відповідно. Дані, які надсилаються, і отримані дані зберігаються в спеціальних реєстрах UDR. Параметри прийому-передачі даних знаходяться в реєстрі UCR. Інформація про стан УАРП зберігається в реєстрі статусу ЄДР. Швидкість передачі даних встановлюється в реєстрі УБРР [1, 2].

3.4.3 Аналіз елементної бази

Бібліотека компонентів аналізується, щоб з'ясувати, чи забезпечує вона специфічні характеристики продукту, як це продиктовано умовами експлуатації та режимами роботи, і чи необхідно окреслити будь-які нормальні конструктивні заходи для розробленої функціональності, беручи до уваги функціональність відповідності номіналів і потужностей програми, їх швидкодія, технічні вимоги до обладнання та конструкції, наявність цих типів компонентів у серійному виробництві.

На основі списку електричних схем компонентів, наведеного в додатку, ми опишемо характеристики вибраних радіодеталей. Варто відзначити, що при виборі компонентної бази пріоритет віддається радіодеталям з показниками найменшого розміру, щоб пристрій мав мінімально можливі габарити. Через це вітчизняних радіодеталей в апараті небагато, чи то через великі розміри комплектуючих, чи то через відсутність закордонних аналогів.

Однак ці та інші тепер доступні там, де раніше цього не було. Крім того, деякі радіодеталі коштують навіть менше, ніж у нас. 12]

Мікроконтролери серії Atmel AVR виготовлені за високоякісною технологією KMON. Вони мають флеш-пам'ять і запам'ятовуючі пристрої EEPROM для зберігання програм і даних.

Характеризується низьким енергоспоживанням при досить високій тактовій частоті. Після встановлення мікроконтролера в апаратну частину програму та вихідні дані можна записати в пам'ять.

Серія AVR включає три серії мікроконтролерів: AT90 (класичний AVR), ATtiny (Tiny AVR) і ATMEGA (Mega AVR). Кожне сімейство містить кілька типів мікроконтролерів. Структурні характеристики (периферія, об'єм пам'яті) мікроконтролерів серії AT90 (класичний AVR) подібні до мікроконтролерів серії Atmel AT89 та Intel MCS-51 [3].

Мікроконтролер ATtiny має найменшу обчислювальну потужність серед серії AVR, тоді як мікроконтролер ATMEGA має найбільшу обчислювальну потужність [4].

Опишемо основні параметри цього МК:

- 8-розрядний високопродуктивний мікроконтролер AVR з низьким енергоспоживанням

Прогресивна RISC архітектура:

- 130 високопродуктивних команд, більшість з яких виконується протягом одного такту;

- 32 8-розрядних робочих регістра загального призначення + регістри периферійного управління;

- Продуктивність, близька до 16 MIPS (тактова частота 16 МГц);

- Вбудований 2-тактний множник.

Енергонезалежна пам'ять для програм і даних:

- 64 КБ внутрішньосистемної перепрограмованої флеш-пам'яті;

- Забезпечує 1000 циклів стирання/запису;

- Забезпечити одночасний режим читання/запису (Read-While-Write);

- 2 КБ EEPROM;

- Забезпечує 100 000 циклів стирання/запису;

- 4 КБ вбудованої SRAM;
- До 64 КБ додаткової зовнішньої пам'яті;
- Інтерфейс SPI для внутрішньосистемного програмування.

Інтерфейс JTAG (сумісний зі стандартом IEEE 1149.1):

- Два 8-розрядних таймера/лічильника з незалежними попередніми дільниками, один з режимом порівняння;
- Два 16-розрядних таймера/лічильника з розширеною функціональністю, окремими преділювачами та режимами захоплення та порівняння;
- Лічильник реального часу з незалежним генератором;
- 8-канальний 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач;
- 8 асиметричних каналів;
- 7 диференціальних каналів;
- Послідовний інтерфейс SPI (master/known);
- Програмований сторожовий таймер з незалежним вбудованим генератором.

Вимкнення живлення, режим очікування, розширений режим очікування та зменшення шуму АЦП:

- Програмне налаштування тактової частоти;
- 64-контактний корпус TQFP.

Робоча напруга:

- 4,5 – 5,5 В (ATmega64)

робоча частота:

- 0 - 16 МГц (ATmega64)

Робоча температура комерційного режиму - 0-70 С.

Використовуючи інструкції, що виконуються за один машинний цикл, контролер досягає продуктивності 1 MIPS на робочій частоті 1 МГц, що дозволяє розробникам ефективно оптимізувати енергоспоживання, вибираючи найкращу продуктивність. Ядро AVR містить розширений набір інструкцій і 32 операційних регістри загального призначення. Усі 32 регістри підключені до ALP, що

забезпечує доступ до двох незалежних регістрів для отримання часу виконання команди за один машинний цикл.

Завдяки обраній архітектурі досягається найвища швидкість коду та відповідна висока продуктивність, до 10 разів швидше, ніж у відповідних мікроконтролерів CISC.

ATmega64 містить 64 Кбайт внутрішньосистемної програмної пам'яті FLASH, перепрограмований, 2 Кбайт EEPROM, 4 Кбайт SRAM, 32 робочі регістри, внутрішні та зовнішні переривання, перепрограмований послідовний інтерфейс програмування UART, байт-орієнтований двопровідний послідовний інтерфейс, 8 каналів, 10-бітний АЦП, сторожовий програмований таймер із внутрішнім генератором, портом SPI та чотирма програмованими режимами енергозбереження. У режимі очікування ЦП не працює, але SRAM, таймери, лічильники, порти SPI і система переривань працюють. У режимі вимкнення. Процесор зберігає вміст усіх регістрів, заморожує генератор тактових сигналів і зупиняє всі інші функції кварцевого генератора до надходження зовнішнього переривання або зовнішньої команди скидання. У режимі очікування тактовий генератор працює, коли інші функції контролера зупинені.

У режимі придушення шуму АЦП центральний процесор і всі модулі введення/виведення зупиняються, за винятком АЦП і асинхронних таймерів, щоб мінімізувати вплив цифрового шуму на результати перетворення АЦП [5].

10-розрядний модуль послідовного наближення АЦП, що входить до складу ATmega64, має такі основні параметри:

- Абсолютна похибка: ± 2 МЗП;
- Інтегральна нелінійність: $+0,5$ МЗР;
- Швидкість: $\sim 15\,000$ зразків/с.

Входи АЦП на всіх моделях оснащені 8-канальним аналоговим мультиплексором, який надає користувачеві 8 незбалансованих вхідних каналів.

В якості джерела опорної напруги для АЦП можна використовувати напругу живлення мікроконтролера і внутрішнє або зовнішнє джерело опорної напруги.

Під час роботи АЦП може працювати в двох режимах:

- Режим одиночного перетворення, кожне перетворення ініціюється користувачем;
- Режим безперервного перетворення, починає безперервне перетворення через визначений проміжок часу.

Щоб дозволити АЦП працювати, потрібне ведення журналу. 1 записується в біт ADEN регістра ADCSR і записує 0, щоб позначити вимкнення. Якщо АЦП вимкнути під час циклу перетворення, перетворення не завершиться.

В Atmega64 режим роботи АЦП визначається станом біта ADFR. Якщо встановлено значення «1», АЦП працює в режимі безперервного перетворення. У цьому режимі початок кожного наступного переходу розпочинатиметься автоматично після завершення поточного переходу. Якщо біт ADFR скидається на «0», АЦП працює в режимі одиночного перетворення, і кожне перетворення ініціюється відповідно до команди користувача [3].

Початок кожного перетворення в режимі одиночного перетворення та перше перетворення в режимі безперервного перетворення ініціюється установкою біта ADSC регістра ADCSR на «1». У одиночному та безперервному режимах перетворення цикл перетворення починається з першого наростаючого фронту тактового сигналу без встановлення біта ADSC. Якщо використовується тригер переривання, перетворення розпочнеться на першому наростаючому фронті сигналу після встановлення вибраного прапора переривання. Крім того, коли цей прапор встановлено, перетворювач модуля АЦП скидається. Це забезпечує фіксовану затримку між генерацією запиту на переривання та початком циклу перетворення.

При використанні асиметричних входів тривалість циклу становить 13 циклів, при використанні диференціальних входів тривалість циклу становить 13 або 14 циклів, вхідний сигнал дискретизується протягом 1,5 і 2,5 циклів відповідно. Після 13 (14) циклів перетворення завершено, біт ADSC апаратно скидається на «0» (режим перетворення одиниць), і результат перетворення зберігається в регістрі АЦП. Одночасно встановлюється прапор переривання ADIF

регістра ADCSR, що генерує запит на переривання. Як і прапори інших переривань, прапор ADIF скидається апаратно, коли підпрограма обробки переривань запускається з АЦП, або шляхом програмного запису в журнал. 1. Переривання завершується встановленням біта ADIE регістра ADCSR на «1» із встановленим прапором I регістра SREG.

Якщо АЦП працює в режимі безперервного перетворення, нове перетворення розпочнеться одразу після запису результату. У режимі одиночного перетворення нове перетворення може бути розпочато відразу після біта ADSC (до того, як буде збережено результат поточного перетворення), і фактично цикл перетворення розпочнеться не раніше ніж за один до кінця поточного перетворення [5].

Для мінімізації електромагнітних перешкод, викликаних ядром процесора, всі розглянуті мікроконтролери мають додатковий «сплячий» режим ADC Noise Reduction. У цьому режимі з усіх периферійних пристроїв працюють тільки АЦП і сторожовий таймер. Режим очікування можна використовувати з тією ж метою (але з меншим ефектом). Щоб використовувати АЦП у кожному зазначеному режимі, переконайтеся, що АЦП увімкнено та не перетворює, потім переведіть АЦП у режим одиночного перетворення та ввімкніть переривання для АЦП, а потім переведіть мікроконтролер у режим зменшення шуму АЦП.

Цикл перетворення почнеться відразу після зупинки процесора.

Коли перетворення буде завершено, буде згенеровано переривання від АЦП, яке переведе мікроконтролер у робочий режим і запуститься програма, яка обробляє переривання.

У фотометрі (ФЛ) використовується лінійна чутлива матриця TSL1401 виробництва Texas Instruments (рис. 3.1).

TSL1401 підходить для різноманітних застосувань, включаючи сканування зображень, читання символів і кодів, оптичне розпізнавання коду, вибір країв і позиціонування, а також оптичне лінійне і кутове кодування [6].

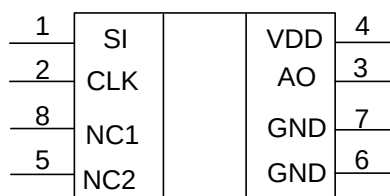


Рисунок 3.1 –Схемне позначення TSL1401

Опишемо технічні можливості та особливості цього ПЛ.

- Базова організація 128*1.
- Кроки чутливості 400 точок на дюйм.
- Висока лінійність і монотонність з використанням 256 півтонів (8 біт).
- Затримка зображення всього 0,5%.
- Діапазон робочих температур на природному повітрі 0-70 °С.
- Діапазон температур зберігання -25-85 °С.
- Максимальна довжина хвилі джерела світла становить 1000 нм.
- Максимальний час інтеграції 100 мс.
- Діапазон вхідного цифрового струму -20-20 мА.
- Напруга живлення 5В.

Датчик складається з 128 фотодіодів, розташованих в одновимірній матриці. Розміри пікселя становлять 63,5 мкм (висота) x 55 мкм (ширина), міжцентрова відстань 63,5 мкм і міжпіксельна відстань 8,5 мкм. Внутрішня схема керування спрощує роботу, вимагаючи лише сигналу на послідовному вході (SI) і тактового генератора. Світлова енергія, що падає на фотодіод, створює фотострум, який об'єднується активним інтегруючим контуром.

Під час інтегрування конденсатор вибірки (зразок) підключається до виходу інтегратора через аналоговий перемикач. Кількість накопиченого (накопиченого) заряду на кожному пікселі прямо пропорційна інтенсивності світла та обернено пропорційна часу інтегрування [6].

Вихід інтегратора та скидання керуються 128-розрядним регістром зсуву та логічною схемою скидання. Період виведення (ініціалізується логічною 1 на послідовному вході.

Коли сигнал на послідовному вході синхронізується через регістр зсуву, заряд, накопичений на конденсаторі вибірки, з'єднується послідовно з виходом підсилювача із зарядовим зв'язком, в результаті чого на аналоговому виході АО виникає напруга. Період скидання інтегратора закінчується на 18-му циклі після синхронізації послідовного вхідного сигналу. Потім починається наступний період інтеграції.

Ще одним важливим компонентом є модуль пам'яті. З усієї номенклатури мікросхем пам'яті було обрано мікросхему AS7C34096 [6].

Мікросхема має наступні технічні характеристики:

Розмір даних 1 МБ;

Напруга живлення - 5В;

Кількість циклів перезапису (мінімум) – 100 000;

Максимальний час доступу 70 нс.

Вибирали його з урахуванням технічних характеристик, які нас влаштували, а також якісних габаритних характеристик і вартості чіпа.

Мікросхеми декодера і регістра використовують мікросхеми 74НС373 і 74НС1383 відповідно, щоб відповідати навантажувально-швидкісним характеристикам і мати високу надійність.

Як вже було сказано в попередньому розділі, в якості мікросхеми інтерфейсу RS-232 використовується мікросхема ADM 232A.

Роз'єм PWL-4 використовується для підключення джерела живлення 5В.

Найвищими електричними параметрами володіють тверді танталові конденсатори поверхневого монтажу. При однакових геометричних розмірах танталові конденсатори мають більшу ємність, менший розподіл параметрів, меншу і передбачувану залежність ємності від температури, частоти та часу. Герметичність корпусу забезпечує захист від вологи [6, 7]. Електричні характеристики наведені в таблиці 3.6.

Резистор являє собою металеву плівку, його характеристики наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.6 – Електричні характеристики танталових конденсаторів

Діапазон ємностей номінальних	0,1 мкФ...100 мкФ (ряд Е6)
Відхилення ємності допустиме	+/- 10%, +/- 20%
Напруга номінальна	4В; 6,3В; 10В; 16В; 20В; 25В; 50В
Діапазон температур робочих	-55...+125 ⁰ С
Тангенс кута втрат	0,06...0,08
Струм витікання	0,4...4мкА

Таблиця 3.7 – Електричні характеристики метало плівкових чип-резисторів

Клас точності	5%	5%	5%	5%
Типорозмір	0603	0805	1206	0805
потужність за 85 ⁰ С	0,1 Вт	0,125 Вт	0,25 Вт	0,125 Вт
Напруга робоча	50В	150В	200В	150В
Напруга максимальна	100В	300В	400В	300В
Діапазон температур робочих	-55...+125 ⁰ С	-55...+125 ⁰ С	-55...+125 ⁰ С	-55...+125 ⁰ С
Діапазон опорів номінальних	1 Ом...10 МОм ряд Е24		10 Ом...1 МОм ряд Е96	

Таким чином, елементи відповідають вимогам та оптимально забезпечують роботу пропонованого пристрою. Конструктивно-експлуатаційні характеристики цих елементів наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.8 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

Назва і тип елементу	К-ть	Конструктивні параметри і надійність				
		Площа установки, мм ²	Діаметр виводів, мм	Надійність 10 ⁻⁶ 1/год	Діапазон температур, °С	Маса, г
Резистори						
Р1-71	6	6,4	-	0,01	-55...+125	0,4
Конденсатори						
К53-66	5	9,6	-	0,01	-10...+85	0,2

Продовження таблиці 3.8 – Конструктивно-експлуатаційні характеристики елементів

K50-35	4	36	0,8	0,01	-55...+125	1,2
Кварцові резонатори						
SF-4000K	1	10	0,7	0,1	-40...+85	0,15
Мікросхеми						
ATMEGA64	1	264	0,75	0,1	0...+70	1,8
74HC138	1	165	0,5	0,1	-10...+70	1,3
74HC373	1	188	0,5	0,1		1,2
AS7C34096	1	264	0,45	0,1	0...+40	1,7
ADM232A	1	138	-	0,1	-10...+70	1,3
TSL1401	1	86	0,38	0,1	0...+70	1,1
Роз'єми						
PWL-8	1	140	-	0,01	10...+70	4
DRB-9F	1	287	-	0,01	-45...+125	8

3.4.4 Загальне компоновання пристрою

Вибір методу побудови фотоелектричного вимірювача геометричних параметрів об'єкта

Композиційні принципи визначають ті структурні типові елементи, на яких базується РЕА. Вибір принципу розміщення залежить від вимог і обмежень будівництва РЕА.

Компоновання – це процес вибору форми, основних геометричних розмірів, визначення орієнтовної маси та положення елементів, вузлів тощо в просторі для забезпечення максимально корисного ефекту, який визначається схемою та призначенням РЕА.

Результатом розкладки є ескіз розкладки, який дозволяє судити про можливі розміри, форму і якість блоків. Макетування може виконуватися різними методами (аналітичним, модельним, графічним, реалістичним) [5].

В аналітичних методах використовуються числові значення різних композиційних характеристик, таких як розміри елементів, їх маси, площі, об'єми і ін.

Модельна компоновка є найбільш поширеною завдяки своїй простоті та наочності. При цьому використовуються плоскі (декольні) або об'ємні моделі, виготовлені у вигляді спрощених малюнків.

Суть методу графічного компоновки полягає в спрощеному графічному зображенні елементів РЕА, різноманітних варіантах компоновки. Для цього використовують шаблони, штампи тощо.

У реалістичному макеті використовуйте реальні компоненти замість моделей: резистори, конденсатори тощо.

Схема блоку ВДЕ розглядається з трьох аспектів:

- Врахування вимог до простоти складання, контролю, обслуговування, механічних і електричних з'єднань, головним чином враховуючи ергономічні вимоги.

- Функціональне розташування - Розміщення та монтаж компонентів на друкованій платі з урахуванням функціональних та енергетичних вимог, а також щільності розміщення та монтажу компонентів, щільності топології друкованого провідника [8].

Попередня розмітка для перших двох аспектів передбачає визначення форми і габаритних розмірів.

Функціональне компоновка виконується для визначення основних розмірів друкованої плати та вибору конструкції та способу виготовлення. Перелік елементів достатній для функціонального компоновки. У разі насичених, складних компоновки, на додаток до списку компонентів, необхідна базова електрична схема пристрою, і, крім того, рекомендується мати додаткові вказівки щодо функції цієї схеми.

У процесі проектування та розробки пристрою потрібні два рівні макета:

- 1 - Схема друкованої плати, необхідне зв'язування груп компонентів через функціональні групи, термосумісність і мінімізація довжин з'єднувальних провідників;

2 - Зовнішнє розташування обладнання з урахуванням усіх вимог. Вимоги включають технологічність і ремонтпридатність. Тобто внутрішнє та зовнішнє компонування обладнання необхідно виконувати з урахуванням вимог ТУ.

3.5 Конструкторські розрахунки

3.5.1 Розробка конструкції друкованої плати

3.5.1.1 Розрахунок площі і габаритів плати

На друкованій платі оптико-електроного вимірювача швидкості потоку газу, що проектується, встановлено 24 елементи.

Для резисторів типу 0805 площа встановлення складає $6,4 \text{ мм}^2$. Отже площа, яку займають постійні резистори на платі становить

$$S_R = 6 \cdot 6,4 = 38,4 \text{ мм}^2. \quad (3.6)$$

Для конденсаторів типу K53-66 площа встановлення складає $9,6 \text{ мм}^2$.

Отже площа, яку займають конденсатори становить

$$S_C = 5 \cdot 9,6 = 48 \text{ мм}^2. \quad (3.7)$$

Для конденсаторів типу K50-35 площа встановлення складає 36 мм^2 . Отже площа, яку займають електролітичні конденсатори становить

$$S_{C1} = 4 \cdot 36 = 144 \text{ мм}^2. \quad (3.8)$$

Для кварцових резонаторів типу SF-4000K площа встановлення складає 10 мм^2 . Отже площа, яку займає кварцовий резонатор становить

$$S_{KP} = 1 \cdot 10 = 10 \text{ мм}^2. \quad (3.9)$$

Для мікросхем типу ATMEGA64 повна встановлююча площа становить

$$S_{M1} = 1 \cdot 264 = 264 \text{ мм}^2. \quad (3.10)$$

Для мікросхем типу 74HC138 повна встановлююча площа становить

$$S_{M2} = 1 \cdot 165 = 165 \text{ мм}^2. \quad (3.11)$$

Для мікросхем типу 74HC373 повна встановлююча площа становить

$$S_{M3} = 1 \cdot 188 = 188 \text{ мм}^2. \quad (3.12)$$

Для мікросхем типу AS7C34096 повна встановлююча площа становить

$$S_{M4} = 1 \cdot 264 = 264 \text{ мм}^2. \quad (3.13)$$

Для мікросхем типу ADM232A повна встановлююча площа становить

$$S_{M5} = 1 \cdot 138 = 138 \text{ мм}^2. \quad (3.14)$$

Для мікросхем типу TSL1401 повна встановлююча площа становить

$$S_{M6} = 1 \cdot 86 = 86 \text{ мм}^2. \quad (3.15)$$

Для мікросхеми типу DRB-9F повна встановлююча площа становить

$$S_{cp} = 1 \cdot 287 = 287 \text{ мм}^2 \quad (3.16)$$

Загальна площа друкованої плати буде дорівнювати

$$S_{ДП} = (2 \div 5) \cdot \sum S_{ел} = 4 \cdot 1561 = 6244 \text{ мм}^2 \quad (3.17)$$

Друкована плата буде мати площу 6300 мм^2 (70мм на 90 мм).

3.5.1.2 Розробка топології та компонування друкованої плати

Розробка топології друкованої плати та її компонування проводилась за допомогою пакета графічних програм системи автоматизованого проектування OrCAD.

Топологія та компонування друкованої плати наведені в додатку А.

3.5.1.3 Технологія виготовлення друкованих плат

Усі процеси виготовлення друкованих плат можна розділити на: субтрактивний метод, адитивний метод і напівадитивний метод.

Субтрактивний процес - отримання провідного візерунка передбачає вибіркове видалення провідних ділянок фольги методами травлення.

Адитивні процеси передбачають вибіркове осадження провідних матеріалів на підкладку друкованої плати.

Напівадитивний процес – передбачає попереднє нанесення тонкого електропровідного покриття з подальшим його видаленням з місць, де є прогалини.

Відповідно до ГОСТ 2375-86 конструкція друкованих плат враховує такі способи виготовлення:

- Хімія - для двосторонніх друкованих плат;
- Позитивна комбінація - Для використання на двосторонніх друкованих платах з металізованими монтажними отворами.

Як правило, двосторонні друковані плати виготовляються методом комбінування позитивної плівки, який передбачає експонування малюнка друкованих елементів зі світлочутливої позитивної плівки. Технологічний процес виготовлення друкованих плат за цим методом дуже розвинений, а технологічне обладнання добре оснащене.

Комбінований метод — це поєднання хімічних і електрохімічних методів. Вихідним матеріалом є фольгований діелектрик з обох сторін, тому провідний малюнок виходить травленням міді, а металізація отворів досягається безгальванічним мідненням і подальшим електрохімічним осадженням шару міді. Пайка клем ERE виконується шляхом заповнення припоєм отворів у платі. Комбінований спосіб складається з наступних основних операцій: вирізування заготовки та хіміко-механічна обробка поверхні, отримання захисного малюнка, нанесення захисної лакофарбової плівки, свердління та зенкерування, гальванічне міднення та зняття лакофарбової плівки, гальванічне нанесення міді в два

прийоми. Цей спосіб характеризується високою трудомісткістю та великою кількістю ручних операцій у процесі [8].

Підготовка поверхні перед нанесенням фоторезисту включає хімічне знежирення в розчині тринатрійфосфату. Температура розчину 40-60°C, час обробки 2-5 хвилин.

Друковані плати виготовляються за наступною технологічною схемою процес:

- Виготовлення фольгованих склопластикових заготовок шляхом нарізки листів дисковою фрезою діаметром $d=100\text{мм}$ і товщиною 3мм. Швидкість різання 100-120 мм/с;

- Підготовка поверхні до нанесення фоторезисту. Механічно та хімічно очистити поверхню мідної фольги, очистити мідною абразивною тканиною, промити проточною водою, обробити 5-7% розчином HCl протягом 30 секунд і промити;

- Розпилить фоторезист на поверхню фольги шляхом центрифугування та висушування. Швидкість центрифуги 80-100об/хв, температура сушіння 35-40°C;

- Витримка друкованого зображення здійснюється в копіювальній рамі протягом 8-10 хвилин;

- Захисне позитивне зображення друкованої плати проявляється в теплій воді ($t=40-50^\circ\text{C}$) в ультразвуковій коливальній ванні;

——Дублення для захисту малюнка — хімічне дублення в 3% розчині хромового ангідриду;

- Протравити (видалити) мідь з незахищених ділянок фольги в травильній установці КТ-38 протягом 15-18 хвилин, обробити пластину водним розчином FeCl_3 і потім промити холодною водою;

- Нанести лак і просушити при 20-30°C 6 годин;

- буріння;

- Для зенкерування використовувати свердло діаметром 1,25 мм;

- Поверхнева активація розчином хлориду олова;

Використовуйте 40% розчин мідного купоросу для безгальванічного міднення протягом 20 хвилин;

- Використовуйте ацетон для видалення захисної фарби;
- сухий;
- Нанести сплав ROSE шляхом занурення у ванну з температурою $t=95^{\circ}\text{C}$.

3.5.1.4 Вибір матеріалу друкованої плати

До матеріалу висуваються наступні вимоги:

- а) висока технологічність;
- б) високі електрофізичні властивості;
- в) можливість працювати в умовах вакууму;
- г) забезпечення високої адгезії;
- д) мінімальні механічні короблення.

Таблиця 3.9 Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Діелектрична проникність відносна	4,5...6	4,5...6	5...6
Опір об'ємний питомий, Ом·м	1012...1014	1012...1014	1014...1015
Діапазон температур робочих, °C	-60...+80	-60...+70	-60...+100
Теплопровідності коефіцієнт, Вт/(м·K)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Коефіцієнт лінійного розширення температурний, 10 ⁻⁶ K ⁻¹	22	22	8...9

Найчастіше при виготовленні друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс марок:

- а) ГФ - фрустрований гетинакс;

- б) СФ - фольгований склотекстоліт;
- в) ФГС - склотекстоліт травлений фольгою;
- г) СФПН - термостійкий фольгований склотекстоліт;
- д) STF – термостійке скловолокно.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається з урахуванням компонентної бази і навантаження.

Велика частина деталей пристрою розташована на друкованій платі,

Дошка піддається механічним навантаженням, тому слід вибрати скловолокно товщиною 2 мм. Граничне відхилення товщини цієї скловолоконної плити становить 0,2 мм.

Тому склопластиковий камінь має такі характеристики. Тому в якості матеріалу для друкованих плат вибираємо двостороннє фольговане склотканина марки СФ-2-35-2 ГОСТ 10316-78, з товщиною фольги 35 мкм і товщиною фольгованого матеріалу 2 мм. Для виготовлення двосторонніх і односторонніх друкованих плат. Матеріал являє собою шаруватий пресований пластик, виготовлений зі склотканини, просоченої термореактивною смолою та обшитої з двох сторін мідною фольгою.

Для утеплення корпусу використовується пластик ТУ 812.362 СМЗ.

3.5.1.5 Виберіть тип друкованої плати

Плити випускаються односторонні, двосторонні (з шаровими з'єднаннями і без) і багатошарові (міжшарове послідовне з'єднання, міжшарове попарне з'єднання, з наскрізними отворами).

Характеристики однієї панелі:

- а) встановити радіодеталі безпосередньо на поверхню матеріалу;
- б) можна використовувати додаткові перемички (до 5%);
- с) Низька вартість і рівні щільності від першого до другого.

Особливості другої панелі:

- а) Високі обмінні властивості;

- б) Підвищити міцність з'єднання;
- в) Вартість вища.

Пристрій складається з 6 мікросхем з кроком 1,25 мм. Тому для полегшення відстеження ми виберемо двосторонні панелі - це дозволяє уникнути непотрібних перемичок і спрощує електронний відстеження в пакеті САД.

3.5.1.6 Вибір рівня точності друкованої плати

Для даного виробу, враховуючи складність відстеження з кроком координатної сітки ГОСТ 10317-82 1,25 мм, оптимальним варіантом є вибір друкованої плати третього рівня точності.

Цей клас характеризується такими елементами дизайну:

- а) Ширина провідника в ширшому місці 0,45 мм;
- б) Ширина провідника у вузькому місці 0,25 мм;
- в) Відстань між двома провідниками 0,25 мм;
- г) Зовнішня гарантійна стрічка 0,1 мм;
- д) Внутрішня гарантійна стрічка 0,05 мм.

У широких місцях ширина провідника встановлюється наступним класом - для третього класу це буде другий клас.

3.5.2 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Розраховуємо діаметр контактних площадок залежно від діаметрів отворів по формулі

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{отв}} + 2 * e + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + t_{\text{нв}}^2}, \quad (3.18)$$

де $d_{\text{отв}}$ – це є діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{отв}}$ - це є верхній допуск на діаметр отвору;

e - це є ширина гарантійного пояса;

Δt_b - це є верхній допуск на ширину провідника;

Δt_{tr} - це є допуск на підтравлювання діелектрика в отворі;

T_d - це є позиційний допуск розміщення отворів;

T_D - це є позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок;

Δt_{nb} - це є нижній допуск на ширину провідника.

Для плати третього класу двосторонньої значення параметрів такі

$$\Delta d_{отв} = 0 \text{ мм}; \quad \epsilon = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_b = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{tr} = 0; \quad T_d = 0,08 \text{ мм}; \quad T_D = 0,15 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{nb} = 0,1 \text{ мм}.$$

Визначаємо загальний допуск

$$\Delta D_{КП} = 0 + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + 0,1^2} = 0,5 \text{ (мм)}.$$

Визначаємо діаметри отворів

$$d = d_{вив} + (0,2 \dots 0,4),$$

$d_{вив}$ – це є діаметри виводів радіоелементів.

У даному пристрої елементи мають такі діаметри виводів (по табл. 2.3)

$$0,7; 0,8 \text{ мм}.$$

Здійснимо оптимізування діаметрів отворів

$$d_1 = 0,7 + 0,3 = 1,0 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,8 + 0,2 = 1,0 \text{ мм}.$$

Діаметр отворів

$$d_1 = 1,0 \text{ мм.}$$

Діаметр контактних площадок є:

$$D_1 = 1,0 + 0,5 = 1,5 \text{ мм.}$$

У цьому пункті розраховані діаметри контактних площадок, що є рівними 1,5 мм.

3.5.3 Розрахунок ширини провідників

Розрахунок ширини провідників здійснюємо для шин живлення, а також для інформаційних провідників.

Шини живлення є

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t} (\text{мм}), \quad (3.19)$$

де $j_{\text{доп}}$ – це є допустима густина струму, для плати двосторонньої, що виготовлена комбінованим методом, струм допуску $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$,

t – це є товщина провідника, $t = 35 \text{ мкм}$,

$I_{\max}$ – це є максимальний постійний струм, що проходить крізь провідник, $I_{\max} = 0,16 \text{ А}$. Обчислюємо

$$B_{\min} = \frac{0,16}{48 \cdot 0,035} = 0,095 \text{ мм} = 95 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Мінімальна ширина провідника визначена з умови допустимого падіння напруги на ньому

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (3.20)$$

де ρ - це питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$,

$I_{\max}$ – це струм, який проходить по провіднику, $I_{\max} = 0,16 \text{ А}$,

$l_{\max}$ – це максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,145$ м ,

$U_{\text{доп}}$ – це допустиме падіння напруги (складає 5% від напруги Живлення, тобто $U_{\text{доп}} = 5 \cdot 0,05 = 0,25$ В),

t – це товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,16 \cdot 0,0175 \cdot 0,145}{0,25 \cdot 0,035} = 0,046 \text{ мм} = 46 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Розраховане значення ширини провідника не перевищує значення, вибраного для третього рівня точності □

3.5.4 Аналіз електромагнітної сумісності компонентів друкованої плати

Зі збільшенням швидкості рішень питання високочастотних зв'язків між компонентами стає все більш актуальним. При цьому необхідно не тільки визначити параметри тієї чи іншої лінії зв'язку (опір, ємність, індуктивність тощо), а й виміряти їх взаємовплив (паразитну ємність, взаємну індуктивність тощо). Це особливо важливо в мікроелектроніці, де час перемикавання компонентів вимірюється наносекундами, а щільність розміщення мікросхем досить висока.

Електричні параметри компонентів друкованої плати залежать від різноманітних факторів, які певною мірою впливають на зміну розрахункових значень: режиму роботи схеми, матеріалу захисного покриття, технології виготовлення тощо. Врахувати всі ці фактори досить складно і тому недоцільно на етапі проектування друкованої плати. Тут потрібні приблизні розрахунки з достатньою точністю, перевірені та уточнені після виготовлення та дослідження перших друкованих плат [6].

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності обладнання в умовах перехресної інтерференції ліній зв'язку та впливу зовнішніх електромагнітних полів [6].

1. Діелектричні проникності середовищ між провідниками, розташованими на зовнішній поверхні лакованої пластини, рівні

$$r = 0,5 (6+4) = 5. \quad (3.21)$$

2. Взаємну ємність та індуктивність провідників визначаємо, що розташовані на одній поверхні плати

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)} [\text{пФ}], \quad (3.22)$$

де δ – найменша відстань між двома провідниками, у м;

$W = 3,5 \cdot 10^{-5}$ – це є товщина провідного шару міді, м;

$b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ – це є ширина провідників для третього класу точності, м;

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 9,72 (\text{пФ}).$$

Між двома друкованими провідниками M , нГн, паразитна взаємоіндукція визначається по формулі

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right) [\text{нГн}], \quad (3.23)$$

де S – це є відстань між провідниками, $S = 0,05$ см;

l_2 – це є довжина взаємного перекриття провідників, $l_2 = 1$ см;

t_1, t_2 – це є ширина провідників, $t_1 = t_2 = 0,025$ см.

Матимемо

$$M = 2 \cdot 1 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 1}{0,05 + 0,5 \cdot (0,025 + 0,025)} - 1 \right) = 4,57 (\text{нГн}).$$

Параметри паразитних ємностей і індуктивностей знаходяться в межах норми, а тому не потребують додаткових засобів по їх зниження.

3.5.5 Розрахунок плати на вібростійкість

Обчислюємо частоту власних коливань по формулі

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \sqrt{\frac{D}{M}} ab, \quad (3.24)$$

де a, b – це є довжина і ширина плати: $a = 90$ мм, $b = 70$ мм;

D - це є циліндрична жорсткість

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (3.25)$$

де E – це є модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \cdot 10^{10}$ Н/м²;

h - це є товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν - це є коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,22$;

M - це є маса плати з радіoeлементами,

ρ - це є густина склотекстоліту, $\rho = 1,98$ г/см³

$M_{\text{ел}}$ – це є сумарна маса елементів (див. табл. 3.4)

$$M = \rho \cdot a \cdot b \cdot h + M_{\text{ел}} = 1,98/1000 \cdot 90 \cdot 70 \cdot 2 + 22,25 = 47,198 \text{ г.}$$

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (2 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,22^2)} = 22,418;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,09^2} \left(1 + \frac{0,09^2}{0,07^2}\right) \sqrt{\frac{22,418}{0,022418}} \cdot 0,09 \cdot 0,07 = 1291 \text{ Гц.}$$

$$f \neq f_p$$

$$80 \text{ Гц} \neq 1291 \text{ Гц.}$$

Таким чином, частота власної вібрації не збігається з резонансною частотою, а пропорція розміру пластини відповідає антивібраційним вимогам.

Визначаємо динамічний коефіцієнт по формулі

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}{\sqrt{(1 - \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}, \quad (3.26)$$

де $K(x)$, $K(y)$ – це залежність коефіцієнта від коливань. Якщо обидва краї закріплені тоді $K(x) = K(y) = 1,3$;

η - це є коефіцієнт розстроювання

$$\eta = f/f_p = 80/1291 = 0,062;$$

ε - це є показник затухання $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$;

λ - це є декремент затухання $\lambda = (2...10) \cdot 10^{-2}$.

Маємо

$$K_{\text{дин}} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,062^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,062^2}{(1 - 0,062^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,062^2}} = 1,007.$$

Вібросміщення обчислюємо по формулі

$$S_B = \xi_0 * K_d, \quad (3.27)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2 (f_p)^2}$$

де a_0 – це є віброприскорення згідно завдання, $a_0 = 2g = 19,8 \frac{m}{c^2}$,

$$\xi_0 = \frac{19,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 1251^2} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ мм},$$

$$S_B = 3 \cdot 10^{-8} \cdot 1,007 = 3,021 \cdot 10^{-8} (\text{м});$$

Віброприскорення

$$a_B = a_0 \cdot K_d = 19,8 \cdot 1,007 = 19,9386 (\text{м/с}^2) .$$

Прогин плати

$$\delta_{\text{доп}} = S_B - \xi_0 = 3,021 \cdot 10^{-8} - 3 \cdot 10^{-8} = 0,021 \cdot 10^{-8} (\text{мм}) ,$$

$$\delta_{\text{гран}} = \delta_{\text{доп}} \cdot h^2 = 0,021 \cdot 10^{-8} \cdot 0,02^2 = 8,4 \cdot 10^{-14} (\text{мм}) .$$

Як видно з розрахунків, прогин плати не перевищує допустиме значення, а тому вібраційні навантаження не вплинуть на роботу пристрою.

3.5.6 Розрахунок ефектів удару

Цей розрахунок робиться для перевірки міцності при транспортуванні (у вигляді тари).

Пристрій повинен витримувати ударні імпульси тривалістю 5-10 мс і пікове прискорення до 5g. Як і у випадку з розрахунком впливу вібрації, вплив удару також розраховується для друкованої плати. Враховуючи, що максимальний ефект дає прямокутний імпульс, необхідно перевірити умови ударостійкості цього імпульсу [7].

Визначити умовну частоту ударного імпульсу

$$\omega = \pi / \tau, \quad (3.28)$$

де ω - це є тривалість ударного імпульсу τ мс.

$$\omega = 314 \text{ с}^{-1}$$

Коефіцієнт передачі при ударі по формулі

$$K_y = 2 \sin(\pi / 2V), \quad (3.29)$$

де V – це є коефіцієнт розстройки, $V = \omega / 2\pi f = 0,08$

$$K_y = 0,67$$

Ударне прискорення розраховується по формулі

$$a_y = H_y \cdot K_y, \quad (3.30)$$

де H_y – це є амплітуда прискорення ударного імпульсу. $H_y = 49$ мс.

$$a_y = 0,03$$

Максимальне відносне переміщення по формулі

$$Z_{\max} = H_y / 2\pi f_0 \sin(\pi/2V), \quad (3.31)$$

Для плати друкованої має виконуватись така умова: $Z_{\max} < 0,003b$

$$Z_{\max} = 3,68 \cdot 10^{-5} < 3,75 \cdot 10^{-4}$$

Аналізуючи отримані дані, ми дійшли висновку, що обраний спосіб кріплення друкованої плати (чотири отвори по краю плати) та її товщина гарантують найменшу частоту автоколивань, максимальне вібропереміщення під дією. Віб्राція і мінімальне ударне прискорення при ударі. Цей вибір також був зроблений тому, що вібрація виникає лише під час транспортування обладнання.

3.5.7 Тепловий розрахунок приладу

Під час виробництва, зберігання та експлуатації обладнання піддається впливу широкого діапазону температур. Сам прилад є джерелом тепла, так як мікросхема має ККД 50...60%, тому у вигляді тепла виділяється велика кількість енергії. Якщо ця енергія не розсіюється, температура пристрою підвищується, а інтенсивність відмови зростає.

тепловий режим Визначимо і виберемо систему охолодження по методиці [8]. Початковими даними для розрахунку є такі:

- а) розміри пристрою внутрішні: $0,12 \times 0,1 \times 0,02$ м;
- б) об'єм пристрою внутрішній $V = 1,6 \cdot 10^{-4}$ м³;
- в) потужність споживання пристрою

$$P = P_{\text{рез}} + P_{\text{мік}} \approx 8,8(\text{Вт}) ;$$

де $P_{\text{рез}}$ – це є потужність споживання резисторів, $P_{\text{мік}}$ – мікросхем.

г) коефіцієнт заповнення $K_{\text{ЗАП}} = 0,2$;

д) температура навколишнього середовища максимальна (обирається за температурою найменшою з гранично допустимих для всіх елементів) $T_{\text{max}} = +85^{\circ}\text{C} = 358\text{K}$;

е) перегрівання повітря в пристрої гранично допустиме (за максимальної температури повітря $T_{\text{пов}} = 35^{\circ}\text{C} = 308\text{K}$)

$$\theta_{\text{в.дон}} = 358 - 308 = 50(\text{K}) .$$

Коефіцієнт форми пристрою

$$K_0 = \frac{H}{\sqrt[3]{V}} , \quad (3.32)$$

де H – це є висота блоку, м;

V – це є внутрішній об'єм пристрою, м³;

$$K_0 = \frac{0,02}{\sqrt[3]{1,6 \cdot 10^{-4}}} = 0,368 .$$

Площу поверхні відведення тепла

$$S_3 = \sqrt[3]{V^2} \cdot \left(\frac{2}{K_0} + 4 \cdot K_{\text{ЗАП}} \cdot \sqrt{K_0} \right) , \quad (3.33)$$

отримаємо

$$S_3 = \sqrt[3]{(1,6 \cdot 10^{-4})^2} \cdot \left(\frac{2}{0,079} + 4 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{0,079} \right) = 0,03(\text{м}^2).$$

Питомий тепловий потік нагрітої зони

$$q_3 = \frac{\Phi}{S_3} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (3.34)$$

де Φ – це є потужність розсіювання, що становить 40% від споживаної потужності

$$\Phi = 0,4 \cdot 5,585 = 3,434(\text{Вт});$$

$$q_3 = \frac{5,2}{0,03} = 172,273(\text{Вт} / \text{м}^2).$$

Для апаратури з природною конвекцією перегрівання

$$M[\theta_B] = 35\text{K}.$$

Порівнюємо значення $\theta_{\text{в.доп}} = 50\text{K}$ тоді

$$\theta_{\text{в.доп}} > M[\theta_B],$$

Отже, умови нормального теплового режиму забезпечено, а тому природної конвекції достатньо.

3.5.8 Розрахунок надійності по раптовим відмовам

Надійність є одним з основних параметрів виробу. Після розрахунку можна зробити висновок про надійність обраного рішення та конструкції виробу. Надійність пристрою залежить від надійності і кількості використовуваних компонентів, кількості з'єднань між компонентами, способу кріплення компонентів і типу їх з'єднання, а також від зовнішніх факторів, теплових і електричних навантажень на компоненти. пристрій.

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні показника надійності виробу на основі відомих характеристик надійності та умов експлуатації складових частин. Вихідним показником для розрахунків надійності є інтенсивність відмов радіодеталей за нормальних умов.

Використаємо методику розрахунку експлуатаційної надійності з використанням математичних моделей згідно з [8].

Математична модель має форму

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (3.35)$$

де λ_e – це є експлуатаційна інтенсивність відмов, с^{-1} ;

λ_0 – це є інтенсивність відмов за нормальних умов і номінального електричного навантаження, с^{-1} ;

K_i – це є складові коефіцієнти математичної моделі.

Сумарна інтенсивність відмов електронної апаратури

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{ОБСЛ} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (3.36)$$

де K_{AM} – це є коефіцієнт, що залежить від амортизації радіоелектронної апаратури; за відсутності системи амортизації у пристрою (як у нашому випадку) $K_{AM} = 1$;

$K_{ОБСЛ}$ – це є коефіцієнт, що залежить від якості технічного обслуговування радіоелектронної апаратури; для побутових пристроїв $K_{ОБСЛ} = 1$;

λ_{ei} – це є експлуатаційна інтенсивність для i -го типу радіоелектронної апаратури;

n – це є кількість типів електронних елементів у пристрої.

Оскільки пристрій – стаціонарний, тому використовується в лабораторних умовах, тоді коефіцієнт умов експлуатації $K_e = 1$, математичні моделі для кожного з елементів конструкції та значення інтенсивностей відмов.

Кварцу

$$\lambda_E = \lambda_H \cdot K_e, \quad (3.37)$$

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Керамічних конденсаторів

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (3.38)$$

де K_P – це є коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 2.6;

K_C – це є коефіцієнт, що залежить від ємності конденсатора.

Оскільки максимальна напруга на конденсаторі падає, коли дорівнює напрузі живлення, відношення U/U_H

$$\frac{U}{U_H} = \frac{5}{10} = 0,5,$$

тому $K_P = 0,15$, а $K_C = 0,9$ (в середньому), тоді

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,0014 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для мікросхем

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.39)$$

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для резисторів постійних недротяжних вуглецевих

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R, \quad (3.40)$$

де K_P – це є коефіцієнт навантаження, що визначається згідно табличних даних; $K_P = 0,57$;

K_R – це є коефіцієнт, який залежить від опору резистора, згідно табличних даних [6], $K_R = 0,7$ (для резисторів опором $1 \dots 100$ кОм). Маємо

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,004 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для роз'ємів

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.41)$$

маємо

$$\lambda_{E1} = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,01 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

$$\lambda_{E2} = 0,0013 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,0013 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1})$$

Результати обчислень занесемо до таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Елементи	Експлуатаційна Інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтен- сивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Кварц. резонатори	0,1000	1	0.1
Мікросхеми	0,1	6	0.6
Конденсатори	0,0100	11	0.11
Резистори	0,0040	6	0.024
Роз'єми	0,0113	2	0.0226
Пайка	0,0100	184	1,84
Плата	0,5000	2	1
Провід	0,1500	11	1.65
Корпус	0,0500	1	0.05

Сумарна інтенсивність відмов

$$\sum \lambda = (0,1+0,6+0,11+0,024+0,0226+1,84+1+1,65+0,05) \cdot 10^{-6} = 5,46 \cdot 10^{-6} \text{ (год)}$$

Надійність пристрою визначається напрацюванням на відмову, яке обчислюється за формулою

$$T = \frac{1}{\sum \lambda} \text{ год}, \quad (3.42)$$

Тоді

$$T = \frac{1}{5,46 \cdot 10^{-6}} = 183150,18 \text{ [год]}.$$

Середній час напрацювання на відмову $T = 183150$ год.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці у галузі електроніки, автоматизації та електронних комунікацій вважається критично важливою, оскільки вона стикається з різними потенційно небезпечними ситуаціями, такими як робота з електричними та електронними пристроями, високими напругами та складним обладнанням. Вона охоплює кілька ключових аспектів, включаючи забезпечення безпеки робочого середовища, захист від електричного ураження, попередження пожеж, оптимізацію робочих процесів та навчання працівників про правила безпеки. Важливо наголосити на постійному вдосконаленні систем безпеки, щоб мінімізувати ризики травм та нещасних випадків на робочому місці.

Дослідження оптико-електронний витратоміру газу відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На дослідника мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпечного виконання роботи.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1 Обладнання робочого місця

Організація робочого простору для проектувальника, який використовує відеотермінал та комп'ютер, повинна відповідати ергономічним вимогам щодо розміщення всіх елементів робочого місця. Працюючи в сидячому положенні, важливо врахувати загальні ергономічні стандарти, які відповідають характеру та особливостям виконуваних завдань. [10].

Площа, виділена для одного робочого місця з ПК, повинна становити не менш 6 м^2 , а об'єм – не менше 20 м^3 [11].

Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче, ніж 1,5%.

Виробничі приміщення мають бути обладнані шафами для зберігання документів, стелажми, тумбами та іншими меблями, враховуючи вимоги щодо розміру приміщень.

У приміщеннях, де працюють з комп'ютерами, рекомендується щоденно проводити вологе прибирання.

Приміщення з комп'ютерами повинні мати аптечки першої медичної допомоги.

Такі приміщення повинні бути обладнані приміщеннями для відпочинку під час роботи та кімнатами для психологічного розвантаження. У кімнаті для психологічного розвантаження рекомендується встановити пристрої для приготування та подачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою.

Конструкція робочого місця користувача комп'ютера повинна забезпечувати оптимальну робочу позу з такими ергономічними характеристиками: стопи ноги на підлозі або підставці для ніг; стегна паралельно підлозі; передпліччя вертикально; лікті під кутом 70-90 градусів до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20 градусів до горизонтальної площини; нахил голови 15-20 градусів до вертикальної площини. Висота робочої поверхні стола для монітору повинна перебувати в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля.

Робочий стіл для ПК повинен мати простір для ніг висотою не менш 600 мм, шириною не менш 500 мм, глибиною на рівні колін не менш 450 мм, на рівні витягнутої ноги - не менш 650 мм.

Робоче сидіння (стілець, крісло) користувача ПК повинен мати наступні основні елементи: сидіння, спинку й стаціонарні або знімні підлокітники.

Екран монітора й клавіатура повинні розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів.

Клавіатуру варто розміщати на поверхні стола або на спеціальній, регульованій по висоті, робочій поверхні окремо від стола на відстані 100-300 мм від краю, найближчого до працівника. Кут нахилу клавіатури повинен бути в межах 5-15°.

При організації праці, пов'язаної з використанням ПК, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності передбачаються внутрішньо змінні регламентовані перерви для відпочинку.

Внутрішньозмінні режими праці та відпочинку включають додаткові короткі перерви перед появою ознак втоми і зниження працездатності.

Працівники, які працюють з комп'ютерами, мають пройти обов'язкові медичні огляди: попередній при прийнятті на роботу і періодичний протягом робочого часу. Оцінка придатності до роботи з комп'ютером повинна базуватися на стані зору, таких як гострота, рефракція, акомодация, а також загальний стан організму.

Лінія електромережі для живлення комп'ютерів, їх периферійних пристроїв і устаткування для обслуговування, ремонту і налаштування в приміщенні має бути виконана як окрема групова трипровідна мережа, з використанням фазових, нульових робочих і нульових захисних провідників. Заземлення здійснюється за допомогою нульового захисного провідника. Металеві труби й гнучкі металеві рукави заземлені. Заземлення відповідає вимогам Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів [12].

Неприпустимим є такі дії:

- використання кабелів і проводів з пошкодженою ізоляцією під час їх експлуатації або залишення їх під напругою з неізованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам Правил внутрішнього електропостачання для переносних електропроводів;
- використання для опалення приміщення неконвенційного (саморобного) електронагрівального устаткування або ламп накаливання;
- користування пошкодженими розетками, вимикачами і іншими електричними пристроями, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або пошкодження;
- підвішування світильників безпосередньо на струмоведучих проводах, обгортання електроламп і світильників матеріалами, що можуть загорітися, і використання їх без ковпаків (розсіювачів);
- використання електричного обладнання і приладів в умовах, які не відповідають інструкціям (рекомендаціям) виробників.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату регулюються в залежності від трьох основних факторів: сезону року, характеру виконуваних робіт і особливостей технологічного процесу. Для нормування параметрів мікроклімату рік поділяється на два періоди: Холодний період, коли середньодобова температура зовні приміщення менше $+10^{\circ}\text{C}$. Теплий період, коли середньодобова температура зовні приміщення дорівнює або перевищує $+10^{\circ}\text{C}$.

Робота дослідника оптико-електронний витратоміру газу за енерговитратами відноситься до категорії 1а [13]. Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а наведені в табл.4.2.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [14]).

Таблиця 4.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення оптимальних умов мікроклімату у приміщенні передбачено систему опалення та вентиляції повітря. Вимірювання параметрів мікроклімату повинні проводитись на початку, в середині і в кінці як холодного, так і теплого періодів року, не рідше трьох разів протягом робочої зміни. У випадку коливань параметрів мікроклімату, спричинених технологічними процесами або іншими причинами, вимірювання необхідно проводити також при найменших і найбільших значеннях термічного навантаження на працюючих протягом робочої зміни.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється дослідження оптико-електронний витратоміру газу, можливими забруднювачами повітря може бути офісна техніка та пил, який потрапляє ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.2.

Таблиця 4.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Фенол	0,01	0,01	3
Формальдегід	0,035	0,003	2
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

В повітрі зовнішнього природного середовища, як і в повітряному середовищі приміщень завжди є наявною певна кількість заряджених частинок – іонів. Так в 1 см^3 чистого зовнішнього повітря міститься близько 1000 негативних іонів і понад 1200 позитивних. Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл. 4.2.3).

Таблиця 4.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см^3	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення оптимального складу повітря в робочій зоні приміщення використовується система припливно-витяжної вентиляції. Регулярно здійснюється провітрювання за допомогою віконних отворів та вологе прибирання. Також планується встановлення системи кондиціонування..

4.2.3 Виробниче освітлення

Вплив світла не обмежується лише функцією органів зору, а також має важливий вплив на функціонування організму в цілому. При недостатньому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, існує підвищена ймовірність помилкових дій та нещасних випадків. За статистичними даними, до 5% травм можна пояснити недостатнім або неефективним освітленням, а в 20% воно сприяло виникненню травм. Крім того, погане освітлення може призвести до професійних захворювань, таких як робоча міопія (короткозорість) та спазм акомодатії. З іншого боку, надмірна яскравість джерел світла та оточуючих предметів може призвести до засліплення працівника. Нерівномірність освітлення та відмінність у яскравості оточуючих предметів можуть спричиняти постійну переадаптацію очей під час роботи, що в свою чергу при-

зводить до швидкої втоми органів зору. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні для виконання роботи зазначені у таблиці 4.2.4 (відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [15]):

Таблиця 4.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Розташування робочого місця слід планувати таким чином, щоб уникнути прямого попадання світла в очі. Для запобігання відблисків рекомендується використовувати обладнання з матовою поверхнею. З метою захисту очей від прямого сонячного світла або внутрішнього освітлення доцільно встановлювати захисні козирки та жалюзі на вікнах.

Для створення сприятливих умов для зорової роботи важливо не лише керувати кількістю та якістю освітлення, але й враховувати кольорове середовище. Наприклад, світлий інтер'єр сприяє збільшенню відбитого світла, що мо-

же підвищити рівень освітленості на 20–40% (при однаковій потужності джерел світла), зменшити різкість тіней і покращити рівномірність освітлення.

4.2.4 Виробничий шум

Більшість обладнання, енергетичних установок, машин і механізмів, які експлуатуються, виробляють шум і вібрацію різної частоти й інтенсивності, що має негативний вплив на людський організм.

Шум може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси людини. Фізіологічні та біологічні наслідки можуть включати порушення функцій слуху та інших аналізаторів, таких як вестибулярний апарат, функція координації кори головного мозку, нервова система, а також системи травлення та кровообігу.

Реакція людини на вплив шуму залежить від її індивідуальних особливостей і може бути різною з психологічних позицій.

Допустимі рівні шуму та вібрації на місцях праці осіб, що працюють з ПК, встановлені санітарними нормами ДсанПіН 3.3.2-007-98 [16], витяг з яких подано в таблиці 4.2.5.

Таблиця 4.2.5 - Допустимі еквівалентні рівні шуму

Вид професійної діяльності, місце праці	Еквівалентні рівні шуму, дБА.
Програмісти	50
Оператори в залах опрацювання інформації на ПК та оператори комп'ютерного набору	65
В приміщеннях для розташування шумних агрегатів	75

Головні методи зменшення шуму включають усунення або зменшення його джерела протягом роботи, застосування матеріалів для поглинання звуку та раціональне організування виробничих приміщень.

4.2.5 Виробничі випромінювання

Оскільки дослідження проводилося за допомогою ПК, то на робочому місці працівника можливий підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

Основою функціонування організму є дуже слабкі біоелектричні струми, що синхронізують природні біологічні режими. Штучні ЕМП якщо співпадають з частотами біологічних ритмів мозку або біоелектричною активністю серця чи інших органів людини можуть призвести до десинхронізації функціональних процесів в організмі.

Механізм біологічної дії на організм людини полягає як у тепловому, так і нетепловому специфічному ефекті, тепла дія ЕМП проявляються у підвищенні температури тіла, а також локальному, вибіркового нагріванні тканин, органів, клітин унаслідок переходу електромагнітної енергії у теплову.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в табл. 4.2.6.

Таблиця 4.2.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/м ²
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/М	
Напруженість електромагнітного поля, 6 кГц...3 МГц	50	5	
3 МГц...30МГц	2	-	
30 МГц...5 ГГц	-	-	10
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру: УФ-С (220...280 нм)			0,001

Продовження таблиці 4.2.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

УФ-В (280...320 мм)			0,01
УФ-А (320. ..400 мм)			10,0
в інфрачервоній частині спектру: 0,76... 10,0 мкм			35,0.. .70,0
Напруженість електричного поля ВДТ			20 вВ/м

Для зменшення впливу ЕМП від ПК на дослідника, необхідно дотримуватися регламентованих режимів роботи та відпочинку.

4.3 Пожежна безпека

В приміщенні, де здійснювалося дослідження використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д».

За вогнестійкістю будинок відноситься до другої категорії [17]. Робоча зона приміщення віднесена до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Система запобігання пожежі включає такі основні напрями:

- запобігання утворенню горючого середовища. Досягається: застосуванням герметичного виробничого устаткування; максимально можливою заміною в технологічних процесах горючих речовин та матеріалів негорючими; обмеженням кількості пожежо- та вибухонебезпечних речовин при використанні та зберіганні, а також правильним їх розміщенням; ізоляцією горючого та вибухонебезпечного середовища; організацією контролю за складом повітря в приміщенні та контролю за станом середовища в апаратах; застосуванням робочої та аварійної вентиляції; відведенням горючого середовища в спеціальні

пристрої та безпечні місця; застосуванням в установках з горючими речовинами пристроїв захисту від пошкоджень та аварій; використанням інгібувальних (хімічно активні компоненти, що сприяють припиненню пожежі) та флегматизаційних (інертні компоненти, що роблять середовище негорючим) добавок та ін.

– запобігання виникненню в горючому середовищі (чи внесенню в нього) джерела запалювання. Досягається: використанням устаткування та пристроїв, при роботі яких не виникає джерел запалювання; використанням електроустаткування, що відповідає за виконанням класу пожежо- та вибухонебезпеки приміщень та зон, груп і категорії вибухонебезпечної суміші; виконанням вимог щодо сумісного зберігання речовин та матеріалів; використанням устаткування, що задовольняє вимоги електростатичної іскробезпеки; улаштуванням блискавкозахисту; організацією автоматичного контролю параметрів, що визначають джерела запалювання; використанням швидкодіючих засобів захистного вимкнення; заземленням устаткування, видовжених металоконструкцій; використанням під час роботи з ЛЗР інструментів, що не допускають іскроутворення; ліквідацією умов для самоспалахування речовин і матеріалів; усуненням контакту з повітрям пірофорних речовин; підтриманням температури нагрівання поверхні устаткування пристроїв, речовин та матеріалів, які можуть контактувати з горючим середовищем нижче гранично допустимої (80 % температури самозаймання).

Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де проводилося дослідження системи фазового автопідстроювання частоти такі:

– несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);

– залишення без нагляду увімкнутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

– призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;

- систематичне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист промислових об'єктів забезпечується:

- правильним вибором необхідного ступеня вогнестійкості будівельних конструкцій; правильним об'ємно - планувальним рішенням будівель і споруд; розташуванням приміщень та виробництв з урахуванням вимог пожежної безпеки;
- улаштуванням протипожежних перепон у будівлях, системах вентиляції, опалювальних та кабельних комунікаціях;
- спорудженням протидимного захисту;
- забезпеченням евакуації людей;
- використанням засобів пожежної сигналізації, сповіщення та пожежогасіння;
- організацією пожежної охорони об'єкта;
- засобами, що забезпечують успішне розгортання тактичних дій гасіння пожежі.

Досліджуване приміщення має два переносних (порошкових, водопінних або водяних) вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5 кг і більше. Крім того, треба передбачати по одному вуглекислотному вогнегаснику з величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг і більше:

- на 20 м² площі підлоги в таких приміщеннях: офісні приміщення з ПЕОМ, комори, електрощитові, вентиляційні камери та інші технічні приміщення;
- на 50 м² площі підлоги приміщень архівів, машинних залів, бібліотек, музеїв [18].

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі розроблений оптико-електронний витратомір газу з метою підвищення точності та надійності вимірювань швидкості потоку газів.

Проведено порівняльну характеристику розробленого приладу з відомими прототипами та аналогами, вказані переваги та недоліки. Приведена математична модель та проведено її моделювання. Запропонована електрична принципова схема пристрою на основі мікроконтролера типу АТМega64 .

Відповідно до електричної принципової схеми розмір плати виробу визначено 90×70 мм, а розрахункова вага 44 г. Матеріалом друкованої плати є подвійна скловолоконна фольга. Використовуйте односторонню марку СФ-2-35-2, з товщиною фольги 35 мкм і товщиною алюмінієвої фольги 2 мм.

Виконано розрахунки на електромагнітну сумісність компонентів та розрахунки друкованих плат на механічну міцність, а саме: на удари, вібрацію, на надійність, термічні розрахунки.

У процесі розрахунку друкованої плати електромагнітна сумісність провідників, розташованих на одній поверхні друкованої плати, взаємна ємність та індуктивність провідників, розташованих на одній поверхні друкованої плати, становить 9,72 пФ і 4,57 нГн відповідно, що всі знаходяться в межах норми і немає додаткових засобів для зниження. Середній час напрацювання на відмову розробленого оптико-електронний витратоміра газу $T = 183150$ год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Вербицький В.Г. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2001. – 195 с.
2. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В. Сенсори вологості – Вінниця: «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2003. – 208 с.
3. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від’ємним опором. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2000. – 303 с.
4. Пат. 20634 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 21/00. Спосіб вимірювання концентрації неелектричних газів та аерозолей/ В.М. Репухов, В.В. Гоцуленко, А.М. Семенов(УКРАЇНА). - № 97030958; Заявлено 05.08.97; Опубл. 27.02.98, Бюл.№1.
5. Пат. 50583 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 21/61. Газоаналізатор / Л.А. Міхеєнко, Є.В. Вівчарик (УКРАЇНА). - № 2002021281; Заявлено 15.02.2002; Опубл.15.10.2002, Бюл. № 10.
6. Пат. 50437 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 21/61. Газоаналізатор / Л.А. Міхеєнко, Є.В. Вівчарик, С.О. Корніяка (УКРАЇНА). - № 2002010256; Заявлено 10.01.2002; Опубл.15.10.2002, Бюл. № 10.
7. Пат. 38776 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 21/45. Багатоканальний інтерференційний газоаналізатор / О.В. Гомоннай (УКРАЇНА). - № 2000095516; Заявлено 26.09.2000; Опубл.15.05.2001, Бюл. № 4.
8. Пат. 32478 УКРАЇНА, МКІ G 01 N 21/61. Газоаналізатор / В.І. Шелуденко, В.В. Клявлін (УКРАЇНА). - № 2000052541; Заявлено 04.05.2000; Опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7.
9. ДСТУ ОHSAS 18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИУЦ», 2016. 21 с.

10. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028.
11. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php.
12. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154
13. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
14. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
15. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>
16. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php
17. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7
18. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

Додаток А
(обов'язковий)

4

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ВИТРАТОМІР ГАЗУ

4

Виконав: студент 4-го курсу, групи МНТ-206
спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Головатюк М.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

Осадчук В.С.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2024 р.

4

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

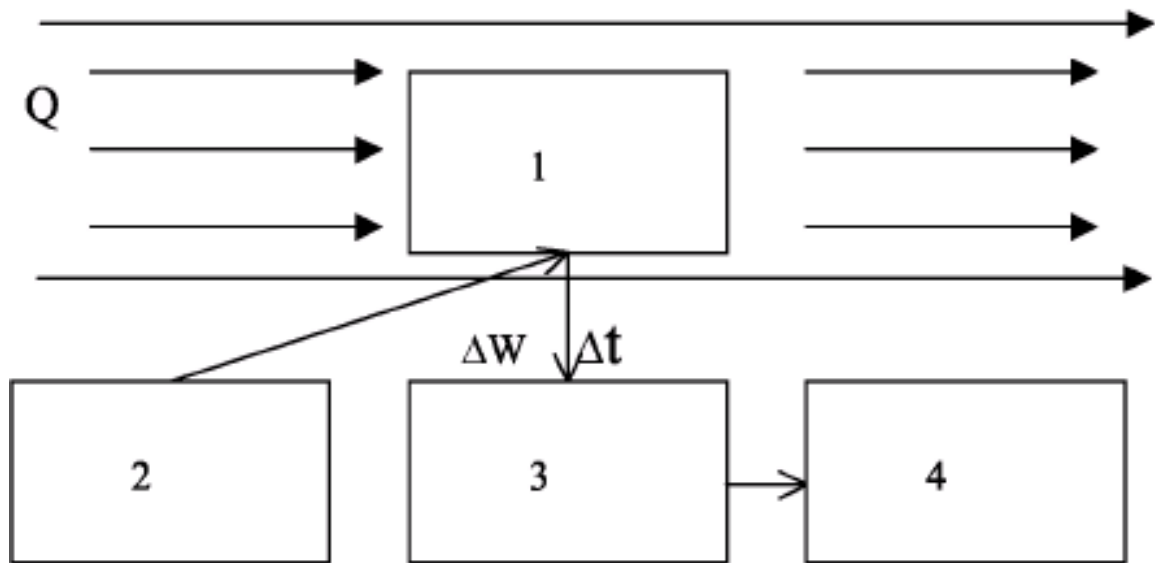


Рисунок 1 – Структурна схема технічної реалізації теплового методу при нестационарному режимі функціонування

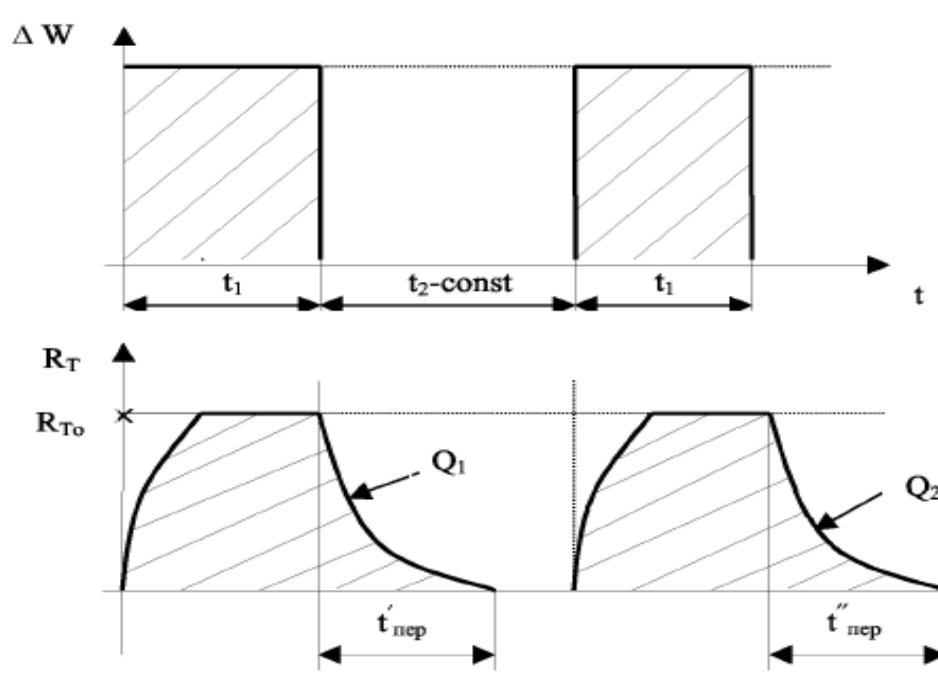


Рисунок 2 – Зміна електричного опору ТЕ при подачі і знятті електричного впливу

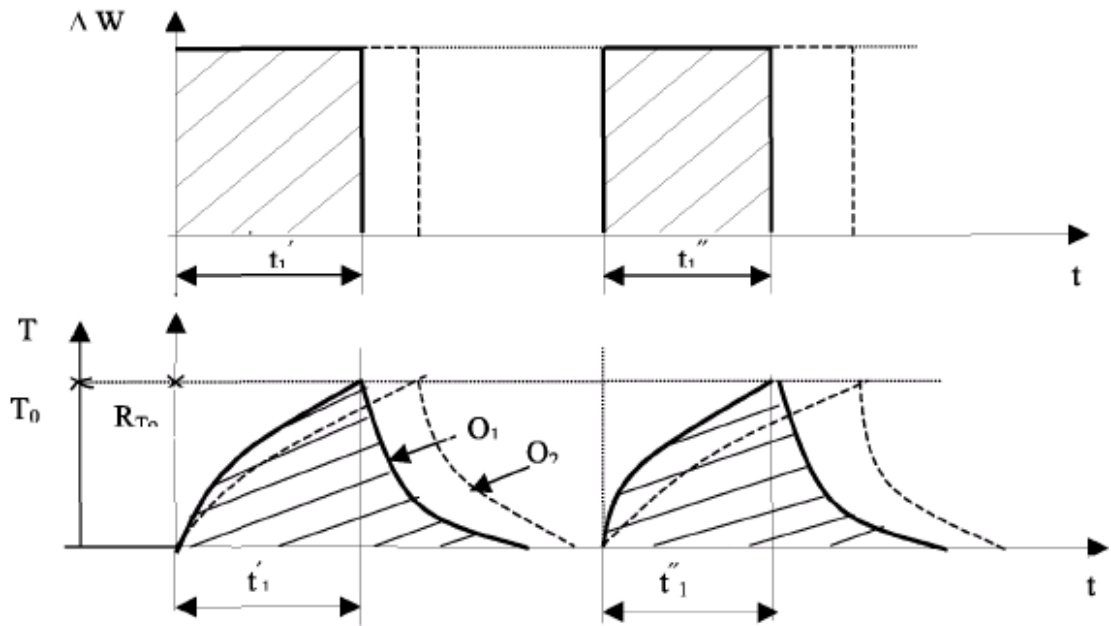


Рисунок 3 – Залежність температури (електричного опору) ТЕ при дії енергетичного впливу

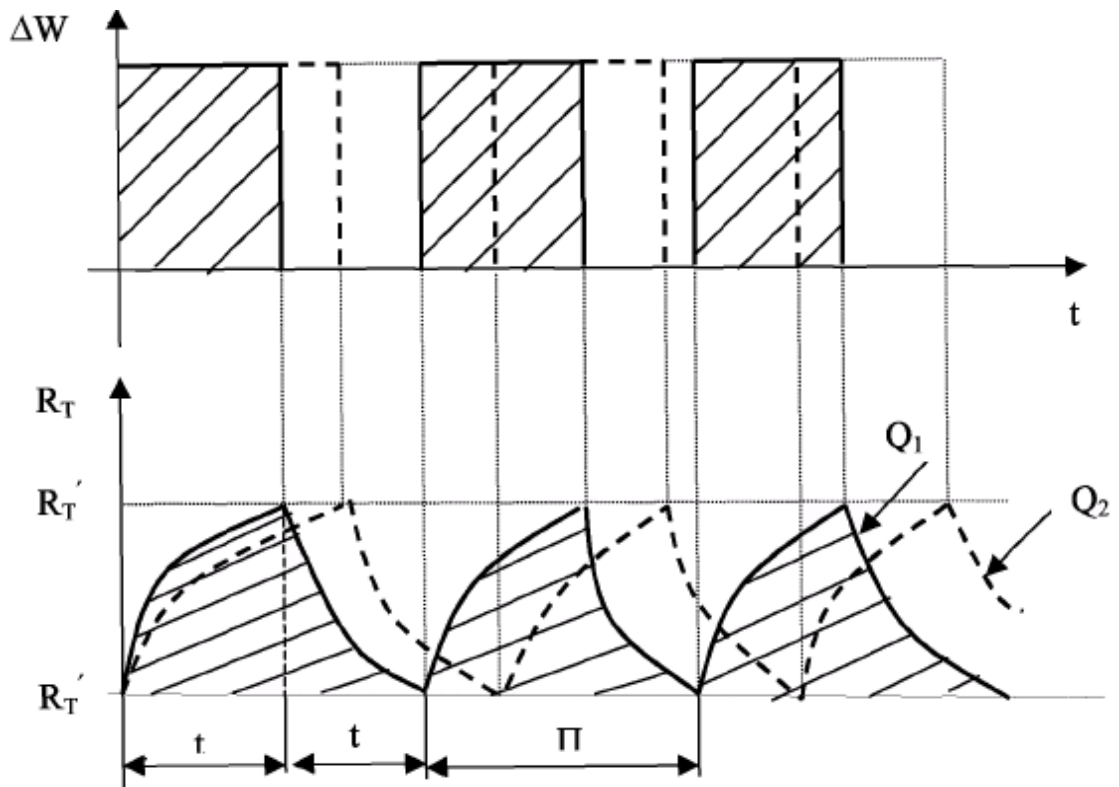


Рисунок 4 - Зміна електричного опору ТЕ при комутації енергетичного стану

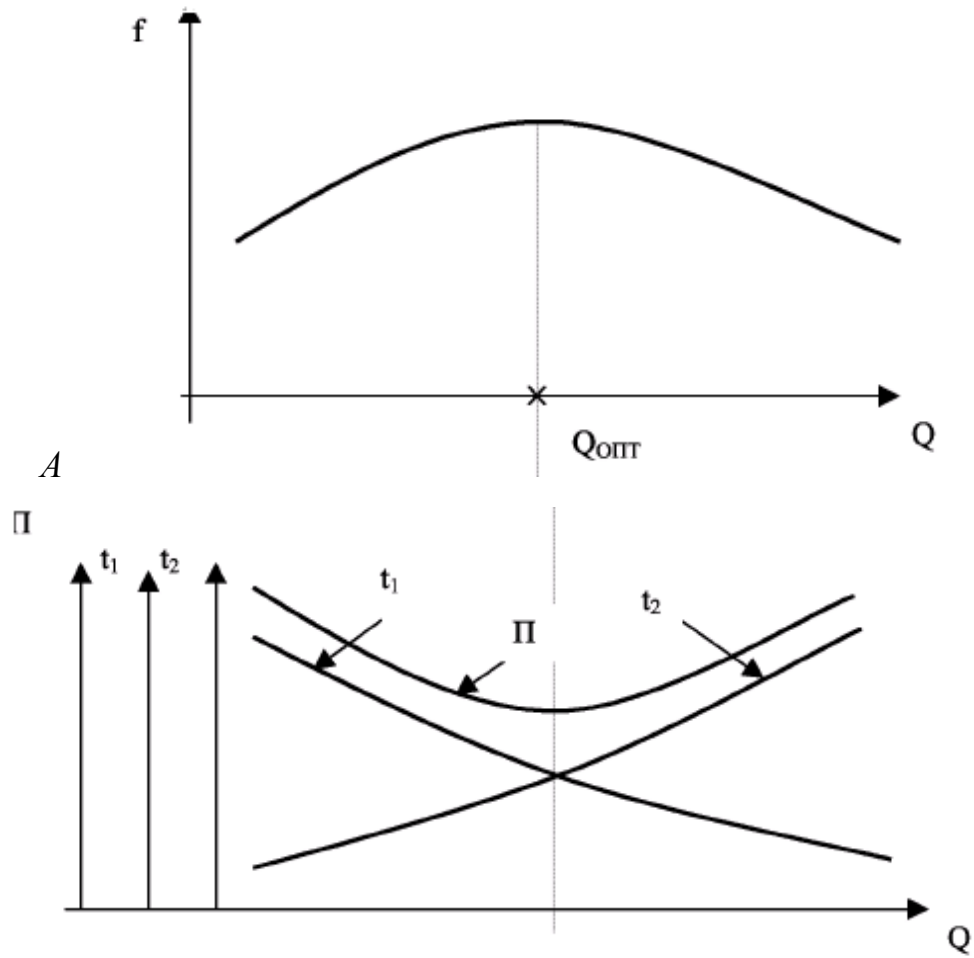


Рисунок 5 – Вихідні характеристики витратомірів при комутації енергетичного стану ТЕ

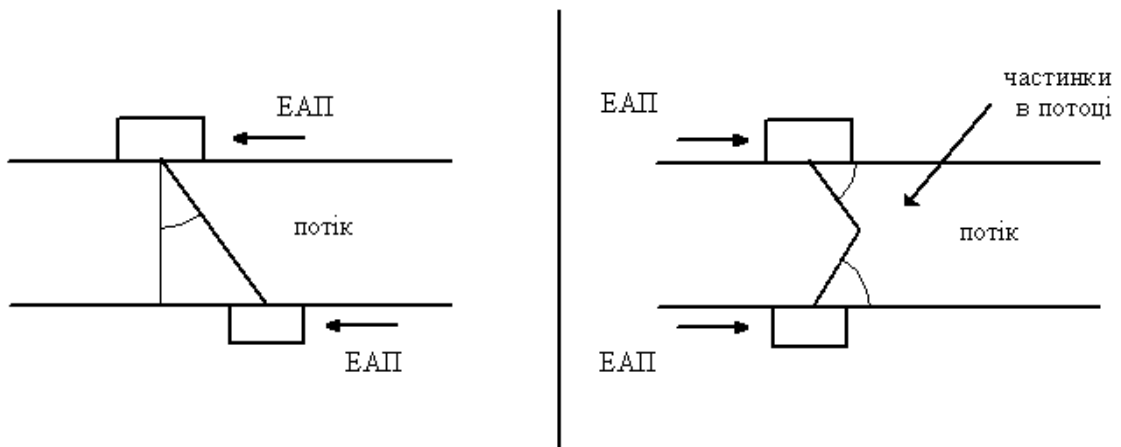


Рисунок 6 – Типи ультразвукового виміру: а) часоімпульсний;
б) доплерівський

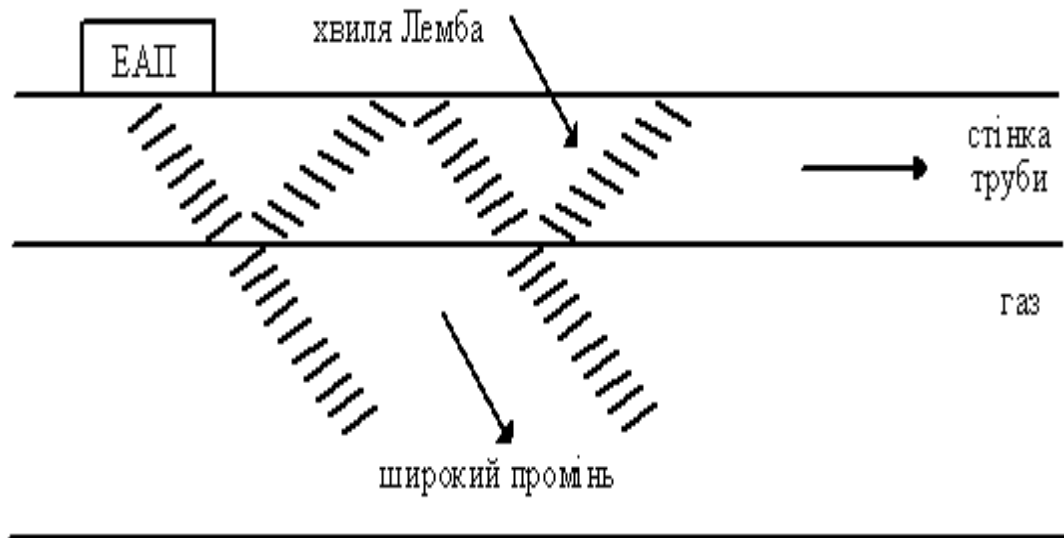


Рисунок 7 - Створення «широкого» вимірювального променя

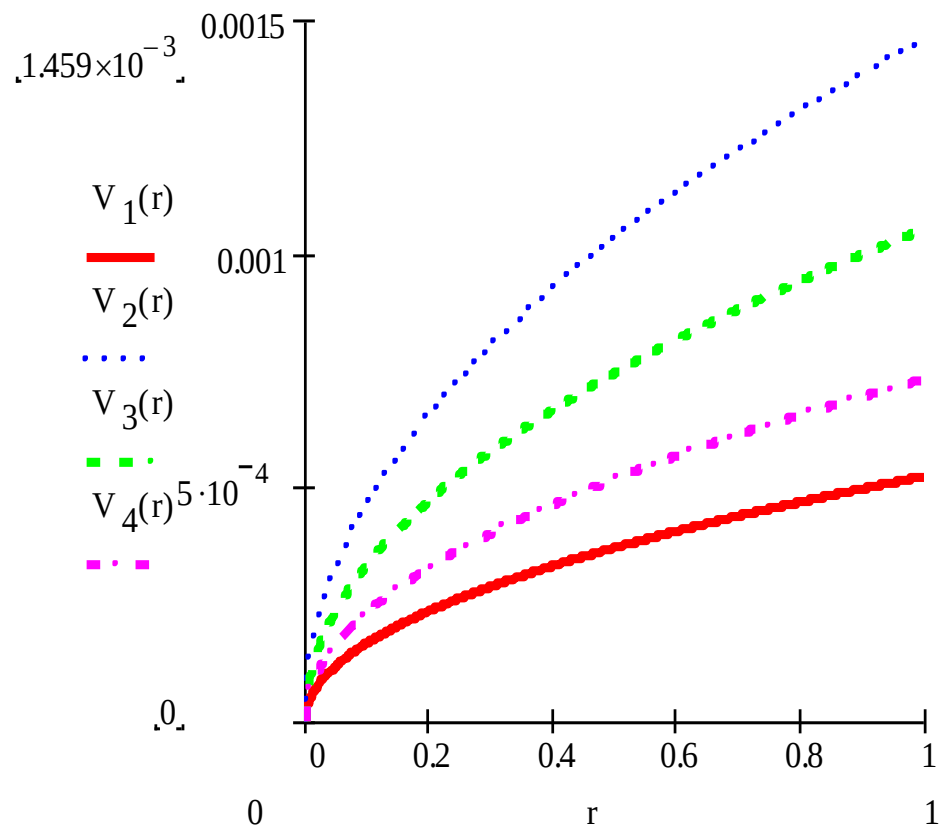


Рисунок 8 – Залежність швидкості потоку газу від радіуса кривизни

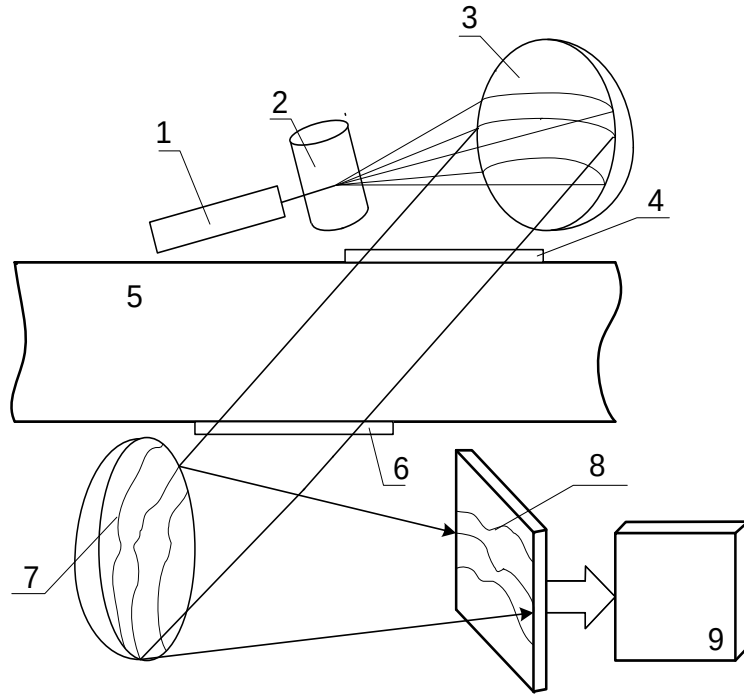


Рисунок 9 – Структурна схема

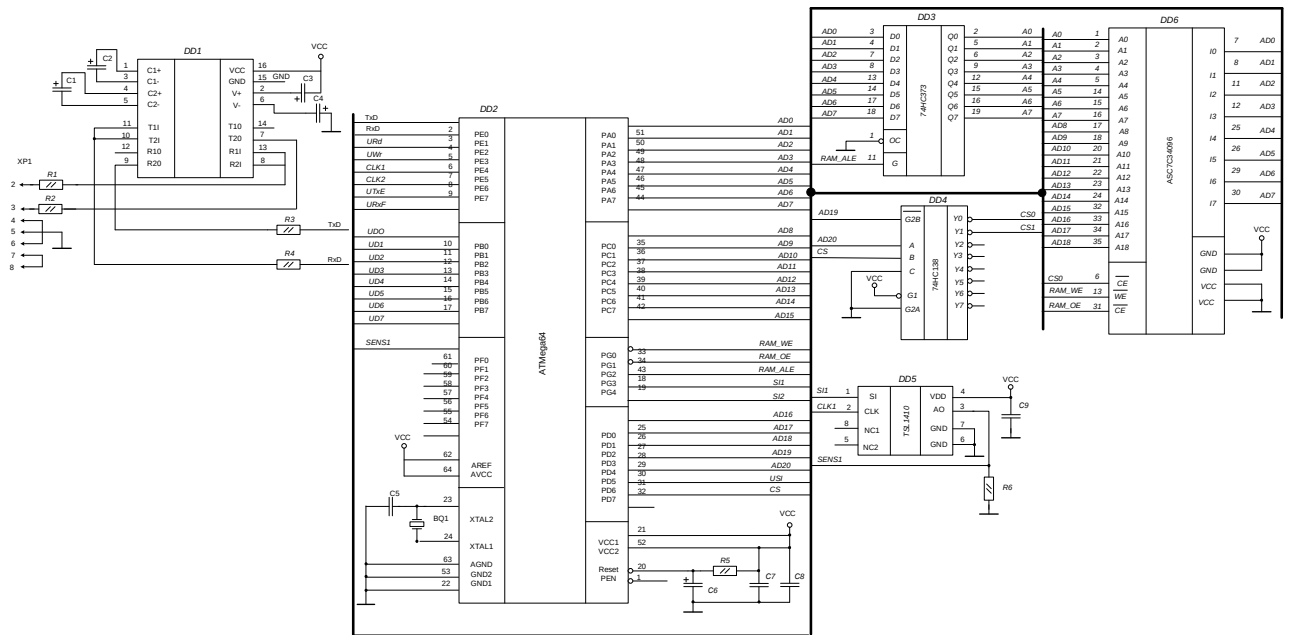


Рисунок 10 – Електрична схема

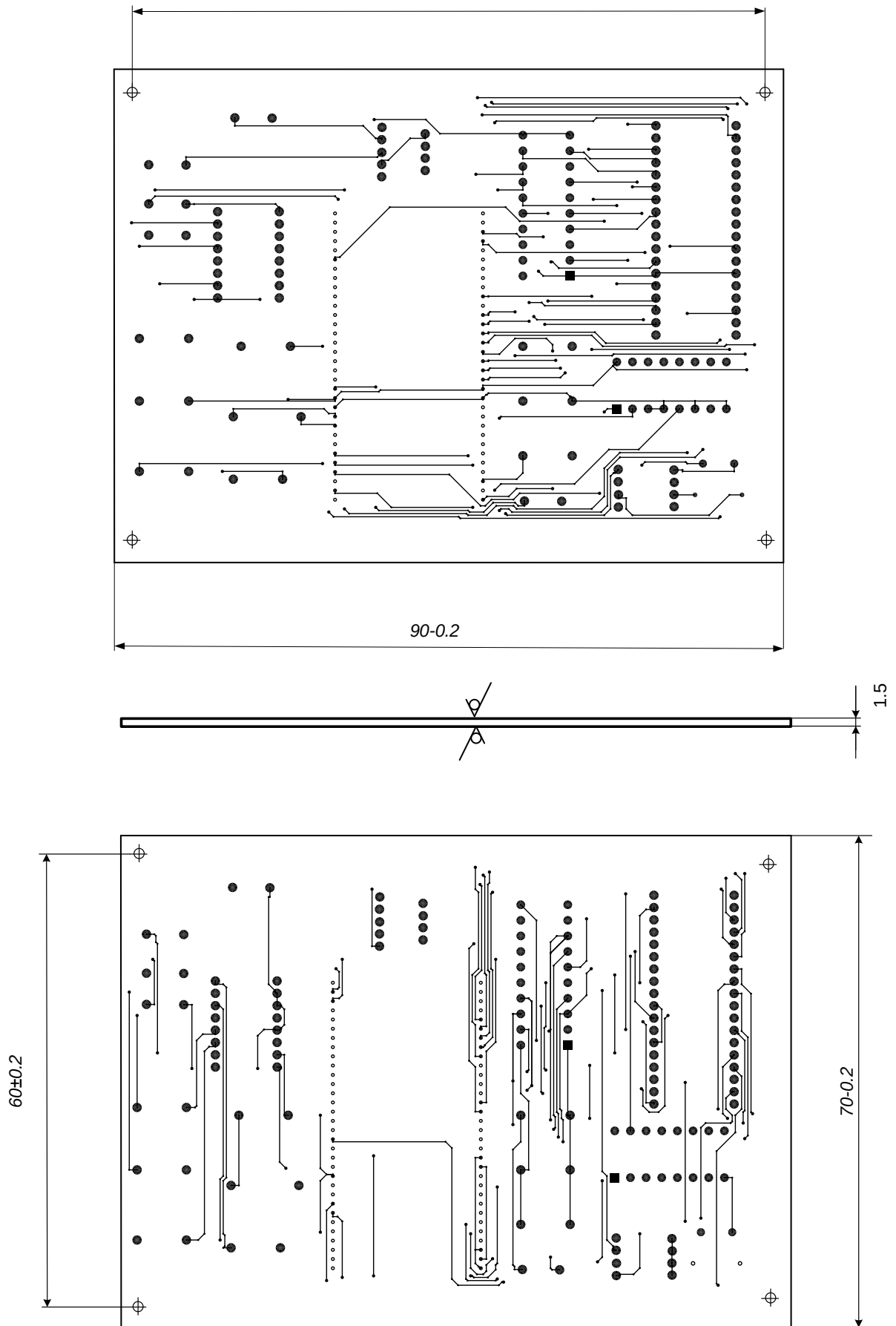


Рисунок 11 – Друкована плата

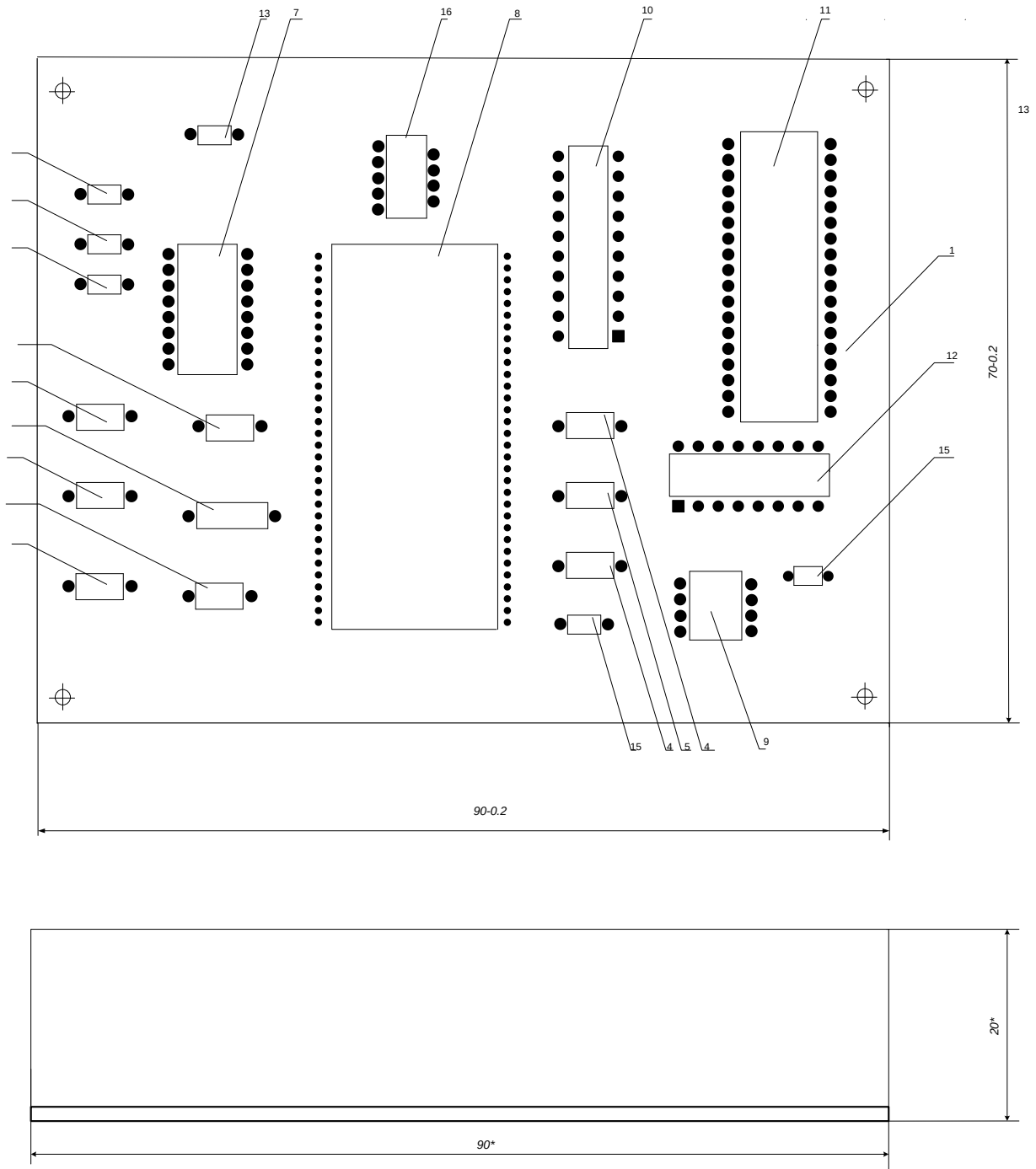


Рисунок 12 – Встановлення елементів на друкованій платі

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ВИТРАТОМІР ГАЗУ

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Оптико-електронний витратомір газу»

Тип роботи: БДР (БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 71,4% Схожість 28,6%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Максим ГОЛОВАТЮК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ОСАДЧУК
(прізвище, ініціали)